

Studi Penggunaan Kapur Tohor Dalam Proses Penetralkan Air Asam Tambang Di KPL Pit 3 Barat IUP Tambang Banko Barat PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan

(Study of the Use of Quicklime in the Mine Acid Water Neutral Process at Pit KPL 3 West Banko West Mining IUP PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim South Sumatra)

Ester Indah Sari¹, E.P.S.B Taman Tono¹, Guskarnali¹
¹Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

Abstract

The process of acid mine drainage in settling pond Pit 3 Barat Banko Barat PT Bukit Asam Tbk uses quicklime for berries carried out in the first inlet or pond channel. The pH value after the neutralization process has fulfilled the environmental quality standard value of 6-9 but the use of quicklime is less effective because it does not match the amount of water in the settling pond Pit 3 Barat Banko Barat. This can affect the economic use of quicklime in the Settling Pond. Therefore, testing and recalculation are needed in order to know the amount of quicklime to neutralize acid mine drainage and the cost of using lime needed based on the volume of water in the settling pond. The actual data in the field for the use of quicklime is 0.4 gr / l to be able to centralize acid mine drainage in accordance with environmental quality standards. This research method is testing 13 samples of acid mine neutralizing water in the laboratory with the addition of quicklime in order to calculate the amount of quicklime and the cost of using quicklime which is needed to neutralize acid mine drainage. Test results in the laboratory obtained a dose of quicklime of 0.2 gr / l to be able to neutralize the water to fit Environmental Quality Standards with an initial pH value of 3.43 to 7.11 after adding quicklime. The volume of water used is the settling pond volume which is 3,600,000 l. The amount of quicklime needed after testing in the laboratory is 18 sacks, while the actual amount of quicklime used in the field is 36 sacks. The actual cost required in using lime based on data in the field is Rp 1,224,000.00 and the cost of using quicklime based on laboratory testing data is Rp 612,000.00

Keyword : acid mine drainage, quicklime, settling pond

1. Pendahuluan

Air asam tambang terbentuk sebagai hasil proses oksidasi dari mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan, yang bereaksi dengan oksigen di udara pada lingkungan berair (Sayoga, 2012). Air asam tambang tersebut harus diolah agar tidak berdampak buruk bagi masyarakat sekitar baik secara langsung maupun tidak langsung (Anshariah, 2015).

Permasalahan yang ada di KPL Pit 3 Barat yaitu pemberian kapur tohor hanya berdasarkan perkiraan, sesuai dengan kondisi pH air sebelumnya. Jika nilai pH di bawah standar baku mutu, maka dilakukan pengapuran berdasarkan perkiraan. Hal ini sangat berpengaruh pada keekonomisan penggunaan kapur yang dipakai untuk proses penetralan air asam tambang.

Untuk menetralkan air asam tambang, maka dibutuhkan kapur tohor dengan jumlah yang tepat untuk menetralkan pH air asam tambang tersebut agar sesuai standar baku mutu lingkungan. Untuk penetralan air asam tambang dilakukan pengapuran di KPL untuk menaikkan nilai pH secara berkala hingga sesuai dengan baku mutu lingkungan. Penanganan air asam tambang dengan cara pemberian kapur tohor secara langsung ke badan air cukup efektif dalam menaikkan pH, tetapi penambahan kapur tohor harus dikontrol dan dilakukan secara kontinu dalam jumlah yang tepat.

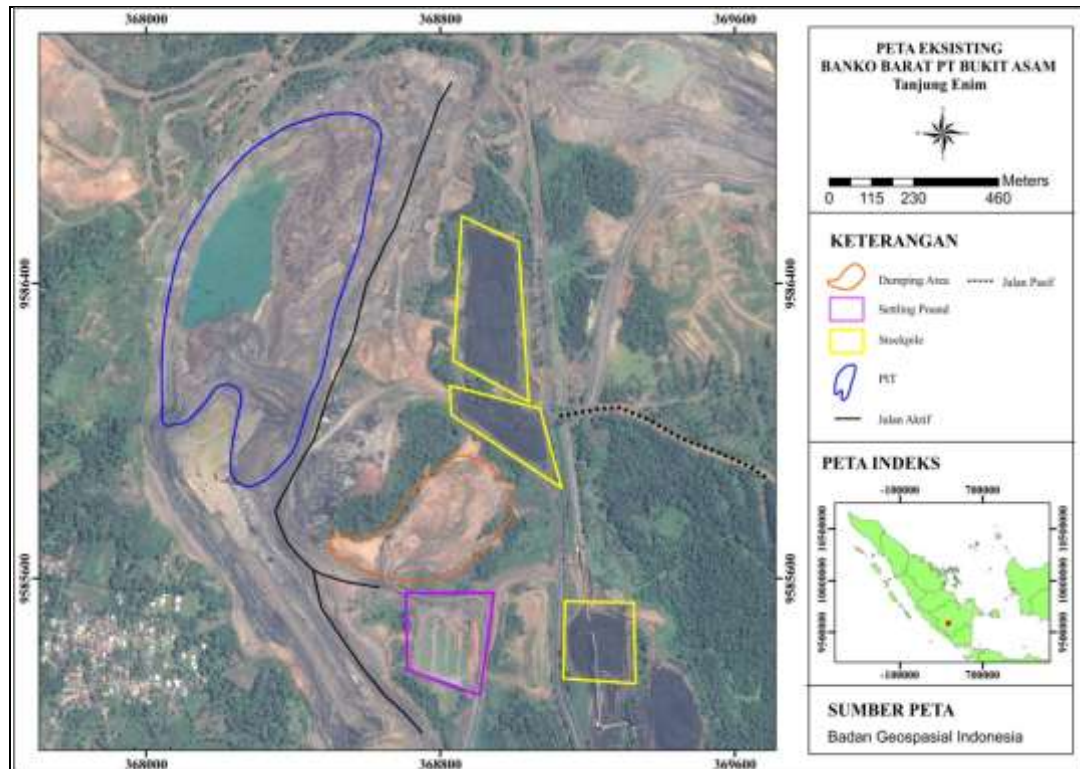
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui aktualisasi penggunaan kapur tohor dalam proses penetralan air asam tambang di KPL Pit 3 Barat IUP Tambang Banko Barat PT BA, menganalisis kualitas air asam tambang di KPL Pit 3 Barat Banko Barat setelah dilakukan pengujian di laboratorium dengan penambahan kapur tohor dan menghitung perbandingan penggunaan kapur tohor dan biaya kebutuhan kapur tohor aktual dan setelah perhitungan ulang untuk menetralkan air asam tambang di KPL Pit 3 Barat IUP Tambang Banko Barat PT BA.

*Korespondensi Penulis: (Ester Indah Sari) Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung. Kawasan Kampus Terpadu UBB, Merawang, Bangka.
Email : esterindahsari06@gmail.com

Lokasi Penelitian

PT Bukit Asam Tbk berlokasi di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim dan sebagian terdapat di Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. PT Bukit Asam Tbk terletak pada posisi 103°13'00" BT –

103° 36'10" BT dan 3° 49' 30" LS – 4° 11' 30" LS. Tempat penelitian berlokasi di Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit 3 Barat Banko Barat Satuan Kerja Pengelolaan Lingkungan PT Bukit Asam Tbk. Peta lokasi pengambilan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta eksisting Banko Barat Bukit Asam Tanjung Enim

Tinjauan Pustaka

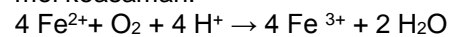
Menurut Hidayat (2017), Air asam tambang (AAT) atau disebut juga dengan *Acid Mine Drainage* adalah air yang bersifat asam (tingkat keasaman yang tinggi) dan ditandai dengan pH rendah yaitu dibawah 6, karena sesuai dengan baku mutu air pH normal adalah 6-9. Terbentuknya air asam tambang ditandai oleh satu atau lebih karakteristik kualitas air sebagai berikut (Fardiaz, 1992) :

1. Nilai pH yang rendah (1,5–4).
2. Nilai *acidity* yang tinggi (50–1500 mg/l).
3. Nilai sulfat yang tinggi (500–10.000 mg/l).
4. Konsentrasi oksigen terlarut yang rendah.
5. Konsentrasi logam terlarut yang tinggi, seperti logam besi, aluminium, mangan, cadmium, tembaga, timbal, seng, arsenik dan *mercury*.

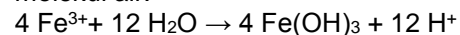
Menurut Stumm & Morgan (1996) reaksi pembentukan air asam tambang dapat dirinci menjadi empat tahap reaksi :

1. Reaksi pertama adalah reaksi pelapukan dari *pyrite* disertai proses oksidasi.
$$2 \text{FeS}_2 + 7 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + 4 \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$$

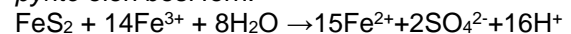
2. Reaksi kedua terjadi konversi dari besi ferro menjadi besi ferri yang mengkonsumsi satu mol keasaman.



3. Reaksi ketiga adalah hidrolisa dari besi. Hidrolisa adalah reaksi yang memisahkan molekul air.



4. Reaksi keempat adalah oksidasi lanjutan dari *pyrite* oleh besi ferri.



Sumber-Sumber Air Asam Tambang dan Kandungannya

Menurut Hidayat (2017) sumber-sumber air asam tambang antara lain berasal dari kegiatan-kegiatan berikut :

- a. Tambang terbuka
- b. Air dari unit pengolahan batuan buangan
- c. Air dan lokasi penimbunan batuan
- d. Air dari pengolahan limbah tailing.

Tipe Air Tambang

Tipe air tambang merupakan hasil dari reaksi kimia yang menghasilkan berbagai macam

senyawa kimia yang mengalami degradasi secara alami dan mengakibatkan ditemukannya berbagai macam tipe atau bentuk senyawa air tambang tersebut (Said, 2014).

Menurut Skousen dan Ziemkiewicz (1996) air tambang dapat dikelompokkan ke dalam 5 tipe yaitu:

- a) Air Tambang Tipe 1 ($\text{pH} < 4,5$) dan mengandung .Air tambang tipe ini disebut air asam tambang (*acid mine drainage*).
- b) Air Tambang Tipe 2 ($\text{pH} > 6$). Pada kondisi teroksidasi, pH air tipe ini dapat turun secara tajam, sehingga berubah menjadi air tipe 1.
- c) Air Tambang Tipe 3 ($\text{pH} > 6$ dan alkalinitas lebih besar dari keasaman *acidity*). Umumnya disebut juga dengan air tambang alkali.
- d) Air Tambang Tipe 4 Adalah air asam tambang tipe 1 yang dinetralkan hingga pH -nya > 6 dan mengandung partikel tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi.
- e) Air Tambang Tipe 5 Adalah air asam tambang yang telah dinetralkan sehingga pH -nya > 6 dan mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi yang tinggi.

Proses Penetralkan Air Asam Tambang Pada Kolam Pengendapan Lumpur (KPL)

Kolam pengendap lumpur berfungsi sebagai tempat mengendapkan lumpur. Disamping tempat pengendapan, kandungan material, tingkat keasaman material lain yang dapat membahayakan lingkungan juga akan dialirkan keluar kolam (Jeffrey, 2000). Dalam menentukan kualitas air, digunakan beberapa parameter fisika dan kimia. Parameter fisika yang biasa digunakan dalam penentuan kualitas air adalah cahaya, suhu, kejernihan dan kekeruhan, warna konduktivitas dan padatan, sedangkan parameter kimia yang digunakan adalah pH , asiditas, kesadahan, alkalinitas, potensi reduksi oksidasi dan oksigen terlarut.

Kapur Tohor

Menurut Haynes (2011) Kalsium Oksida (CaO) secara umum dikenal sebagai kapur bakar, merupakan senyawa kimia yang digunakan secara luas berupa kristal basa, kaustik dan zat padat putih pada suhu kamar.

Netralisasi

Ada beberapa jenis bahan kimia utama yang banyak digunakan untuk mengolah air asam tambang . Tiap-tiap bahan memiliki karakteristik kimia yang membuatnya lebih atau kurang sesuai untuk kondisi tertentu, bergantung pada faktor-faktor teknis dan ekonomi. Faktor-faktor teknis meliputi tingkat keasaman, laju aliran, jenis dan konsentrasi logam yang ada di dalam air, laju dan tingkat pengolahan kimia yang diperlukan dan kualitas air yang dikehendaki (Said, 2014).

Faktor-faktor ekonomi meliputi harga bahan kimia, tenaga kerja, mesin dan peralatan, jangka waktu pengolahan yang diperlukan, pemindahan dan pembuangan lumpur dan faktor risiko (Nurisman, 2012). pH yang dibutuhkan untuk mengendapkan sebagian besar logam dari air berkisar antara pH 6-9. Namun, feri hidroksida mengendap pada sekitar pH 3,5 dan aluminium hidroksida mengendap pada pH 4,5. Besi fero (Fe^{2+}) mengendap pada $\text{pH} > 8,5$. Dengan adanya oksigen, besi fero akan teroksidasi menjadi besi feri (Fe^{3+}), dan feri hidroksida membentuk padatan berwarna oranye kekuningan (biasanya disebut *yellow boy*), yang mengendap pada $\text{pH} > 3,5$.

Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) adalah jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada dalam air limbah setelah mengalami penyaringan dengan membran berukuran 0.45 mikron. *Suspended solid* (material tersuspensi) dapat dibagi menjadi zat padat dan koloid. TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimum 2 *micrometer* atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Adapun yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. Pada umumnya TSS dihilangkan dengan cara pengadukan (flokulasi) dan penyaringan. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan.

Fardiaz (1992) menjelaskan kandungan TSS memiliki hubungan yang erat dengan kecerahan perairan. Keberadaan padatan tersuspensi tersebut akan menghalangi penetrasi cahaya yang masuk ke perairan sehingga hubungan antara TSS dan kecerahan akan menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah perhitungan dan analisis data hasil pengujian di laboratorium pada proses pemetralkan air asam tambang menggunakan kapur tohor serta pengumpulan data terdiri dari data nilai pH awal air asam tambang, nilai pH setelah pengujian di laboratorium, nilai TSS sebelum dan sesudah pengujian di laboratorium, data spesifikasi pompa Sulzer 385 Kw, data curah hujan bulan february 2018 dan data volume air yang masuk ke KPL berdasarkan volume KPL. Berdasarkan hasil pengujian ulang di laboratorium, proses penetralkan air asam tambang dapat dilakukan dengan perbaikan secara teknis maupun perbaikan secara manajemen kerja dan alat.

3. Hasil dan Pembahasan

Air yang terdapat pada KPL Pit 3 Barat berasal dari *sump* timbunan Pit 3 Barat Banko Barat. Air tersebut dialirkan menggunakan pompa jenis Sulzer 385 kW menuju ke KPL dengan dimensi KPL sebesar 60 m x 20 m x 3m, sehingga untuk melakukan perhitungan kebutuhan kapur tohor secara teoritis dapat digunakan volume pada KPL tersebut.



Gambar 2 Sumber air dari area Pit 3 Barat Banko Barat

Kolam pengendapan lumpur berfungsi sebagai tempat mengendapkan lumpur atau material padatan yang bercampur dari limpasan yang disebabkan aktivitas penambangan maupun karena erosi. Di samping sebagai tempat pengendapan, air di kolam pengendapan juga akan dialirkan keluar kolam, baik itu kandungan materialnya, tingkat keasaman, maupun kandungan material lain yang dapat membahayakan lingkungan.

Aktualisasi Penggunaan Kapur Tohor di KPL Pit 3 Barat Banko Barat

Pengelolaan air asam tambang pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat menggunakan kolam pengapuran dan metode yang digunakan yaitu metode aktif dengan cara mencampurkan bahan kimia berupa kapur tohor untuk menetralkan air asam tambang pada KPL. Sebelumnya terlebih dahulu kadar pH air diukur di kolam ke empat atau kolam *outlet* menggunakan kertas lakmus. Jika ditemukan kadar pH tidak sesuai Baku Mutu Lingkungan yaitu 6 - 9 maka akan dilakukan pemberian kapur untuk memastikan air sebelum mengalir ke lingkungan telah sesuai baku mutu yang ditentukan.

Tujuan dilakukan penetralan air asam tambang, yaitu jika air dibuang ke sungai tidak berdampak terhadap lingkungan dan biota perairan lainnya. KPL Pit 3 Barat memiliki 4 kompartemen berbentuk seperti zig-zag yang

dibatasi oleh tanggul seperti yang terlihat pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Kolam Pengendapan Lumpur (KPL) Pit 3 Barat Banko Barat

Berdasarkan pengamatan di lapangan, pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat kapur tohor diberikan pada saluran kolam pertama, selanjutnya air pada kolam pertama dialirkan ke kolam kedua melalui saluran terbuka yang dibuat zig – zag antara kolam yang satu dengan saluran ke kolam yang lain, selanjutnya dari kolam kedua air dialirkan ke kolam ketiga. Proses pengapuran pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini:



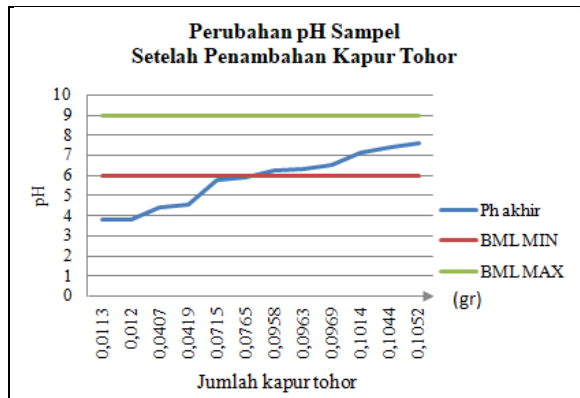
Gambar 4. Proses Pengapuran di KPL Pit 3 Barat Banko Barat

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, total jumlah kapur yang digunakan untuk menetralkan air asam tambang agar sesuai dengan baku mutu lingkungan adalah sebanyak 36 karung/hari. Setelah itu hasil penetralan dicatat pada papan di titik penataan yang terletak setelah kolam ke empat sebelum aliran sungai Kiahuan.

Secara aktual penggunaan kapur tohor dalam proses pengapuran tidak menggunakan perhitungan yang tepat, hanya berdasarkan perkiraan.

Hasil Pengujian Kualitas Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor

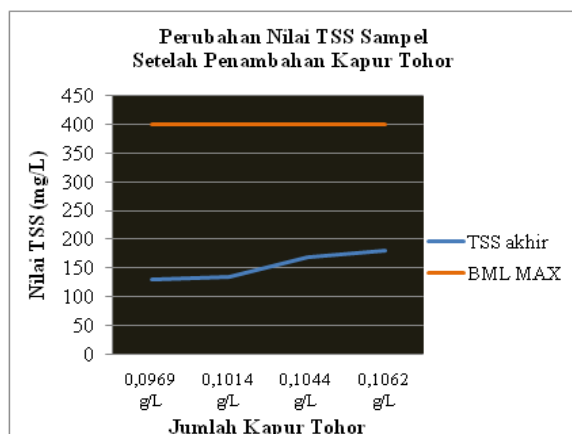
Berdasarkan hasil pengujian pada 12 sampel air asam tambang diperoleh data perubahan nilai pH terhadap dosis kapur tohor yang digunakan dengan pH awal 3,43 hingga mencapai nilai pH air yang sesuai dengan baku mutu lingkungan. Hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Hasil uji laboratorium penambahan kapur tohor

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang terdapat pada gambar 5 diperoleh penambahan jumlah kapur tohor sebanyak 0,1014 gr per 500 ml dengan nilai pH akhir dari 3,43 yaitu menjadi 7,11.

Selain melakukan pengujian terhadap penggunaan kapur tohor di laboratorium, dilakukan juga pengujian terhadap nilai TSS. Nilai TSS sebelum dilakukan penetralan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium adalah 40 mg/l dimana nilai tersebut masih berada pada batas baku mutu lingkungan yaitu 400 mg/L. Setelah dilakukan uji coba di laboratorium untuk memperoleh nilai pH air yang netral, menunjukkan adanya perubahan nilai TSS yang dapat dilihat pada gambar Grafik 6 :



Gambar 6. Hasil uji laboratorium perubahan TSS

Pada gambar di atas, perubahan nilai TSS setelah dilakukan uji laboratorium untuk memperoleh nilai pH air yang netral sebesar 130 mg/l, 134 mg/l, 168 mg/l dan 180 mg/l. Nilai tersebut masih berada di batas aman baku mutu lingkungan untuk nilai TSS, sehingga masih dalam keadaan baik untuk perairan umum maupun di KPL Pit 3 Barat Banko Barat.

Perbandingan Jumlah Penggunaan Kapur Tohor di KPL Pit 3 Barat Banko Barat dengan Pengujian Ulang di Laboratorium

Berikut perhitungan perbandingan jumlah penggunaan kapur tohor dengan pengujian ulang di laboratorium:

1. Perhitungan Perbandingan Jumlah Penggunaan Kapur Tohor

Melalui hasil perhitungan, perbandingan jumlah penggunaan kapur tohor untuk menetralkan air asam tambang pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat dengan pengujian ulang di laboratorium dapat menghemat penggunaan kapur tohor sebesar 50 % dari jumlah kapur tohor yang digunakan di KPL Pit 3 Barat Banko Barat.

Perhitungan kebutuhan penggunaan kapur tohor juga dapat dihitung menggunakan konsentrasi air asam tambang (H_2SO_4) dan kapur tohor (CaO) berdasarkan reaksi pelarutan kapur tohor dengan air. Berdasarkan perhitungan tersebut, jumlah kapur tohor yang dibutuhkan untuk menetralkan air asam tambang dengan volume sebesar 3.600.000 liter adalah sebanyak 720 kg. Konsentrasi air asam tambang yang dihasilkan berdasarkan reaksi penetralan adalah sebesar 1337,5268 mol dengan jumlah kebutuhan kapur tohor sebesar 96,3 kg dan jumlah kapur tohor yang terendapkan menjadi TSS adalah sebesar 604,8 kg. Jumlah kapur tohor yang digunakan untuk menetralkan air asam tambang adalah sebesar 115,2 kg, didapatkan dari hasil pengurangan jumlah total kapur yang dibutuhkan dengan jumlah kapur yang terendapkan menjadi TSS.

2. Perhitungan Biaya Penggunaan Kapur Tohor

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan perhitungan ulang, dosis kapur tohor yang efektif untuk penetralan air asam tambang yaitu 0,2 gr/l. Untuk perhitungan biaya pemakaian kapur tohor, harga satu kilogramnya kurang lebih Rp.850,00/kg, dalam penggunaan satu karung kapur adalah 40 kg, maka hasil perhitungan menyatakan biaya kebutuhan kapur pada saluran inlet pada volume air sebesar 3.600.000 liter dan kadar kapur tohor 0,4 gr/l adalah Rp.1.224.000,00, sedangkan biaya kebutuhan kapur dengan kadar 0,2 gr/l yaitu kadar kapur setelah dilakukan uji lab ulang dengan volume air

yang sama adalah Rp.612.000,00. Perbandingan biaya penggunaan kapur tohor yang dibutuhkan

dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Perbandingan biaya penggunaan kapur tohor aktual dan setelah perhitungan ulang

Perbandingan	Aktual	Perhitungan Ulang
Dosis kapur per liter air	0,4 gr/l	0,2 gr/l
Kebutuhan kapur (Volume = 3.600.000 l)	1.440 kg/hari	720 kg/hari
Harga (Rp. 850/kg)	Rp.1.224.000,00	Rp.612.000,00

Berdasarkan Tabel 1 di atas, hasil perbandingan biaya penggunaan kapur tohor setelah dilakukan uji lab dan perhitungan ulang serta jumlah penggunaan kapur tohor, menghemat biaya dari Rp.1.224.000,00/ hari menjadi Rp.612.000,00/hari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses penetralan air asam tambang yang dilakukan pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat menggunakan metode aktif yaitu dengan cara penambahan kapur tohor. Proses penambahan kapur tohor dilakukan secara manual langsung pada kolam pengendap lumpur.
2. Dari hasil pengujian terhadap 500 ml air asam tambang dengan pH awal 3,43 setelah diberi kapur tohor (CaO) dengan dosis sebanyak 0,1014 gr/500 ml (0,2 gr/L) didapatkan hasil nilai pH air asam tambang tersebut sebesar 7,11 dan nilai TSS sebesar 134 dan masih memenuhi standar baku mutu lingkungan.
3. Penggunaan kapur tohor setelah pengujian ulang di laboratorium menghemat penggunaan kapur tohor sebesar 50 % dibandingkan dengan penggunaan kapur tohor di KPL Pit 3 Barat Banko Barat dengan selisih biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 612.000,00.

Daftar Pustaka

Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan*. Edisi 1. Yogyakarta. Andi Offset. hlm. 15-16.

Anshariah., Widodo, Sri., Nuhung, Robby. 2015. *Studi Pengelolaan Air Asam Tambang PT Rimau Energy Mining Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan*, Jurnal Geomine.

Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Penerbit Konisius. Helfinalis.

2005. *Kandungan Total Suspended Solid dan Sedimen Dasar di Perairan Panimbang, Mokara*. Sains Vol (9) No. 2.

Haynes, William M. (2011). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (92nd ed.). CRC Press. p. 4.55.

Hidayat, Luthfi. 2017. *Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mine Drainage) di PT Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan)*. Jurnal ADHUM Vol VII No. 1 Januari 2017.

Jeffrey, J. 2000. *Acid Mine Drainage Control and Treatment. Reclamation of Drastically Disturbed Lands : American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation*.

Nurisman, E., Cahyadi, R., Hadriansyah. 2012. *Studi Terhadap Dosis Penggunaan Kapur Tohor Pada Proses Pengolahan Air Asam Tambang Pada Kolam Pengendap Lumpur Tambang Air Laya PT Bukit Asam (Persero)*, *tbk*. Jurnal Teknik Patra Akademika. Politeknik Akamigas Palembang.

Said, Nusa Idaman. 2014. *Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara "Alternatif Pemilihan Teknologi"*. JAI Vol VII No. 2, 2014. Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT.

Sayoga, R. 2012. *Pengelolaan Air Asam Tambang*, Jurnal Indonesian Network for Acid Drainage. Hal 3.

Skousen, J.G., dan P.F.Ziemkiewicz. 1996. *Acid and Mine Drainage Control and Treatment*. 2nd Edition National Research Center for Coal and Energy, West Virginia University, Morgantown, WV. 356 pp.

Stumm, W., and J.J. Morgan. 1996. *Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. 3rd Ed. John Wiley and Sons. New York.