

PREDIKSI CURAH HUJAN MENGGUNAKAN METODE THOMAS-FIERING DENGAN MODIFIKASI KIRBY UNTUK RANCANGAN SISTEM PENYALIRAN TAMBANG

Rainfall Prediction Using Thomas-Fiering Method with Kirby's Modification for Mine Drainage System Design

TEDY A. CAHYADI^{1*}, GABRIEL RANTEALLO^{1*}, SINGGIH SAPTONO^{1**},
HASYWIR Th. SIRI^{1**}, GUNAWAN NUSANTO^{1**} dan RESA R. PRADITA^{2**}

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK Jl. Ring Road Utara No.104, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

² Staf MTS PT Ceria Nugraha Indotama
Jl. Poros Ranteangin-Kolaka, Wolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara 93552

Korespondensi e-mail: gabrielranteallo@gmail.com

* Kontributor utama, ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

Tambang terbuka merupakan metode yang berhubungan langsung dengan udara bebas sehingga hujan akan jatuh langsung ke lokasi penambangan. Curah hujan yang akan terjadi tidak dapat ditentukan secara pasti, tetapi dapat diprediksi. Memprediksi curah hujan dapat menggunakan metode stokastik. Pada penelitian ini menggunakan metode Thomas-Fiering yang bilangan acaknya telah dimodifikasi oleh Kirby menggunakan transformasi Wilson-Hilferty. Tujuan dari penelitian adalah melakukan analisis curah hujan dan membuat desain sistem penyaliran tambang. Hasil prediksi menghasilkan curah hujan rencana sebesar 109,61 mm/hari dan nilai intensitas hujan 21,36 mm/jam. Luas daerah tangkapan hujan sebesar 2,13 km² dan total debit air limpasan sebesar 7,83 m³/detik. Saluran terbuka akan mengalirkan air limpasan menuju ke kolam pengendapan. Air limpasan masuk ke dalam kolam pengendapan dengan volume air limpasan 66.862,71 m³. Daya tampung kolam pengendapan sebesar 67.790,09 m³ dan luas 16.524 m². Pengerukan endapan lumpur dilakukan selama 20 hari sekali.

Kata kunci: curah hujan, Thomas-Fiering, Kirby, saluran terbuka, kolam pengendapan.

ABSTRACT

Open pit mining is a mining method directly related to free air so that rain will fall straight to the mining location. The rainfall that will occur cannot be determined with certainty, but can be predicted. Predicting rainfall can use the stochastic method. This research used the Thomas-Fiering method which random numbers have been modified by Kirby using the Wilson-Hilferty transformation. This research aimed to analyze rainfall and design a mine drainage system. The prediction results produced a planned rainfall of 109,61 mm/day and a rainfall intensity value of 21,36 mm/hour. The area of the rain catchment was 2,13 km² and the total runoff water discharge was 7,83 m³/second. The open channel drained the runoff water to the settling pond. Runoff water entered the settling pond with a volume of 66.862,71 m³ of runoff water. The capacity of the settling pond was 67.790,09 m³ and the area was 16.524 m². The dredging of the silt was carried out every 20 days.

Keywords: rainfall, Thomas-Fiering, Kirby, open channel, settling pond.

PENDAHULUAN

Tambang terbuka adalah sistem penambangan yang segala aktivitasnya dilakukan di permukaan bumi dan berhubungan langsung dengan udara bebas (Bargawa, 2018). Pada tambang terbuka, ketika curah hujan tinggi, air yang berasal dari limpasan permukaan dapat menyebabkan berlumpurnya area penambangan (Yusran, Djamaluddin dan Budiman, 2015). Berbagai permasalahan yang disebabkan oleh air hujan antara lain menggenangnya lantai produksi, penuhnya saluran terbuka yang menyebabkan meluapnya air ke jalan tambang sehingga berakibat terganggunya mobilitas alat berat dan menghambat proses produksi, rawan longsor pada lereng tambang, efisiensi kerja menurun serta mengancam keselamatan kerja (Ranteallo, 2017).

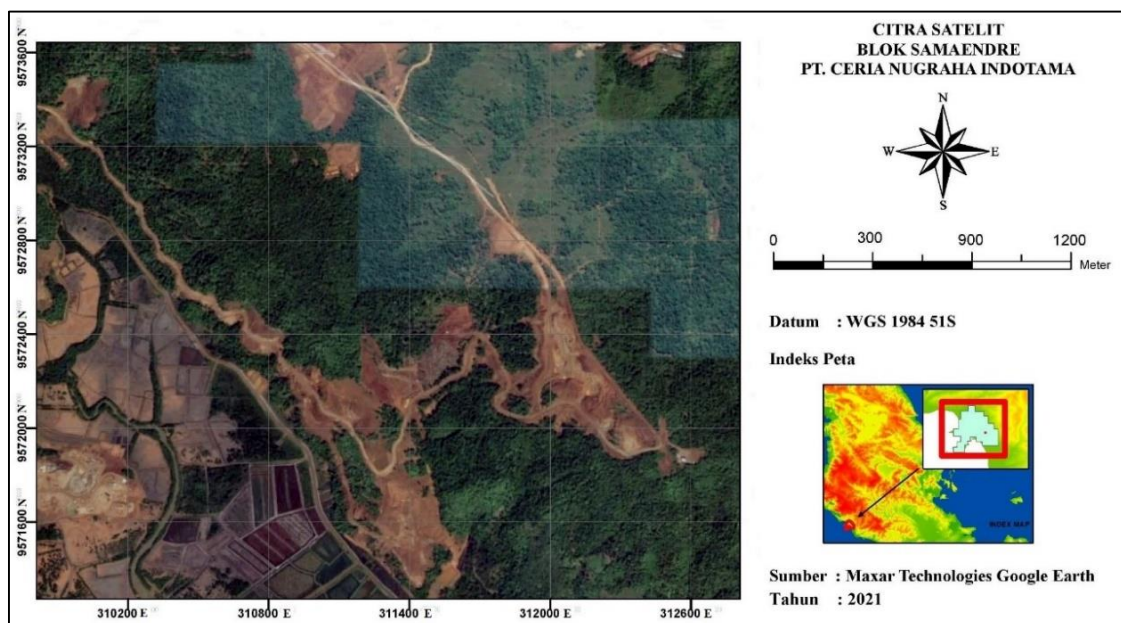
Sesuai dengan metode penambangan yang diterapkan pada lokasi penelitian (Gambar 1) yaitu menggunakan metode *open cast*, perancangan sistem penyaliran menyesuaikan kemajuan tambang dan kolam pengendapan yang perlu diperhatikan. Tujuannya mencegah masuknya air, tidak mengganggu produksi penambangan dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Sistem penyaliran tambang adalah suatu upaya yang diterapkan pada kegiatan penambangan untuk mencegah,

mengeringkan, atau mengalirkan air yang masuk ke bukaan tambang (Cahyadi *dkk.*, 2020).

Perhitungan prediksi curah hujan menggunakan model stokastik bertujuan menghasilkan nilai yang mungkin terjadi dari variabel acak yang bersangkutan (Loucks dan van Beek, 2017). Perhitungan prediksi curah hujan menggunakan model Thomas-Fiering dibutuhkan bilangan acak sebagai pembangkit rumus Thomas-Fiering, dalam hal ini dapat menggunakan modifikasi Kirby terhadap transformasi Wilson-Hilferty.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis curah hujan menggunakan metode Thomas-Fiering dengan modifikasi Kirby untuk transformasi Wilson-Hilferty dan merancang sistem penyaliran tambang. Sistem penyaliran tambang meliputi dimensi dan jumlah dari saluran terbuka dan kolam pengendapan yang dibutuhkan.

Penelitian prediksi curah hujan sebagai dasar dalam melakukan rancangan penyaliran di bidang pertambangan saat ini masih minim. Penelitian membahas tentang modifikasi Kirby dalam persamaan Thomas-Fiering. Bilangan acak dapat ditentukan menggunakan beberapa metode yaitu Box Muller, Wilson-Hilferty, *Truncated* Wilson-Hilferty dan Modifikasi Kirby.



Sumber: Maxar Technologies Google Earth

Gambar 1. Lokasi penelitian

METODE

Gambar 2 menunjukkan bagan alir penelitian, mencakup metode penelitian yang digunakan berupa fakta dan permasalahan yang ada di lapangan, perumusan, data yang dibutuhkan, analisis data, dan kesimpulan penelitian.

Penelitian pertama kali tentang penggunaan metode stokastik dalam perencanaan dan pengoperasian sistem sumber daya air melalui pembangkitan data deret waktu sintetis dari aliran sungai melalui simulasi Monte Carlo adalah Thomas dan Fiering pada 1962 dan dilakukan simulasi serupa pada Kota Akre oleh Aswad, Yousif dan Ibrahim (2019).

Model *forecast* dikembangkan untuk menghasilkan data deret waktu aliran dengan perilaku korelasi serupa dari data asli (Jayanti, 2012). Pada dasarnya model Thomas-Fiering

merupakan Markovian alami dengan nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien korelasi antar data berurutan dan bilangan acak. Persamaan Thomas-Fiering adalah sebagai berikut (Arselan, 2012):

$$X_{i,j} = \bar{X}_j - B_j(X_{i,j-1} - \bar{X}_{j-1}) + YY * S_{j-1} * \sqrt{(1-R_{j-1})^2} \dots (1)$$

Keterangan :

\bar{X}_j = Rata-rata curah hujan untuk bulan J

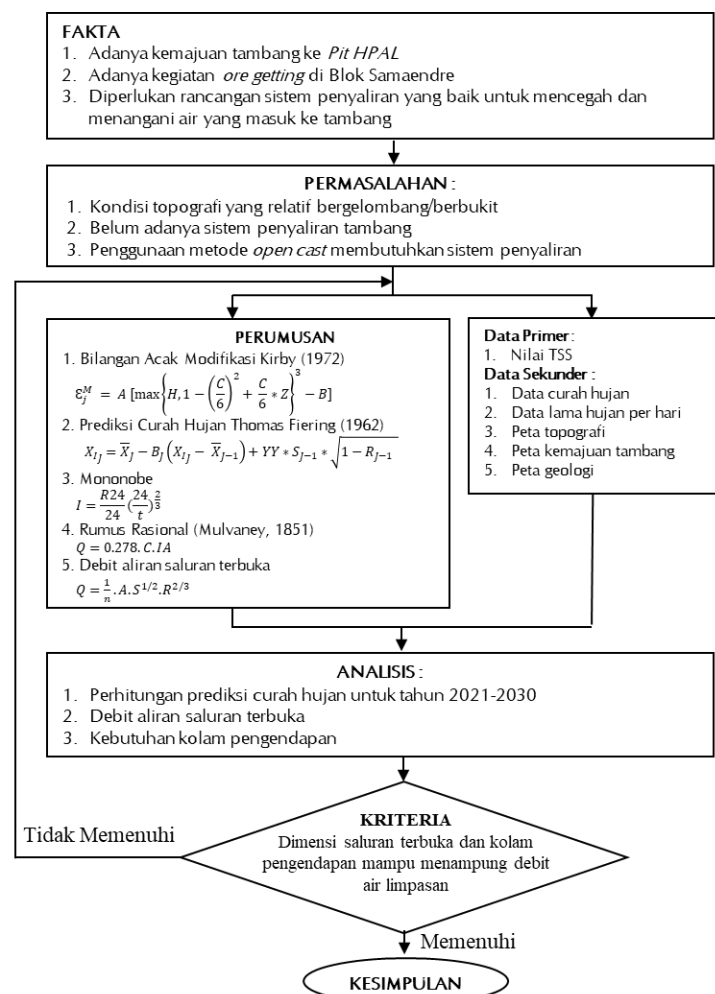
B_j = Koefisien regresi curah hujan antara dua bulan berurutan (J dan J + 1)

R_j = Koefisien korelasi curah hujan antara dua bulan berurutan (J dan J-1)

YY = Bilangan acak (*Random Number*) dengan distribusi spesial

X_{ij} = Nilai curah hujan yang dihasilkan untuk bulan J dan tahun I

S_j = Standar deviasi bulan J



Gambar 2. Tahapan penelitian

Pada Persamaan 1 terdapat nilai bilangan acak (*pseudo random numbers*) yang bisa diperoleh dari modifikasi Kirby untuk transformasi Wilson-Hilferty. Bilangan acak adalah bagian penting dari proses pembangkitan data curah hujan. Algoritma yang dikembangkan oleh Kirby menerapkan faktor penyesuaian pada transformasi Wilson-Hilferty untuk menghasilkan variasi yang mendekati nilai distribusi teoritis (Loucks dan van Beek, 2017).

Metode Kirby menunjukkan bahwa nilai ε_j^M “berada di rentang hidrologi”, algoritma yang diturunkan oleh Kirby memberikan perkiraan terbaik pada rentang nilai *skew* yang secara hidrologis dan kisaran ini mencakup nilai *skewnees* antara -9,75 dan 9,75 (Granato, 2013). Modifikasi Kirby secara umum terdapat tiga bagian yaitu rata-rata (*mean*) data curah hujan per bulan, standar deviasi curah hujan per bulan dan koefisien kemencengan. Meskipun transformasi yang dimodifikasi oleh Kirby agak lebih rumit daripada transformasi asli atau *truncated*, namun dapat dengan mudah diorientasikan menggunakan *software* pengolah data. Persamaan modifikasi Kirby untuk transformasi Wilson-Hilferty (Aswad, Yousif dan Ibrahim, 2019) sebagai berikut:

$$\varepsilon_j^M = A \left[\max \left\{ H, 1 - \left(\frac{C}{6} \right)^2 + \frac{C}{6} * Z \right\}^3 B \right] \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

Z = Standar normal variasi

ε_j^M = Nilai bilangan random modifikasi Kirby untuk transformasi W-H

Nilai H, A, B, C adalah konstanta yang tergantung pada nilai Koefisien Kemencengan (*Skewness*, CS_j) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$H = \left[B - \left\{ \frac{2/CS_j}{A} \right\} \right]^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

$$A = \max \left(\frac{2}{CS_j}, 0,4 \right) \dots \dots \dots (4)$$

$$B = 1 + 0,0144 * \max (0, CS_j - 2,25)^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$C = CS_j - 0,063 * \max (0, CS_j - 1)^{1,85} \dots \dots \dots (6)$$

$$SC_\varepsilon = \frac{1-r_k^3}{(1-r_k^2)^{3/2}} * SC_j \dots \dots \dots (7)$$

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})^2}{\sum_{t=1}^n (X_{t+1} - \bar{X})} \dots \dots \dots (8)$$

$$SC_j = \frac{N * \sum_{i=1}^n (X_{i,j} - \bar{X}_j)^3}{(N-1)(N-2) * S_j^3} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

SC_ε = Koefisien *Skewness* untuk ε_j

r_k = Koefisien autokorelasi pada lag = 1, untuk data curah hujan bulan yang diamati

CS_j = Koefisien *Skewness* dari data curah hujan bulan yang diamati

Prediksi curah hujan merupakan hujan maksimum yang mungkin terjadi selama umur tambang. Penentuan curah hujan menggunakan data curah hujan maksimum yang didapatkan dari prediksi curah hujan selama 10 tahun menggunakan metode Thomas-Fiering dengan modifikasi Kirby untuk transformasi Wilson-Hilferty. Metode Thomas Fiering termasuk dalam model stokastik yang memiliki variabel acak untuk memperkirakan distribusi probabilitas hasil potensial yang variabelnya terdapat satu atau lebih data input dari waktu ke waktu (Cahyadi *dkk.*, 2020). Model ini biasanya mengkaji ulang data atau informasi terdahulu untuk menduga peluang kejadian tersebut pada keadaan sekarang atau yang akan datang dengan asumsi terdapat relevansi pada jalur waktu.

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu dalam waktu relatif singkat yang dinyatakan dalam mm/jam. Intensitas curah hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe yang digunakan sebagai rumus dasar dalam melakukan perhitungan debit air limpasan (Gautama, 1997).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lama waktu hujan atau waktu konstan (jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum (mm)

Air limpasan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau atau laut. Aliran itu terjadi karena curah hujan yang mencapai permukaan bumi tidak terinfiltrasi, akibatnya air menggenang dan mengalir menuju tempat

yang lebih rendah. Debit air limpasan dapat dihitung dengan perumusan rasional menurut Khalik dan Cahyadi (2020) sebagai berikut :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

- Q = Debit air limpasan (m³ /detik)
- C = Koefisien limpasan
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan hujan (km²)
- n = Koefisien kekasaran Manning

Air limpasan permukaan dari area tambang dapat membawa sejumlah besar padatan tersuspensi ke daerah sekitar tambang dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga diperlukan adanya kolam pengendapan (Aditya dkk., 2021). Selain itu, kolam pengendapan dibuat khusus untuk menampung air limpasan sebelum dialirkan menuju ke badan air. Kolam pengendapan diperlukan sebagai wadah untuk melakukan perawatan terhadap air limpasan yang mengandung logam, sedimen, dan pencemar lainnya sebelum dialirkan ke lingkungan agar tidak terjadi pendangkalan sungai dan memenuhi standar baku mutu lingkungan.

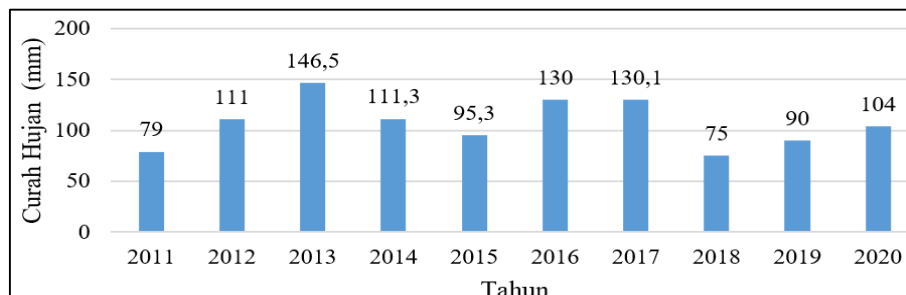
Pembuatan kolam pengendapan perlu dihitung persentase pengendapan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

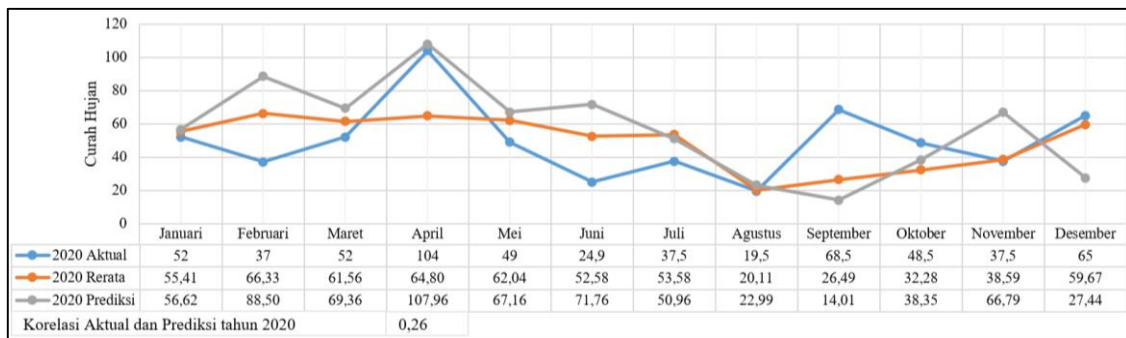
Pengolahan data curah hujan dilakukan untuk menghitung prediksi curah hujan dan intensitas curah hujan yang menjadi dasar perhitungan debit air limpasan yang akan memengaruhi komponen - komponen lainnya dalam sistem penyaliran tambang. Data curah hujan yang digunakan adalah data 10 tahun terakhir (2011 – 2020) yang didapatkan dari stasiun BMKG Pomalaa dan Stasiun Pengukuran Curah Hujan Samaendre. Curah hujan maksimum ditentukan berdasarkan prediksi curah hujan pada daerah pengamatan selama 10 tahun yaitu 2021-2030. Kondisi curah hujan maksimum dapat dilihat pada Gambar 3.

Perhitungan prediksi curah hujan selama 10 tahun digunakan untuk menentukan curah hujan maksimum. Perhitungan prediksi dilakukan validasi terlebih dahulu dengan cara menggunakan data curah hujan 2011-2019 sebagai data masukan untuk menghasilkan nilai standar deviasi, nilai koefisien regresi, nilai koefisien Skewness, nilai autokorelasi serta menggunakan data bilangan acak Kirby. Dari data tersebut dihitung menggunakan rumus umum metode Thomas-Fiering dan menghasilkan data prediksi tahun 2020. Hasil data prediksi tahun 2020 akan divalidasi dengan mencari koefisien korelasi antara data prediksi tahun 2020 dengan data aktual tahun 2020 mendapatkan nilai regresi (R) sebesar 0.26 (Gambar 4). Bilangan acak Kirby terdapat nilai konstanta yang nilainya tergantung pada koefisien Skewness dan nilai normal standar variasi (0-1) sebagai pembangkit data.



Sumber : BMKG Pomalaa dan stasiun pengukuran curah hujan Samaendre

Gambar 3. Curah hujan maksimum



Gambar 4. Grafik perbandingan curah hujan aktual dan prediksi tahun 2020

Nilai pada Tabel 1 diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3 sampai 9 yang selanjutnya digunakan untuk mencari bilangan acak Kirby.

Nilai standar normal variasi (Z) diperoleh dari aplikasi *spreadsheet* dengan nilai acak yang berada di antara 0-1. Sebelum melakukan perhitungan prediksi curah hujan perlu diketahui terlebih dahulu bilangan acak. Dari Tabel 1 dan 2 dapat diketahui data masukan untuk persamaan Kirby (Persamaan 2). Hasil

perhitungan bilangan acak Kirby dapat dilihat pada Tabel 3.

Setelah diketahui data masukan untuk persamaan Thomas-Fiering (Tabel 4) maka dapat dilakukan perhitungan prediksi curah hujan menggunakan persamaan umum Thomas-Fiering. Perhitungan prediksi dilakukan sepuluh kali percobaan prediksi dan hasil dari percobaan tersebut dirata-rata untuk mendapatkan hasil akhir curah hujan (Tabel 5).

Tabel 1. Input data modifikasi Kirby untuk prediksi tahun 2020

Input	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Koef. Skew	0,32	1,02	0,74	1,16	0,72	-0,44	0,58	2,54	1,17	0,52	-0,26	1,54
Autokorelasi	-0,07	0,11	-0,36	-0,17	0,25	0,21	-0,08	0,68	0,7	0,51	0,16	-0,07
Koef. Skew (SCe)	0,33	1,04	0,95	1,22	0,78	-0,47	0,58	4,38	2,11	0,71	-0,26	1,55
Konstanta A	6,15	1,93	2,1	1,64	2,55	0,4	3,44	0,46	0,95	2,83	0,4	1,29
Konstanta B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00
Konstanta C	0,33	1,04	0,95	1,21	0,78	-0,47	0,58	3,78	2,03	0,71	-0,26	1,53
Konstanta H	0	0	0	0	0	3,2	0	0,07	0	0	3,67	0

Tabel 2. Standar normal variasi

PD	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	0,46	0,81	0,62	0,65	0,67	0,51	0,18	0,32	0,86	0,63	0,04	0,07
2	0,40	0,99	0,58	0,94	0,40	0,08	0,38	0,46	0,82	0,86	0,17	0,08
3	0,76	0,00	0,37	0,75	0,50	0,05	0,98	0,16	0,19	0,23	0,61	0,99
4	0,91	0,58	0,89	0,62	0,98	0,04	0,74	0,69	0,14	0,11	0,03	0,88
5	0,58	0,82	0,27	0,38	0,40	0,61	0,69	0,43	0,42	0,77	0,37	0,26
6	0,07	0,16	0,95	0,03	0,20	0,78	0,28	0,91	0,40	0,89	0,89	0,03
7	0,95	0,40	0,35	0,27	0,80	0,00	0,48	0,85	0,66	0,98	0,67	0,58
8	0,81	0,98	0,97	0,56	0,51	0,89	0,39	0,57	0,67	0,88	0,07	0,57
9	0,75	0,89	0,64	0,73	0,46	0,71	0,61	0,46	0,23	0,63	0,004	0,69
10	0,001	0,08	0,96	0,98	0,49	0,23	0,76	0,73	0,21	0,77	0,90	0,05

Tabel 3. Bilangan acak modifikasi Kirby

PD	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	0,42	0,72	0,50	0,48	0,58	1,28	0,08	0,03	0,60	0,54	1,47	0
2	0,36	0,94	0,45	0,85	0,28	1,28	0,29	0,03	0,54	0,80	1,47	0
3	0,74	-0,16	0,22	0,61	0,39	1,28	0,96	0,03	0	0,11	1,47	0,87
4	0,90	0,43	0,83	0,46	0,94	1,28	0,68	0,03	0	0	1,47	0,72
5	0,55	0,73	0,11	0,19	0,28	1,28	0,63	0,03	0,08	0,71	1,47	0
6	0,02	-0,01	0,89	0	0,07	1,28	0,19	0,26	0,06	0,84	1,47	0
7	0,94	0,23	0,19	0,07	0,73	1,28	0,40	0,19	0,35	0,95	1,47	0,34
8	0,79	0,93	0,92	0,39	0,40	1,28	0,30	0,03	0,35	0,83	1,47	0,34
9	0,72	0,81	0,51	0,59	0,35	1,28	0,54	0,03	0	0,54	1,47	0,48
10	-0,05	-0,09	0,90	0,90	0,37	1,28	0,70	0,06	0	0,71	1,47	0

Tabel 4. Input data Thomas-Fiering untuk prediksi tahun 2020

Input	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Rerata CH	55,41	66,33	61,56	64,80	62,04	52,58	53,58	20,11	26,49	32,28	38,59	59,67
Std. Deviasi	24,27	31,21	25,63	39,36	24,74	20,26	29,61	27,43	21,67	23,47	21,30	33,05
Korelasi	0,54	0,45	-0,38	-0,51	-0,35	-0,65	-0,37	-0,08	-0,30	0,39	-0,23	0,76
Koef. Regresi	0,40	0,58	-0,32	-0,78	-0,22	-0,53	-0,55	-0,07	-0,24	0,42	-0,21	1,19

Tabel 5. Hasil uji coba prediksi tahun 2020

PD	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	54,22	95,85	68,12	108,97	70,42	71,76	41,92	21,84	22,34	46,42	66,79	21,59
2	52,92	102,05	66,99	121,50	63,46	71,76	47,64	21,84	21,06	41,66	66,79	21,59
3	60,71	71,31	61,39	113,34	66,08	71,76	47,64	21,84	9,92	26,65	66,79	40,02
4	63,94	87,95	75,82	108,06	78,90	71,76	58,37	21,84	9,92	24,26	66,79	37,00
5	56,79	96,14	58,92	99,00	63,44	71,76	56,91	21,84	11,57	39,56	66,79	21,65
6	46,00	75,52	77,36	92,63	58,54	71,76	44,93	28,16	11,13	42,46	66,79	21,59
7	64,88	82,38	60,89	94,87	73,88	71,76	50,55	26,16	17,11	44,74	66,79	28,87
8	61,78	101,85	78,03	105,67	66,23	71,76	48,02	21,84	17,20	42,15	66,79	28,73
9	60,40	98,55	68,46	112,48	65,04	71,76	54,64	21,84	9,92	35,99	66,79	31,74
10	44,55	73,36	77,67	123,05	65,66	71,76	58,98	22,72	9,92	39,57	66,79	21,59
Rerata	56,62	88,50	69,36	107,96	67,16	71,76	50,96	22,99	14,01	38,35	66,79	27,44

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa nilai prediksi modifikasi Thomas-Fiering oleh Kirby mendekati nilai rata-rata aktual, ini dikarenakan nilai rata-rata merupakan patokan dalam prediksi data sintetis. Nilai korelasi antara aktual dan prediksi sebesar 0,26 dapat digunakan sebagai acuan untuk prediksi curah hujan tahun selanjutnya. Penggunaan curah hujan hasil prediksi dapat disesuaikan dengan kondisi asli yang terjadi di lapangan. Setelah diketahui bahwa model prediksi dapat digunakan sebagai acuan untuk prediksi tahun selanjutnya maka dilakukan perhitungan prediksi untuk 2021-2030 dengan langkah-langkah perhitungan yang sama. Hasil dari prediksi curah hujan selama sepuluh tahun didapatkan curah hujan maksimum sebesar

109,61 mm/hari pada 2026 bulan Februari. Hasil prediksi dapat dilihat pada Tabel 6.

Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan rumus Mononobe dengan durasi hujan sebesar 2,37 jam sehingga diperoleh nilai intensitas curah hujan sebesar 21,36 mm/hari.

Daerah Tangkapan Hujan

Daerah tangkapan hujan ditentukan menggunakan peta topografi daerah penambangan serta pengamatan langsung di lapangan. Pengamatan peta topografi dilakukan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang dapat mengalirkan air dan memperkirakan arah aliran

air yang terlimpas ketika air masuk tambang. Dari pengamatan peta daerah tangkapan hujan dapat dibagi menjadi 6 bagian (Gambar 5) yang berpengaruh di daerah lokasi tambang. Penentuan daerah tangkapan hujan yang diperkirakan arah aliran air limpasannya menuju ke kolam pengendapan. Melalui analisis kontur maka didapatkan luasan daerah tangkapan hujan sebesar 2,13 km².

Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan perbandingan antara jumlah air yang mengalir pada permukaan dengan curah hujan. Koefisien air limpasan dapat ditentukan menggunakan

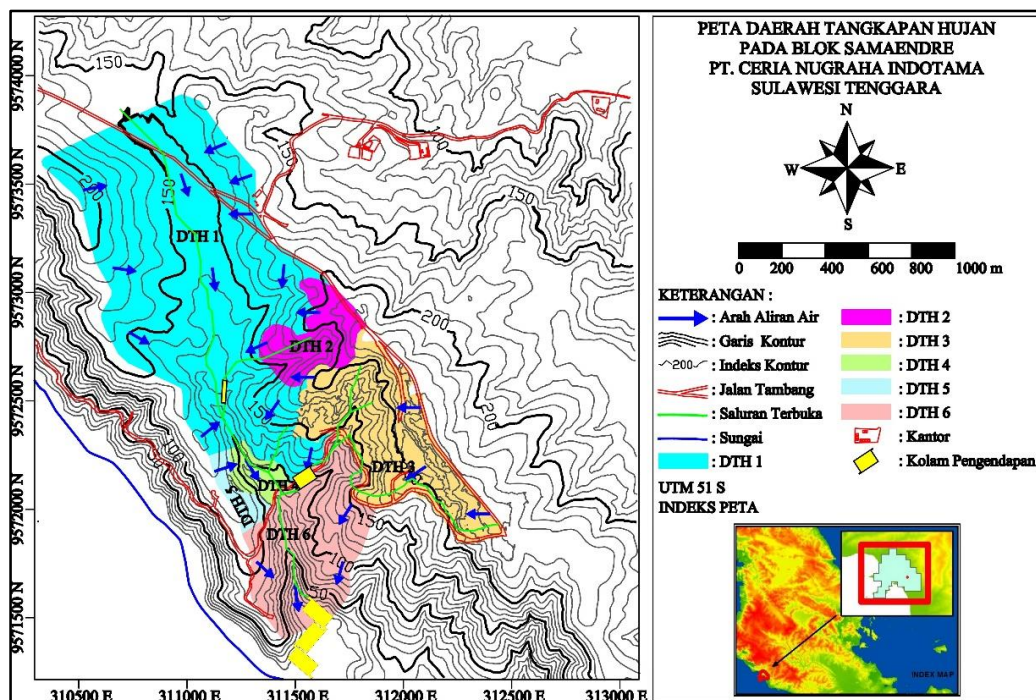
berbagai metode, namun penelitian ini menggunakan koefisien J. Hassing (Azhari dan Anwar, 2016). Penentuan koefisien limpasan dilakukan dengan cara pengamatan langsung ke lokasi penelitian sehingga diperoleh nilai koefisien limpasan sesuai dengan kondisi vegetasi, kondisi topografi, dan kondisi tanah. Nilai koefisien limpasan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Koefisien limpasan

DTH	1	2	3	4	5	6
C	0,54	0,86	0,9	0,86	0,54	0,46

Tabel 6. Hasil prediksi curah hujan 2021-2030

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2021	54,30	79,03	64,65	83,27	65,13	58,11	52,37	26,15	27,62	36,56	49,70	86,75
2022	74,56	83,79	64,35	96,67	61,73	65,05	69,37	26,52	27,54	37,52	70,19	81,67
2023	71,03	95,38	68,93	86,60	61,32	68,34	55,36	33,92	35,59	39,24	74,61	85,94
2024	76,99	94,73	58,26	107,01	61,89	66,82	57,05	31,65	26,27	36,31	60,41	94,68
2025	86,78	97,44	63,67	92,50	65,56	68,13	58,50	35,04	33,59	47,42	61,59	91,04
2026	80,98	109,61	60,04	93,09	65,11	67,81	58,53	32,01	31,84	41,60	69,35	84,42
2027	79,26	100,42	65,41	90,00	64,75	67,89	58,75	36,41	32,92	40,53	62,04	88,12
2028	78,60	100,48	63,51	97,32	64,71	70,15	58,88	33,19	33,06	41,88	59,79	84,52
2029	76,46	99,65	65,04	98,19	64,62	68,11	58,22	31,94	32,17	41,64	72,77	86,48
2030	77,51	97,98	65,90	94,05	63,99	66,77	59,66	32,70	31,96	41,57	74,17	86,01



Gambar 5. Daerah tangkapan hujan

Debit Air Limpasan

Debit air limpasan menggunakan rumus rasional dengan memasukkan parameter seperti intensitas curah hujan, koefisien air limpasan, dan luas daerah tangkapan hujan. Dalam rumus rasional digunakan konversi (0,278) yang digunakan jika luasan yang diperhitungkan dalam satuan km^2 . Debit total air limpasan yang akan masuk ke kolam pengendapan sebesar $7,83 \text{ m}^3/\text{s}$. Debit air limpasan di masing-masing DTH dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Debit air limpasan

DTH	1	2	3	4	5	6
Q (m^3/s)	3,85	0,67	2,03	0,24	0,12	0,91

Saluran Terbuka

Saluran terbuka memiliki fungsi untuk mengalirkan air dari area tambang ke kolam pengendapan. Rancangan ini juga didasarkan pada kondisi topografi daerah penelitian dengan memerhatikan perbedaan ketinggian supaya aliran air bisa terjadi secara alamiah. Penentuan lokasi saluran terbuka berdasarkan letak daerah tangkapan hujan, arah aliran air, dan debit air limpasan masing-masing daerah tangkapan hujan. Bentuk saluran terbuka yang digunakan pada lokasi penambangan berbentuk trapesium. Untuk menentukan dimensi saluran terbuka, dilakukan perhitungan menggunakan rumus Manning (Dewi dkk., 2021). Harga koefisien kekasaran saluran (n) yaitu 0,03 karena dinding saluran berupa tanah tanpa pengerasan. Kemiringan dinding saluran sebesar 60° . Saluran terbuka terdiri dari kedalaman air (h), kedalaman air (d), lebar dasar saluran (B), lebar permukaan (b), panjang dinding saluran dari dasar sampai permukaan (a). Dari hasil analisis terdapat 7 saluran terbuka yang dimensinya dapat dilihat pada Tabel 9.

Kolam pengendapan berfungsi sebagai tempat penampungan air sekaligus untuk mengendapkan partikel – partikel padatan yang ikut bersama air dari lokasi penambangan. Kolam pengendapan dibuat pada daerah terendah di luar daerah penambangan, sehingga air akan masuk ke kolam pengendapan secara alami, dan

selanjutnya dialirkan ke badan air. Sebelum menentukan ukuran kolam pengendapan, terlebih dahulu harus diketahui % padatan dan % air yang terkandung dalam lumpur penambangan. Kolam pengendapan terletak di selatan pit Samaendre. Hal ini dilakukan untuk menjaga kualitas air dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Tabel 9. Dimensi saluran terbuka

Saluran	h	d	B	b	a
Satuan	m	m	m	m	m
1	1,33	1,59	1,53	3,06	1,84
2	0,69	0,82	0,79	1,58	0,95
3	1,41	1,69	1,62	3,25	1,95
4	1,45	1,74	1,67	3,34	2,01
5	0,36	0,44	0,42	0,84	0,50
6	1,04	1,25	1,20	2,41	1,45
7	1,73	2,07	2,00	3,99	2,40

Data masukan untuk memperhitungkan kapasitas kolam meliputi total debit yang masuk ke kolam pengendapan (Q_{input}), *total suspended solid*, partikel yang direncanakan keluar kolam (D), berat jenis padatan, berat jenis air $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, kekentalan dinamik air, persentase padatan (%*solid*), dan persentase air (%*water*) dalam lumpur. Data yang tersedia untuk memperhitungkan dimensi, padatan yang berhasil terendapkan, dan lama waktu pengerukan (*maintenance*) kolam pengendapan.

Lokasi penelitian mempunyai dua *safety pond*. fungsinya sama seperti kolam pengendapan tetapi *safety pond* dibuat untuk melakukan pengendapan sementara partikel padatan dari satu daerah tangkapan hujan dan diharapkan dapat mengurangi debit air saluran yang menuju ke kolam pengendapan. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya *overflow* di kolam pengendapan. Kolam pengendapan memiliki bentuk trapesium dan dari tampak atas berbentuk persegi panjang.

Safety pond 1

Safety pond 1 (Gambar 6) dibuat untuk menampung air limpasan yang berasal dari *Pit HPAL* (DTH 2) dengan debit air limpasan sebesar $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$. *Safety pond* 1 memiliki 3 kompartemen, 2 penyekat dan kedalaman kolam 5 m. Dengan menggunakan jam hujan

maksimum 2,37 jam maka didapatkan volume air limpasan yang akan masuk ke *safety pond* 1 sebesar 5683,33 m³, volume kolam pengendapan sebesar 5819,05 m³, dan luas kolam sebesar 1512 m². Waktu pengerukan di *safety pond* 1 dapat dilakukan 37 hari sekali.

Safety pond 2

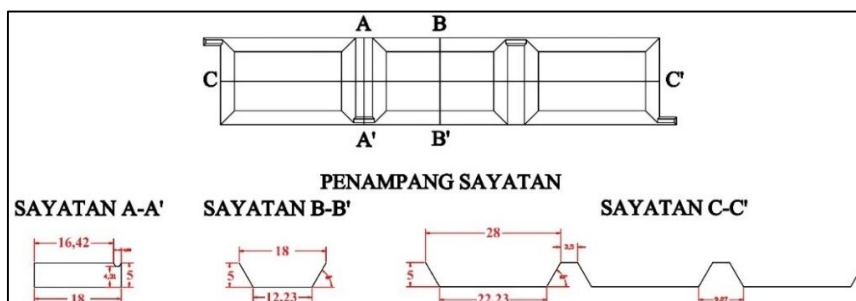
Safety pond 2 (Gambar 7) dibuat untuk menampung air limpasan yang berasal dari *Pit Garuda North* dan *Pit Samaendre* yang merupakan DTH 3 dengan debit air limpasan sebesar 2,03 m³/s. *Safety pond* 2 memiliki 3 kompartemen, 2 penyekat dan kedalaman kolam 5 m. Dengan menggunakan jam hujan maksimum 2,37 jam maka didapatkan volume yang akan masuk ke *safety pond* 2 sebesar 17377,81 m³, volume kolam pengendapan sebesar 17608,75 m³, dan luas kolam sebesar 5869,58 m². Waktu pengerukan di *safety pond* 2 dapat dilakukan 41 hari sekali.

Kolam Pengendapan

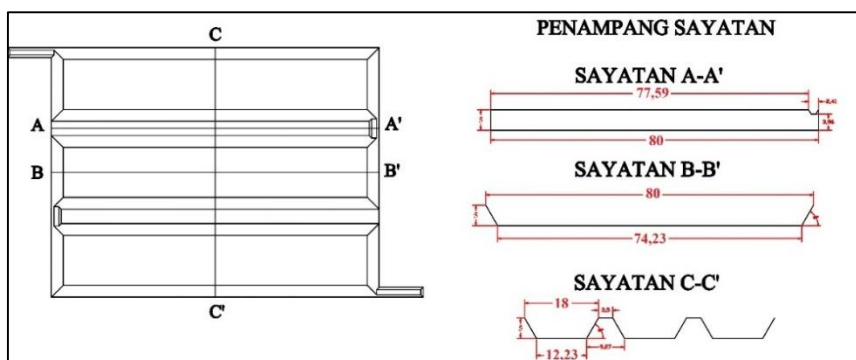
Kolam pengendapan (Gambar 8) berfungsi untuk mengendapkan lumpur yang terbawa

oleh air limpasan dari daerah tangkapan hujan. Di samping sebagai tempat pengendapan, kolam pengendapan juga dapat berfungsi sebagai tempat pengontrol kualitas dari air yang akan dialirkan menuju ke badan air, baik dari segi kandungan material padatnya atau *Total Suspended Solid*, tingkat keasaman ataupun kandungan material lain yang dapat merusak lingkungan.

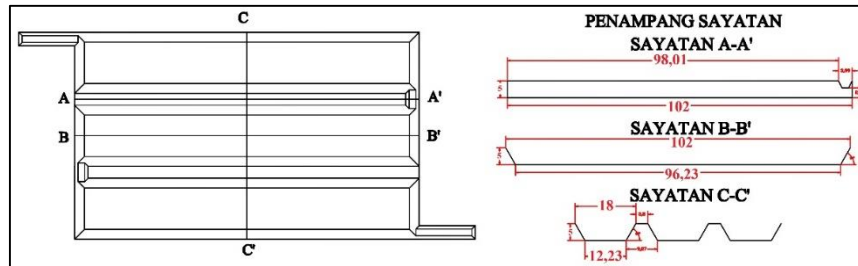
Analisis perawatan pada kolam pengendapan dilakukan dengan menggunakan data TSS yang diambil pada *inlet* kolam pengendapan dengan nilai TSS sebesar 608 mg/liter. Perawatan terhadap kolam pengendapan harus dilakukan secara teratur agar tidak terjadi pendangkalan yang menyebabkan luapan. Dari hasil perhitungan kolam pengendapan yang memiliki luas 16.524 m² dengan volume kolam sebesar 67.790,09 m³ maka debit yang masuk sebesar 7,83 m³/detik atau 66.862,71 m³. Kolam pengendapan memiliki 3 kolam dengan masing masing kolam memiliki 3 kompartemen. Satu kolam mampu menampung 22.596,70 m³. Waktu pengerukan di kolam pengendapan dapat dilakukan 20 hari sekali.



Gambar 6. Rancangan dimensi *safety pond* 1



Gambar 7. Rancangan dimensi *safety pond* 2



Gambar 8. Rancangan dimensi kolam pengendapan

KESIMPULAN

Hasil prediksi curah hujan selama 10 tahun dengan metode T-F modifikasi Kirby dipilih karena hasil prediksi mendekati data aktual dengan nilai 0,26. Dengan metode ini diketahui curah hujan tertinggi 109,61 mm/hari dan debit air limpasan 7,83 m³/s. Rancangan saluran terbuka didasarkan pada debit air limpasan dari masing-masing daerah tangkapan hujan, maka saluran diharapkan mampu mengalirkan air limpasan ketika curah hujan yang diprediksi terjadi dan penentuan lokasi saluran terbuka berdasarkan arah aliran air limpasan permukaan.

Debit air limpasan akan ditampung sementara di kolam pengendapan untuk mengendapkan padatan yang tersuspensi sebelum dialirkan menuju ke badan air. Volume air limpasan yang direncanakan akan masuk ke kolam pengendapan 66.862,71 m³ sehingga dimensi kolam pengendapan dirancang mampu menampung volume tersebut dan volume rancangan kolam pengendapan 67.790,09 m³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada segenap staf PT CNI yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian serta membantu menyediakan data sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. T., Bargawa, W. S., Cahyadi, T. A., Ernawati, R. dan Nursanto, E. (2021) "Penentuan debit air limpasan dan luas kompartemen pada rencana desain wetland Bukit Ragas," *Jurnal Sosial Teknologi*, 1(2), hal. 98–105. doi: 10.36418/jurnalsostech.v1i2.11.
- Arselan, C. A. (2012) "Stream flow simulation and synthetic flow calculation by modified Thomas Fiering model," *AL-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*, 20(4), hal. 118–127. doi: 10.33899/rengj.2012.54160.
- Aswad, F. K., Yousif, A. A. dan Ibrahim, S. A. (2019) "Evaluation the best random component in modified Thomas-Fiering model in generating rainfall data for Akre station," *Polytechnic Journal*, 9(2), hal. 186–192. doi: 10.25156/ptj.v9n2y2019.pp186-192.
- Azhari, M. dan Anwar, S. (2016) "Model penanggulangan banjir sungai (Studi kasus Sungai Pekik di Kabupaten Cirebon)," *Jurnal Konstruksi*, V(4), hal. 393–399.
- Bargawa, W. S. (2018) *Perencanaan tambang*. 8 ed. Yogyakarta: Kilau Book.
- Cahyadi, T. A., Deka Citra Dinata, Haryanto, D., Hartono, Titisariwati, I. dan Fahlevi, R. (2020) "Evaluasi saluran terbuka dengan menggunakan distribusi Gumbell dan model Thomas Fiering," *KURVATEK*, 5(1), hal. 29–36. doi: 10.33579/krvtk.v5i1.1570.
- Dewi, M. C., Anggara, R., Hidayatullah, R. dan Nurhakim, I. (2021) "The planning of mine drainage system at PT Perkasa Inakakerta, East Kutai Regency," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 882(1), hal. 012056. doi: 10.1088/1755-1315/882/1/012056.
- Gautama, R. S. (1997) "Storm rainfall analysis: an important factor in designing mine dewatering facilities in tropical region," in *International Mine Water Association*. Slovenia: IMWA, hal. 235–242.
- Granato, G. E. (2013) "Stochastic empirical loading and dilution model (SELDLM) version 1.0.0," in *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*. Book 4, hal. 112.

- Jayanti, K. D. (2012) "Prediksi pola curah hujan bulanan dengan menggunakan model Thomas–Fiering," *Jurnal AgroPet*, 9(1), hal. 13–21.
- Khalik, R. M. dan Cahyadi, T. A. (2020) "Kajian dan rancangan sistem penyaliran tambang pada tambang terbuka dengan studi kasus extreme rainfall," *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 6(2), hal. 106–120.
- Loucks, D. P. dan van Beek, E. (2017) *Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications*. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-44234-1.
- Ranteallo, A. S. P. (2017) *Rancangan sistem penyaliran Bukit Fortuner Tambang Selatan PT. Antam (Persero) Tbk UBPN Sulawesi Tenggara*. Universitas Trisakti.
- Yusran, K., Djamaluddin dan Budiman, A. A. (2015) "Sistem penyaliran tambang pit AB Eks pada PT. Andalan Mining Jobsite Kaltim Prima Coal Sangata Kalimantan Timur," *Jurnal Geomine*, 3(1), hal. 170–176. doi: 10.33536/jg.v3i1.20.