

OPTIMASI PROSES PENETRALAN AIR ASAM TAMBANG PADA *SETTLING POND* PT DARMA HENWA TBK *JOBSITE* PT ARUTMIN INDONESIA *SITE* ASAM-ASAM

Optimization of Acid Mine Drainage Neutralization Process at Settling Pond PT Darma Henwa Tbk Jobsite PT Arutmin Indonesia Site Asam-Asam

Tri Okta Maulana^{1*)}, Agus Mirwan²⁾, Hesty Heryani³⁾, Andy Mizwar²⁾

¹⁾ *Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana
Universitas Lambung Mangkurat*

²⁾ *Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat*

³⁾ *Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat*

^{*)} email: trioktamaulana@gmail.com

Abstract

One of method which usually used in neutralizing Acid Mine Drainage using neutralizing agents is Settling Pond. This treatment process requires adding neutralizing agents to the waters or through a mixing system and allowing deposits to form in the pond. Many factors and process mechanisms can affect the effluent quality of an Acid Mine Drainage processing system. The purpose of this study is to evaluate the effectiveness and optimize the Acid Mine Drainage neutralization process carried out in Settling Pond 19. The research method used is to make theoretical simulations both modeling using PHREEQC and calculations to simulate various neutralization process options. The results showed that the neutralization process was affected by the quality of the neutralizing agent, the number of doses, the saturation index (precipitation) limit, the dissolution process of the neutralizing agent, the duration of dosing, and the duration of neutralization. According to modeling and theoretical calculations, the technical recommendations for optimizing the Acid Mine Drainage neutralization process to produce effluent quality that meets wastewater quality standards are the duration interval to inject neutralizer from every 60 minutes to every 13.6 minutes with a continuous dosing mechanism; The use of a maximum dose of limestone of 0.22 g/L to avoid oversaturated events, and the use of a limestone dissolution mechanism before the injection process is carried out to reduce the need for retention time for 216 seconds.

Keyword: Acid Mine Drainage (AMD); jar test; PHREEQC; settling pond

PENDAHULUAN

Air asam tambang (AAT) merupakan salah satu masalah umum lingkungan sebagai akibat dari kegiatan industri pertambangan. AAT memiliki karakteristik pH yang sangat rendah dan kandungan logam terlarut dan sulfat yang tinggi (Johnson & Hallberg, 2005). Hal ini sangat mempengaruhi pada lingkungan penerima sehingga dapat

mengubah pH lingkungan sekitar dan konsentrasi terlarut dari spesies kimia yang berbeda (Masindi *et al.*, 2017). Lebih lanjut, pH yang rendah (asam) dapat meningkatkan bioavailabilitas logam sehingga menginduksi disosiasi logam dan kelarutan yang lebih tinggi (Magalhaes *et al.*, 2015)

Air asam tambang atau AAT (*acid mine drainage*-AMD) adalah air yang bersifat asam dengan tingkat keasaman yang tinggi dan sering ditandai dengan nilai pH yang rendah (di bawah 5) sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terpajang atau terdedah di udara dengan kehadiran air. Penambangan yang kegiatan utamanya adalah penggalian, mempercepat proses pembentukan AAT karena mengakibatkan tersingkapnya mineral sulfida ke udara, air dan mikroorganisme (Gautama, 2014).

Pengolahan AAT diperlukan untuk agar memenuhi baku mutu air limbah kegiatan pertambangan batubara sebelum dilepaskan ke badan perairan alami. Walaupun metode pencegahan telah dilakukan dengan baik, tetap saja ada AAT yang terbangkitkan dan perlu diolah. AAT yang tak dapat dicegah pembentukannya, misalnya: dari pit tambang, pengotor hasil dari pencucian batubara dan *stockpile* batubara (Gautama, 2014).

Terdapat beberapa bahan kimia yang biasa digunakan untuk menetralkan air asam tambang. Masing-masing kurang lebih sesuai untuk kondisi tertentu. Pilihan terbaik bergantung pada faktor teknis (tingkat keasaman, aliran, jenis dan konsentrasi logam, karakteristik aliran penerima) dan faktor ekonomi (harga bahan kimia, tenaga kerja, mesin dan peralatan, durasi pengobatan dan suku bunga) (Skousen *et al.*, 2018).

Batu kapur yang baik untuk digunakan sebagai bahan penetral air asam tambang antara lain (Lamar, 1961):

- a. Kadar CaCO_3 lebih dari 95%
- b. Kandungan *magnesium carbonate* yang tidak lebih dari 2 %
- c. Kandungan *dolomite* pada *limestone* akan membuat reaksi berjalan lambat pada air asam
- d. Memiliki ukuran ≤ 3 mm untuk penetralkan *upflow* dan 1 sampai dengan 3 inchi untuk penetralkan *downflow*.

Upaya penetralkan AAT secara aktif merupakan pilihan yang paling sering digunakan hingga saat ini. Salah satu

metodenya menggunakan penambahan agen penetral yang bertujuan untuk memastikan karakteristik air yang keluar sebagai *effluent* sudah memenuhi standar baku lingkungan sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Namun sistem pengolahan AAT dengan proses penetralkan sangat dipengaruhi oleh perubahan musim, desain, kapasitas pengolahan dan ekonomi. Pada kondisi aktual di lapangan dimana proses penetralkan AAT dilakukan tanpa diawali dengan proses pelarutan CaCO_3 dapat menyebabkan fungsi pertukaran ion-ionnya dalam fase larutan menjadi lambat sehingga durasi waktu penetralkan menjadi lebih lama dari yang seharusnya.

Penelitian ini diharapkan dapat diperoleh kondisi optimum penambahan CaCO_3 ditinjau dari dosis dan waktu tinggal terhadap parameter pH, Fe dan Mn agar dapat diaplikasikan pada mekanisme proses pengolahan AAT berdasarkan mekanisme penetralkan standar, rekomendasi teknis dan mekanisme perbaikan yang telah dibuat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT Darma Henwa Tbk yang berada di wilayah pertambangan batubara IUPK PT Arutmin Indonesia site Asam-Asam tepatnya pada *Settling pond* 19. Secara administratif berlokasi di Desa Asam Asam Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan.

Tahapan penelitian ini mengacu pada tujuan penelitian yang terdiri atas 2 bagian tahapan penelitian yaitu tahapan evaluasi proses penetralkan AAT dan optimasi proses penetralkan AAT

Tahapan Evaluasi meliputi kegiatan observasi yaitu tahapan untuk mendapatkan data primer berdasarkan kondisi aktual lapangan. Selanjutnya adalah pengambilan sampel air di titik *inlet* sebelum pengolahan dan titik *outlet* setelah pengolahan, sampel

kapur (bahan penetral), sampel *sludge* dan debit air aktual. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian sampel di laboratorium lalu melakukan evaluasi terhadap berdasarkan hasil yang uji lab yang telah dilakukan dan melakukan review kesesuaian proses atau kegiatan yang dilakukan dilapangan dengan kondisi ideal.

Tahapan optimasi ini dilaksanakan dengan sistematis. Adapun langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan permodelan reaksi kimia penetralan AAT dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PHREEQC berdasarkan input data karakteristik air, dosis aktual dan karakteristik kapur serta lumpur
- Menganalisis faktor mekanisme apa saja yang mempengaruhi hasil *effluent* sistem pengolahan AAT
- Membuat rekomendasi teknis untuk peningkatan efektivitas dan efisiensi sistem pengolahan AAT berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

AAT yang diolah di *Settling pond* 19 memiliki karakteristik pH<4, nilai pH yang rendah menyebabkan air cenderung tidak keruh, *Settling pond* 19 sendiri memiliki nilai TSS yang rendah dengan kadar <200 mg/L, serta kandungan logam antara lain Fe sebesar 0.06 mg/L dan Mn sebesar 0.02 mg/L. Proses pengolahan AAT lebih diutamakan untuk peningkatan pH.

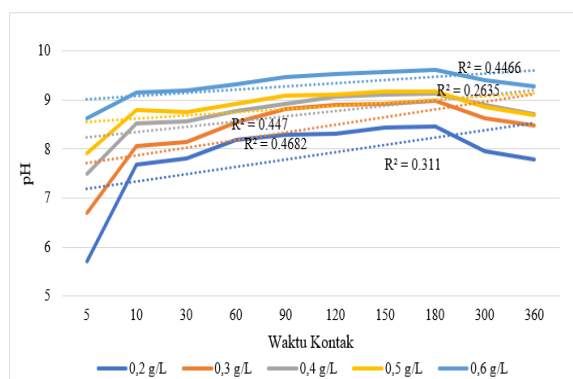
AAT akan mengalami proses pengolahan kimia dengan penambahan bahan penetral batu kapur untuk membantu meningkatkan pH dan menurunkan kandungan logam sampai dapat memenuhi standar baku mutu air limbah kegiatan pertambangan batubara berdasarkan

Peraturan Gubernur Kalsel No 36 Tahun 2008 (Tabel 1).

Tabel 1. Pergub No 36 tahun 2008

Parameter	Satuan	Nilai
pH		6 – 9
TSS	mg/L	200
Fe	mg/L	7
Mn	mg/L	4
Cd	mg/L	0.05

Proses penetralan *settling pond* 19 dilakukan melalui pemberian dosis berdasarkan acuan hasil penelitian *jar test* yang pernah dilakukan. Penetralan pada uji jar test dilakukan dengan menggunakan batu kapur yang telah dilarutkan terlebih dahulu.



Gambar 1. R^2 (R -Square) Uji Dosis (*Jar-Test*)
Sumber: PT Arutmin Indonesia, 2013

Gambar 1 menunjukkan jika dosis yang digunakan pada *Settling pond* 19 untuk proses penetralan adalah sebesar 0,3 g/L. Dosis ini dipilih karena memiliki nilai R^2 (R -Squared) paling besar yaitu 0.46, menunjukkan bahwa dosis dan pH yang dihasilkan memiliki kolerasi yang paling baik.

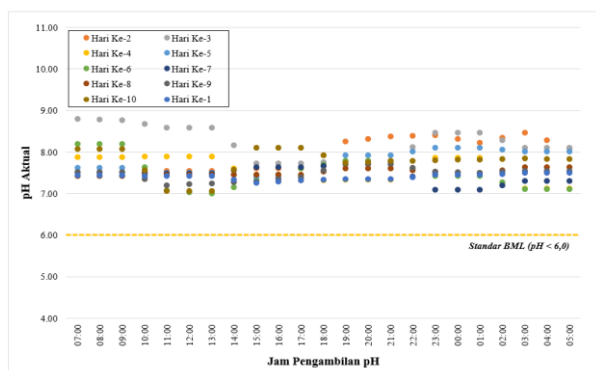
Sampel air untuk pengujian yang akan digunakan sebagai data primer diambil di *inlet* Kompartement 1 sebanyak 1 sampel dan di titik penataan/*outlet* sebanyak 1 sampel (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Uji Kualitas Air *Inlet* dan *Outlet Settling Pond* 19

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	
			<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
1	Suhu	°C	30.5	29.8
2	<i>Suspended Solid</i> (TSS)	mg/L	32	16
3	<i>Disolved Solid</i> (TDS)	mg/L	1219	208
4	Warna	Pt.Co	39.89	15.26
5	pH		3.99	7.02
6	<i>Disolved Oksigen</i> (DO)	mg/L	2.7	4.25
7	Besi (Fe)	mg/L	<0.06	<0.06
8	Mangan (Mn)	mg/L	<0.02	<0.02
9	Kadmium (Cd)	mg/L	<0.016	<0.016

Sumber: Data Primer Tahun 2023

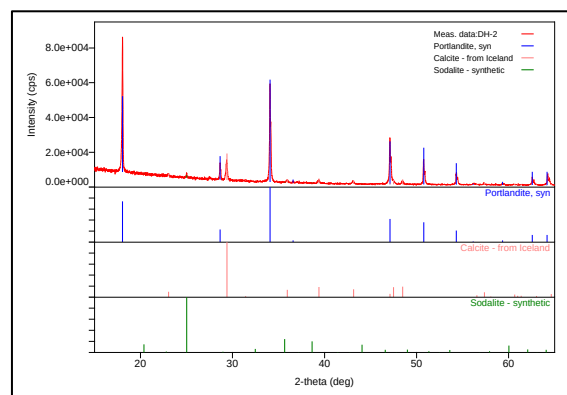
Pengambilan data pH *outlet* dilakukan setiap 1 jam selama 10 hari pada *shift* siang dan malam, pengambilan data dimulai dari jam 07.00 s.d jam 05.00. dari hasil pengambilan data di peroleh hasil bahwa nilai pH *outlet* masih di atas baku mutu Lingkungan (>6).



Gambar 2. Data Pengukuran pH *Outlet*

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Karakteristik lebih detail mengenai batu kapur yang digunakan di *settling pond* 19 dapat dilihat dari hasil analisis uji *X-Ray Fluorence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) (Gambar 3 dan Tabel 3).



Gambar 3. Hasil uji XRD sampel kapur

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Hasil uji XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan mineral yang terkandung di dalam bahan penetral adalah *Calcite* (CaCO_3) dan *Portlandite* (Ca(OH)_2), sedangkan total massa 98,6% di dominasi oleh *calcium* (Ca), *rhodium* (Rh) 0.36% dan *magnesium* (Mg) 0,34 %; lalu diikuti dengan unsur ikutan.

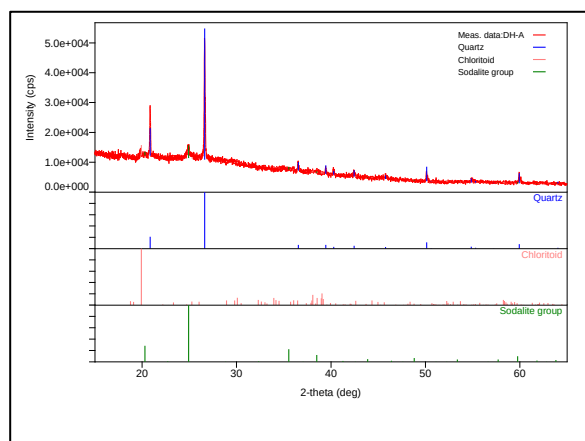
Tabel 3. Hasil Uji XRF – Unsur & Senyawa Batu Kapur

Unsur	Komposisi	Mineral	Komposisi
Ca	98.60%	CaO	98.40%
Rh	0.36%	MgO	0.48%
Mg	0.34%	Rh ₂ O ₃	0.28%
Sr	0.27%	SrO	0.20%
Si	0.09%	SiO ₂	0.16%
Fe	0.08%	Al ₂ O ₃	0.08%
K	0.07%	P ₂ O ₅	0.08%
Cl	0.06%	K ₂ O	0.07%
Al	0.05%	Fe ₂ O ₃	0.07%
P	0.04%	SO ₃	0.07%
S	0.03%	Cl	0.05%
Total	100%	Total	100%

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Karakteristik dari kapur yang digunakan sudah memenuhi standar bahan penetral. Kecepatan reaksi dapat berlangsung baik, karena kandungan *dolomite* (Mg) kurang dari 2 %, hal ini dikarenakan sifat *dolomite* yang bereaksi sangat lambat pada air asam.

Pengujian karakteristik lumpur diperlukan sebagai bentuk konfirmasi reaksi dan proses kimia fisik apa saja yang terjadi selama penetralan. Karakteristik lebih detail mengenai batu lumpur yang dihasilkan dari proses penetralan di *settling pond* 19 dapat dilihat dari hasil analisis uji XRD dan XRF.



Gambar 4. Hasil Uji XRD Sampel Lumpur

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Tabel 4. Hasil Uji XRF – Unsur & Senyawa Lumpur

Unsur	Komposisi	Mineral	Komposisi
Si	45.20%	SiO ₂	52.30%
Al	19.70%	Al ₂ O ₃	23.40%
Fe	15.50%	Fe ₂ O ₃	8.40%
Mg	4.36%	MgO	4.95%
S	4.16%	SO ₃	4.67%
Ca	4.05%	CaO	2.41%
K	2.46%	K ₂ O	1.29%
Mn	2.21%	MnO	1.10%
Ti	1.37%	TiO ₂	0.93%
Zn	0.33%	ZnO	0.14%
Ni	0.22%	NiO	0.09%
Cu	0.11%	P ₂ O ₅	0.09%
Co	0.11%	Co ₂ O ₃	0.06%
P	0.08%	CuO	0.05%
Zr	0.06%	ZrO ₂	0.03%
Sr	0.04%	SrO	0.02%
Cl	0.04%	Cl	0.02%
Rb	0.02%	Rb ₂ O	0.01%
Total	100%	Total	100%

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Selama 10 hari pengambilan data sebaran pH outlet, penggunaan jumlah kapur aktual juga dilakukan pencatatan (Tabel 5).

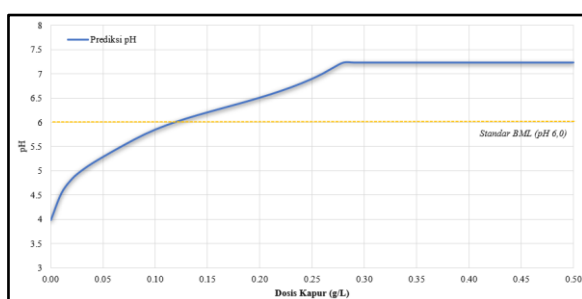
Tabel 5. Data Dosis Aktual Penggunaan Batu Kapur *Settling Pond* 19

Tanggal	Vol Air (m ³)	Kapur (Kg)	Dosis Aktual (g/L)
13-Feb	20,927	6,000	0.29
14-Feb	16,081	6,000	0.37
15-Feb	15,492	3,000	0.19
16-Feb	13,400	6,750	0.50
17-Feb	18,571	5,750	0.31
18-Feb	4,280	2,500	0.58
19-Feb	12,872	5,250	0.41
20-Feb	13,804	4,500	0.33
21-Feb	9,205	3,250	0.35
22-Feb	4,624	1,875	0.41
Total	129,256	44,875	0.35

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Penggunaan dosis *settling pond* 19 selama pengambilan data pH outlet menunjukkan bahwa dari keseluruhan data penggunaan dosis 80% bernilai lebih besar daripada dosis acuan *Jar Test* sebesar 0,3 g/L.

Permodelan PHREEQC menggunakan sumber data yaitu hasil uji kualitas air pada inlet *settling pond* 19 (Tabel 2) dan karakteristik kandungan mineral batu kapur (Tabel 3). Hasil prediksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Permodelan PHREEQC Penetralan AAT Menggunakan Batu Kapur
Sumber: Data Primer Tahun 2023

Penetralkan air asam tambang yang terjadi di *settling pond* 19 yang dilakukan tanpa melalui mekanisme disolusi bahan penetral terlebih dahulu, akan menyebabkan adanya penambahan waktu tinggal (*Retention Time*). Durasi waktu tinggal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan difusi Hukum Fick orde pertama. Hukum ini digunakan untuk menghitung laju difusi secara 2 dimensi. Perhitungan ini menggunakan data kecepatan difusi CaCO_3 terhadap AAT (H^+) secara konstan sebesar $0,043 \pm 0,015$ menurut penelitian terdahulu (Bouchelagem, 2009). Volume AAT yang digunakan untuk perhitungan adalah konstan sebesar 1 Liter atau 1 dm^3 .

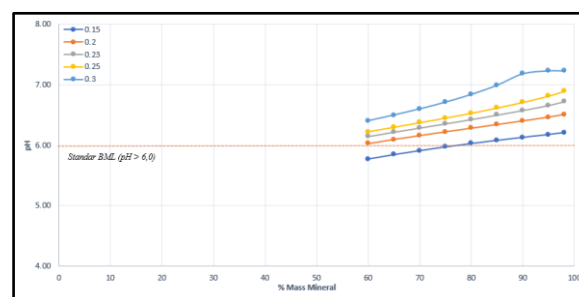
Tabel 6. Kebutuhan Waktu Tinggal untuk Kontak Batu Kapur Terlarut

Dosis (g/L)	Waktu Kontak Terlarut (Detik)
0.2	316
0.3	251
0.4	228
0.5	213
0.6	207

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Kebutuhan waktu tinggal teoritis dihitung berdasarkan penggabungan antara hasil perhitungan secara teoritis durasi waktu proses disolusi dan durasi penetralkan berdasarkan penelitian *jar test*. Waktu penelitian *jar test* yang digunakan adalah durasi 10 menit atau 600 detik, durasi waktu penetralkan yang cukup untuk mencapai $\text{pH} > 7$. Durasi waktu disolusi pada tabel 7 tersebut ditambahkan dengan waktu bereaksi data *Jar Test* dengan waktu durasi 600 detik dengan harapan waktu tersebut mampu menyediakan waktu untuk AAT bereaksi sampai mencapai $\text{pH} > 7$. Sebagai contoh durasi waktu yang dibutuhkan dosis 0,2 g/L untuk terlarut secara sempurna sekaligus bereaksi dengan air asam tambang adalah 816 detik atau 13,6 menit.

Kemurnian batu kapur akan mempengaruhi kualitas *effluent* yang dihasilkan (Gambar 6).

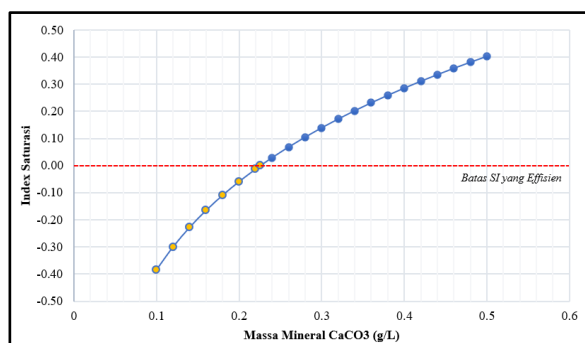


Gambar 6. Kadar Mineral CaCO_3 dan Prediksi pH Effluent dengan Menggunakan Permodelan PHREEQC

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi kualitas batu kapur atau semakin tinggi kandungan % mass mineral CaCO_3 , semakin banyak jumlah anion dan kation CaCO_3 , akan semakin cepat terjadi reaksi pengikatan anion sehingga mengakibatkan kenaikan pH. Kemurnian batu kapur dipengaruhi oleh banyaknya jumlah pengotor (*Impurities*).

Perhitungan index saturasi kalsium karbonat dengan menggunakan pendekatan perhitungan *Langeier Saturation Index* dapat dilihat Gambar 7.



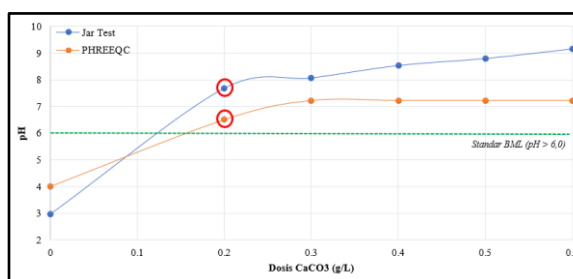
Gambar 7. Nilai LSI pada Masing-Masing Dosis CaCO_3

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Syarat terbentuknya endapan/saturasi adalah apabila suatu zat memiliki nilai indeks saturasi (SI) > 0. Larutan Air asam tambang dengan karakteristik pH awal 3,99 memiliki kandungan kalsit 17 mg/L, tekanan udara 1 atm dan temperature $30,5^\circ\text{C}$ berdasarkan Gambar 6 akan mengalami saturasi pada saat diberikan dosis sebanyak > 0,23 g/L.

Air asam tambang pada *settling pond* 19 dapat melarutkan batu kapur sampai pada dosis 0,2 g/L. Pada kondisi aktual di lapangan, jumlah rata-rata dosis harian yang digunakan sebesar 0,35 g/L (Tabel 5), dosis yang digunakan telah melampaui nilai indeks saturasi = 0 yaitu pada dosis 0,23 g/L, sehingga dari keseluruhan batu kapur yang diberikan hanya sekitar 66% yang dapat bereaksi dengan AAT sedangkan sisanya tidak bereaksi dan mengendap.

Evaluasi faktor dosis pada proses penetralan pada *settling pond* 19, dilakukan dengan membandingkan dosis aktual 0,35 g/L dengan acuan dosis yang dibuat dari permodelan dan uji *jar test*. Hasil *forward modelling* PHREEQC kemudian dibandingkan dengan hasil uji *jar test*, data keduanya dijadikan sebagai kontrol standar untuk evaluasi dosis.

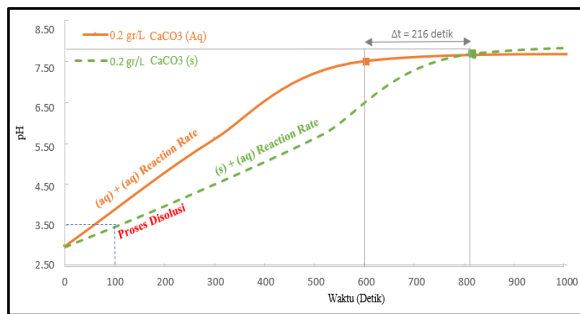


Gambar 8. Perbandingan Hasil Permodelan PHREEQC dan *Jar Test*

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan penambahan dosis sebesar 0,2 g/L batu kapur kandungan 98,4 % CaCO_3 dengan menggunakan uji *jar test* dan permodelan PHREEQC sudah mampu menaikkan pH > 6 dan memenuhi baku mutu air limbah di *settling pond* 19.

Settling pond 19 memiliki debit rata-rata $\pm 0.23 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan mekanisme penetralan dilakukan tanpa adanya proses disolusi, sehingga akan dibutuhkan penambahan waktu disolusi di samping penyediaan waktu tinggal untuk penetralan. Durasi laju penetralan secara teoritis dihitung menggunakan pendekatan Hukum Fick, yaitu hukum yang mengadopsi peristiwa difusi antara padatan dan larutan.



Gambar 9. Perbandingan Laju Penetralkan antara Reaksi (s)-(aq) dan Reaksi (aq)-(aq)

Sumber: Data Primer Tahun 2023

Gambar 9 menunjukkan adanya waktu tinggal yang diperlukan dari masing-masing proses penetralkan. Mekanisme padatan membutuhkan waktu sekitar 816 detik untuk dapat seluruhnya terlarut, ikatan tiga dimensi pada kondisi padatan hancur dan ion-ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} terlepas bebas untuk bereaksi dan berikatan dengan ion H^+ dalam AAT. Kedua mekanisme penetralkan ini akan mampu mencapai pH 7,68 masing-masing dalam durasi waktu 600 detik untuk mekanisme penetralkan larutan-larutan dan secara teoritis dalam waktu 816 detik pada mekanisme padatan-larutan. Penetralkan dengan mekanisme larutan-larutan mampu menghemat 216 detik waktu tinggal yang dibutuhkan.

KESIMPULAN

Effluent yang dihasilkan dalam proses penelitian sudah sesuai dengan baku mutu lingkungan ($\text{pH} > 6$), akan tetapi penggunaan dosis bahan penetral dan durasi injeksi bahan penetral batu kapur tidak efektif dan efisien. Dosis aktual yang diberikan yaitu 0,35 g/L, melebihi dari dosis Standar *jar test* dan interval durasi injeksi bahan penetral (Batu kapur) 46 menit lebih lama dari pada durasi penetralkan hasil perhitungan teoritis dan *jar test*. Dosis batu kapur aktual juga melebihi batas nilai indeks saturasi sebesar 0,23 gr/L, sehingga hanya 66% dari total bahan penetral

yang dapat bereaksi, sedangkan 34% sisanya akan mengendap. Proses penetralkan yang dilakukan yakni dengan menggunakan mekanisme padatan memerlukan waktu sebesar 816 detik atau 13,6 menit, lebih lama 216 detik apabila dibandingkan dengan menggunakan mekanisme larutan.

Rekomendasi teknis yang diberikan untuk mengoptimasi proses penetralkan AAT hingga menghasilkan kualitas *effluent* yang memenuhi persyaratan baku mutu air limbah adalah Interval durasi pemberian bahan penetral dari setiap 60 menit diubah menjadi setiap 13,6 menit dengan mekanisme pengumpanan terus menerus (*continuous dosing*); Penggunaan dosis batu kapur maksimal sebesar 0,22 g/L untuk menghindari peristiwa *oversaturated* dan penggunaan mekanisme disolusi batu kapur sebelum dilakukan proses injeksi untuk mengurangi kebutuhan waktu tinggal selama 216 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, F. (2015). *Simulasi Pembentukan Air Asam Tambang dan Prediksi Kualitas Air di Pit Lake (Studi Kasus PT Arutmin Indonesia, Site Asamasam)*, ITB, Bandung
- Arutmin Indonesia, (2013). *Penentuan Dosis Optimum Penambahan Kapur dan Tawas Untuk Meningkatkan pH dan Menurunkan Turbidity Di Settling Pond 13 dan 10 PT Arutmin Indonesia Asam-Asam Mine, Kalimantan Selatan*
- Aubé, P. B., Zinck, J. (2003). *Lime Treatment of Acid Mine Drainage in Canada, Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation*, Florianópolis – Brazil
- Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF: Getting Acquainted with the Principles*. PANalytical, Nedherland
- Bouchelaghem, F. (2010). *A Numerical and Analytical Study on Calcite Dissolution and Gypsum Precipitation, Applied*

- Mathematical Modelling* 34, University of Pierre and Marie Curie, France
- Bűcsi, A., Oremusová, J., Uhríková, D. (2010). *Kinetics of Dissolution of Solid Substances, Laboratory Manual for Physical Chemistry*. Farmaceutical Faculty., Comenius University, Bratislava – Slovak.
- Chang, R. (2010). *Chemistry 10th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc*, New York - America.
- Cravotta, C. A. (2021). *Interactive PHREEQ-N-AMDTreat water-quality modeling tools to evaluate performance and design of treatment systems for acid mine drainage*. Research Hydrologist, U.S. Geological Survey, Pennsylvania Water Science Center, USA
- Gautama, R.S. (2014). *Pembentukan, pengendalian dan pengelolaan air asam tambang (Acid Mine Drainage)*, ITB, Bandung.
- Heryani, H., Putra, M.D. (2017). *Kinetic study and modeling of biosurfactant production using Bacillus sp*, *Electronic Journal of Biotechnology*. 27 (2017) 49–54
- Hidayat, L. (2017). *Pengelolaan Lingkungan Area Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mine Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan)*, Jurnal ADHUM Volume VII no 1.
- Johnson, D.B., Hallberg, K.B., (2005). *Acid mine drainage remediation options: a review*. University of Wales, UK
- Kefeni, K.K., Msagati, T.A.M., Mamba, B.B., (2017). *Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review* (pp 475 – 493). J. Clean. Prod. 151.
- Lamar, J.E. (1961). *Uses of Limestone and Dolomite*, Division of The Illinois State Geological Survey, Illinois – United State.
- Magalhaes, D.P., da Costa Marques, M.R., Baptista, D.F., Buss, D.F., (2015). *Metal bioavailability and toxicity in freshwaters*. *Environ Chem Lett* 13:69–87, Switzerland
- Masindi, V., Akinwekomi, V., Maree, J.P., Muedi, K.L., (2017). *Comparison of mine water neutralisation efficiencies of different alkaline generating agents* (pp. 3903 – 3913). J. Environ. Chem. Eng. 5,
- Moel, P. J., A.W.C. van, der, Helm., M. van, Rijn., J. C. van, Dijk., W. G. J. van, der, Meer. (2013). *Assessment of Calculation Methods for Calcium Carbonate Saturation in Drinking Water for DIN 38404-10 Compliance*, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Water Management, Delft – The Netherlands.
- Said, N.I. (2014). *Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi”*, Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT
- Skousen, J.G, Ziemkiewicz, P.F, McDonald, L.M. (2018). *Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies*. West Virginia University, Morgantown.
- Talukdar, B., Kalita, H.K., Basumatary, S., Saikia, D.J., Sarma, D., (2017). *Cytotoxic and genotoxic affects of acid mine drainage on fish Channa punctata (Bloch)* (pp. 72–78). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 144.
- Wojtowicz, J. A., Chemcon. (2001). *A Revised and Updated Saturation index Equation, Journal of Swimming Pool and Spa Industry* Volume 3, 28-34.
- Zhu, G., Wu, X., Ge, J., Liu, F., Zhao, W., Wu, C., (2020). *Influence of mining activities on groundwater hydrochemistry and heavy metal migration using a self-organizing map (SOM)*. J. Clean. Prod. 257, 120664.