

**PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR, AIR BELERANG DAN SEMEN  
TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KONSENTRASI ION LOGAM PADA  
AIR ASAM TAMBANG**

**THE EFFECT OF LIME, SULFUR WATER AND CEMENT ADDITION ON  
THE CHARACTERISTICS AND CONCENTRATION OF METAL IONS IN  
ACID MINE WATER**

**NURUL AFRILIA<sup>1</sup>, SRI SENO HANDAYANI<sup>2</sup>, MURNIATI<sup>3</sup>**

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas  
Mataram, Indonesia

Jl. Majapahit No. 62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat,  
Indonesia 83126

Email : [nurulafrilia26@gmail.com](mailto:nurulafrilia26@gmail.com)

**Abstrak.** Air asam tambang (AAT) merupakan jenis limbah pencemar yang berdampak buruk bagi lingkungan. AAT memiliki nilai pH yang sangat rendah (<3) dan kandungan ion logam yang tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penanganan untuk mengendapkan kandungan ion logam serta menaikkan pH. Bahan yang digunakan adalah kapur yang diperoleh dari Desa Mangkung, air belerang alami yang diperoleh dari Desa Sebau, dan semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian kapur, air belerang, dan semen terhadap karakteristik AAT dan konsentrasi ion logam ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ). Penelitian ini dilakukan percobaan dengan ditambahkan kapur, air belerang, dan semen pada air asam tambang dengan tiga perlakuan, kemudian dilakukan pengukuran karakteristik AAT berupa parameter pH, konduktivitas, TDS, kemudian dilakukan pengujian kandungan konsentrasi ion logam menggunakan AAS dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan penambahan kapur dapat menaikkan hingga rata-rata nilai  $\text{pH} \geq 5$ , dan terjadi penurunan kadar ion logam  $\text{Fe}^{2+}$  hingga 99,5%,  $\text{Cu}^{2+}$  hingga 97,98%, dan  $\text{Mn}^{2+}$  hingga 49,37%. Setelah penambahan Air belerang alami, terjadi kenaikan  $\text{pH} \geq 11$ , dan hasil pengendapan tertingi dapat secara sempurna mengendapkan ion logam  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , dan  $\text{Cu}^{2+}$  tertinggi 99%. Setelah penambahan semen, nilai  $\text{pH} \geq 11$ , dan ion logam  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  tertinggi 99,98%.

**Kata Kunci :** Air Asam Tambang, Kapur, Air Belerang, Semen

**Abstract.** Acid mine drainage (AMD) is a type of polluting waste that has a negative impact on the environment. Mine acid water has a low pH (<3) value and a high content of metal ions. Therefore, it is necessary to take measures to reduce the dissolved metal ion content and increase the pH. The materials used for processing are lime obtained from Mangkung Village, natural sulfur water obtained from Sebau Village, and cement. The purpose of this study was to determine the effect of lime, sulfur water, and cement on the characteristics and concentration of metal ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ). Acid mine

drainage is added with lime, sulfur water, and cement with three treatments, then the parameters of pH, conductivity, TDS are measured, then the metal ion concentration content is tested using AAS and SEM. The results showed that the addition of lime increased the average pH value  $\geq 5$ , and decreased levels of dissolved metal ions,  $\text{Fe}^{2+}$  up to 99.5%,  $\text{Cu}^{2+}$  up to 97.98%, and  $\text{Mn}^{2+}$  up to 49.37%. After adding natural sulfur water, there was an increase in pH  $\geq 11$ , and the highest precipitation results could completely precipitate dissolved metal ions  $\text{Fe}^{2+}$ , and  $\text{Mn}^{2+}$ , and  $\text{Cu}^{2+}$  99%. After the addition of cement, the pH value  $\geq 11$ , and dissolved  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  metal ion precipitation was 99.98%.

*Keywords* : Acid Mine Water, Limestone, Sulfur Water, Cement

## PENDAHULUAN

Pertambangan Batu Hijau merupakan tambang terbuka yang berada di Sumbawa Barat, di bawah PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) yang mengoperasikan 25.000 ha wilayah pertambangan tembaga dan emas. Kegiatan pertambangan ini dapat menimbulkan dampak negatif, salah satunya adalah air asam tambang. Air asam tambang terbentuk ketika mineral pirit atau besi sulfida yang ada pada batuan terpapar dengan air dan oksigen yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi sehingga menghasilkan air dalam kondisi asam (Widuri, 2003). Tingkat pH yang rendah pada Air Asam Tambang (AAT) dapat memobilisasi logam-logam, seperti Al, Fe, dan Mn, dan logam-logam berat lain seperti Cu, Fe, Hg, Ni, Pb dan Zn serta yang terbebas dari mineral-mineral sulfida (Munawar, 2017).

Keberadaan ion-ion logam dengan konsentrasi yang tinggi pada AAT, dapat memberikan dampak yang negatif. Konsentrasi ion logam yang tinggi dapat mengakibatkan korosi pada peralatan tambang dan dapat berpengaruh terhadap kandungan air sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah. Timbulnya dampak pencemaran lingkungan sekitar, mengakibatkan perlu dilakukan pengolahan terhadap AAT. Oleh karena itu, diperlukan upaya remediasi untuk mengurangi tingkat kerusakan lingkungan akibat AAT (Munawar, 2017).

Telah dilakukan beberapa penelitian untuk menangani permasalahan AAT. Penelitian yang dilakukan oleh Hadi, dkk (2018) mengkaji pengolahan air asam tambang menggunakan Air Belerang Alami (ABA) untuk mengendapkan logam  $\text{Cu}^{2+}$ .

Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan ABA tanpa perlakuan netralisasi pada pH 4 dapat mengendapkan  $\text{Cu}^{2+}$  dengan konsentrasi yang tinggi. Diperkirakan bahwa pH yang paling optimal dalam mengendapkan  $\text{Cu}^{2+}$  hanya pada pH 5. Penambahan ABA ini hanya dapat mengendapkan ion-ion logam, akan tetapi belum efektif dalam meningkatkan pH AAT.

Penelitian yang dilakukan Iakovleva, dkk (2018), menggunakan batu kapur sebagai adsorben potensial dalam pengolahan AAT. Batu kapur dapat mengikat sejumlah besar Cu (II), Fe (III), dan Zn (II) dari AAT. Akan tetapi, Gobel, dkk (2018) dalam penelitiannya menjelaskan pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben dalam menetralkan AAT dinilai lebih efektif dibandingkan pemberian kapur. Pemberian kapur hanya dapat meningkatkan pH rendah menjadi pH netral, namun tidak dapat menurunkan kandungan logam Fe dan Mn. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan *fly ash* mampu meningkatkan kadar pH rata-rata sebesar 63,11% serta efektif merubah konsentrasi logam Fe rata-rata sebesar 85,95%, dan logam Mn rata-rata sebesar 81,77%.

Penggunaan *fly ash* dapat diganti dengan menggunakan semen, hal ini dikarenakan semen lebih mudah didapatkan serta memiliki kemiripan sifat fisik dan kimia dengan *fly ash*. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya. Secara kimia, semen dan *fly ash* dinilai mirip dikarenakan semen memiliki kandungan senyawa mineral yang sama dengan *fly ash*, berupa silika, alumina, dan Kalsium (CaO) (Setiawati, 2018). Selain itu, Semen juga memiliki kemampuan hidrasi. Pada proses ini, semen dapat berubah dari padatan halus menjadi keras dan kuat, untuk mencegah ion-ion logam kembali lepas dalam AAT (Putra, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini menggabungkan kapur, ABA, dan semen untuk dapat meningkatkan pH dan menurunkan kandungan ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{+}$  pada AAT.

## **MATERI DAN METODE**

### **Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Lanjut dan Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.

### **Prosedur Kerja**

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan pertama yaitu pengambilan dan karakterisasi sampel AAT, ABA, dan Semen. Sampel air asam tambang yang digunakan pada penelitian ini yaitu air asam tambang yang bersumber dari pertambangan Batu Hijau, PT Amman Mineral Nusa Tenggara,. Pengambilan sampel ini dilakukan oleh teknisi dari pertambangan Batu Hijau sendiri dengan berdasarkan pada SNI. 6989.57-2008. Sampel ABA yang digunakan pada penelitian ini merupakan air belerang yang bersumber dari mata air Desa Sebau, Kecamatan Suela, Kabupaten Lombok Timur. Kapur yang diambil di Desa Mangkung, Praya Barat, Lombok Tengah, merupakan kapur tohor (CaO) hasil dari pembakaran batu kapur (CaCO<sub>3</sub>). Pengolahan batu kapur dilakukan dengan melakukan pembakaran dengan suhu  $\pm 900-1500$  °C selama  $\pm 9$  jam. Kapur hasil dari pembakaran kemudian disiram dengan air saat kondisi hangat hingga berbentuk serbuk. Semen yang digunakan merupakan semen Portland tipe I merek Tiga Roda. Semen di ayak menggunakan ayakan 250 mesh, selanjutnya semen di uji karakterisasi dengan menggunakan XRF untuk mengetahui unsur yang terkandung

Tahapan selanjutnya yaitu studi pendahuluan terlebih dahulu dengan pembuatan larutan logam sebagai pengganti AAT. Pembuatan larutan logam sebagai pengganti AAT dibuat dengan melarutkan padatan logam MnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, AgNO<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O ke dalam 1 L Aquades. Larutan ion yang telah dibuat, ditambahkan kapur, air belerang, dan semen dengan 3 perlakuan dengan konsentrasi yang berbeda, kemudian dilakukan uji penentuan pH dan konsentrasi ion logam dengan menggunakan AAS.

Tahapan selanjutnya adalah penambahan kapur, ABA, dan semen dalam AAT dengan 3 perlakuan dengan konsentrasi yang berbeda, Disiapkan gelas kimia 1000 mL sebanyak 3 buah. Masing-masing gelas kemudian ditambahkan air asam tambang sebanyak 500 mL kemudian di beri 3 perlakuan berbeda. Setiap penambahan bahan secara bertahap akan didiamkan selama 24 jam dan dilakukan pengukuran parameter pH, konduktivitas, dan TDS. AAT yang telah dilakukan perlakuan dilakukan pengukuran setiap 24 Jam selama 4 hari dengan menggunakan Multimeter EC900.

Tahapan terakhir yaitu AAT yang telah diberi perlakuan penambahan kapur, ABA, dan semen dilakukan penyaringan, kemudian dipisahkan antara filtrat dan endapannya. Dilakukan analisis pada filtrat dengan menggunakan AAS mengetahui kandungan ion logam terlarut, serta dilakukan pengeringan untuk selanjutnya di analisis

menggunakan SEM untuk melihat struktur morfologi dan komposisi dari sampel setelah perlakuan. Analisis SEM dilakukan di laboratorium Universitas Islam Negeri Mataram.

### **Analisis Data**

Data yang dihasilkan dari analisis dengan menggunakan AAS akan ditampilkan dalam diagram garis, yang menunjukkan hubungan penambahan setiap bahan terhadap karakteristik dan kandungan ion logam terlarut pada AAT, kemudian dilakukan perhitungan % pengendapan. Data yang dihasilkan dari analisis endapan sampel dengan menggunakan SEM akan ditampilkan dalam tabel, dan ditampilkan dengan morfologi permukaan sampel.

## **HASIL DAN DISKUSI**

Hasil pengukuran pH studi pendahuluan pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa lama waktu kontak antara larutan logam dan ketiga bahan tersebut berpengaruh terhadap kenaikan pH. Larutan ion logam yang memiliki pH awal pada pH 3, mengalami kenaikan setelah penambahan kapur, ABA, dan semen pada waktu kontak ke-5 hingga pada pH 11. Peningkatan pH ini terjadi dikarenakan adanya interaksi kapur dan semen yang memiliki sifat alkali pada larutan ion logam, yang dapat menaikkan pH. Kenaikan pH pada larutan ion logam ini membuktikan bahwa kapur dan semen dapat menaikkan pH (Rukmana, 2017). Selain terjadinya kenaikan pH juga terjadi penurunan kadar ion logam terlarut. Penurunan kadar ion logam setelah penambahan kapur, ABA dan semen dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.1 Perubahan pH larutan ion logam

Waktu kontak (Hari)	Konsentrasi (g/L)		
	1	1,5	2
0	3,3	3,62	3,67
1	7,88	9,9	10,04
2	10,65	10,76	11,04
3	11,12	11,3	11,36
4	11,06	11,26	11,37
5	11,04	11,37	11,23

Selain terjadinya kenaikan pH juga terjadi penurunan kadar ion logam terlarut. Terjadinya kenaikan pH dan penurunan kadar ion logam terlarut ini membuktikan bahwa penggunaan campuran ketiga bahan alam berhasil dalam menaikkan pH dan mengendapkan kadar ion logam terlarut. Penurunan kadar ion logam setelah penambahan kapur, ABA dan semen dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan konsenrasi ion logam sebelum dan sesudah penambahan

Perlakuan	Konsentrasi Ion Logam (mg/L)			
	Ag <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
Sebelum penambahan	121,449	303,246	262,549	677,349
Formulasi 1	0,0655	<0,0043	<0,0045	<0,0016
Formulasi 2	0,0898	<0,0043	<0,0045	<0,0016
Formulasi 3	0,0431	<0,0043	<0,0045	<0,0016

Berdasarkan hasil pengukuran AAT Batu Hijau menunjukkan nilai pH, TDS, dan konduktivitas berturut-turut 3,24; 3,54 g/L; 2,44 ppt dan 4,65 (µs/cm). Hasil pengukuran ini secara tidak langsung menunjukkan tingkat pencemaran air AAT, yang ditandai dengan nilai pH yang rendah. Tingkat pH yang rendah dapat terjadi karena reaksi oksidasi mineral sulfida seperti pirit yang dapat menghasilkan air buangan limbah tambang yang bersifat asam, dan meningkatkan keasaman tanah, dan menyebabkan terjadinya penurunan pH (< 3), sehingga diperlukan penanganan untuk meningkatkan pH AAT. Berdasarkan nilai pH yang terukur, didapatkan bahwa ABA Sebau memiliki senyawa sulfida. Jenis sulfida yang mungkin terkandung dalam ABA Sebau berdasarkan literatur adalah H<sub>2</sub>S. Keberadaan sulfida ini memungkinkan ABA Sebau untuk digunakan dalam penelitian. Pengukuran karakteristik AAT dan ABA dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Karakteristik AAT batu hijau dan ABA Desa Sebau

Karakteristik	pH	TDS (g/L)	konduktivitas (µs/cm)	Suhu (°C)
AAT Batu Hijau	3,24	3,54	4,65	-
ABA	7,57	1,05	1472	29,5

Berdasarkan hasil pengukuran kapur menggunakan XRF, didapatkan komposisi tertinggi yang terdapat dalam batu kapur adalah Ca dengan kadar 96,251%. Dapat

diketahui bahwa kapur tohor yang diperoleh dari Desa Mangkung, memiliki kandungan Ca yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa daerah lainnya pada Tabel 2.2. Adanya kandungan Ca yang tinggi, mengindikasikan kapur tohor memiliki sifat alkalinitas, sehingga memungkinkan kapur tohor untuk dapat digunakan untuk menetralkan pH AAT (Rukmana, 2017). Hasil analisis komposisi kimia batu kapur dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Komposisi mineral kapur

Komponen	Persentase (%)
S	0,128
Ca	96,251
Mn	0,616
Fe	2,366
Ni	0,166
Cu	633
Zn	624
Sr	0,347

Semen portland merupakan produk kompleks yang terbuat dari bahan yang sangat sederhana dan melimpah, yaitu batu kapur dan tanah liat (serpihan) (Aitcin, 2016). Hasil analisis komposisi kimia semen Portland menggunakan XRF dapat dilihat pada Tabel 4.5

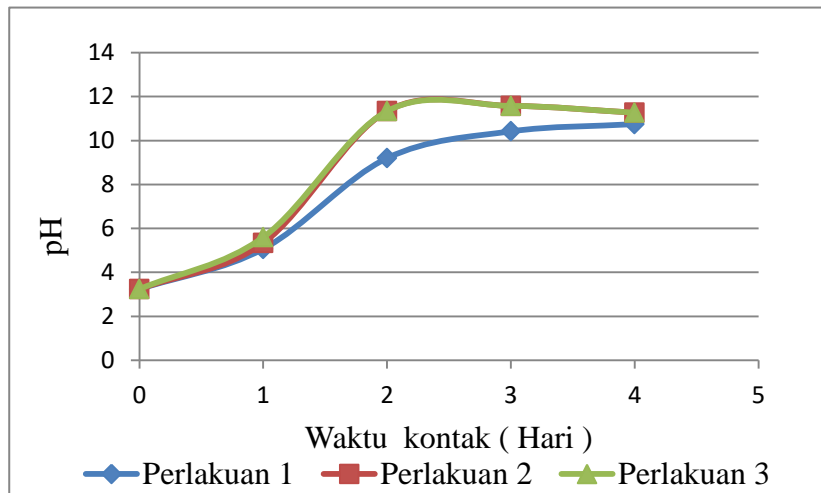
Tabel 4.5 Komposisi mineral semen portland

Komponen	Persentase (%)
Si	10,37
P	2,525
S	1,527
Ca	75,37
Ti	0,935
Mn	0,298
Fe	7,47
Ni	0,147
Cu	836
Zn	0,111
Sr	1,114
Ba	534

Berdasarkan hasil analisa XRF, kandungan mineral yang mendominasi pada semen ialah (Ca) dengan persentase sebesar 75,37 % dan kandungan silika dengan

persentasi 10,37%. Adanya kandungan Ca yang tinggi, serta mineral silika pada semen membuktikan bahwa semen dapat digunakan untuk menyerap ion-ion logam dan dapat meningkatkan pH AAT.

Pemberian kapur, air belerang, dan semen, yang di berikan secara bertahap mempengaruhi karakteristik AAT. Kenaikan pH terhadap tiga perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.1



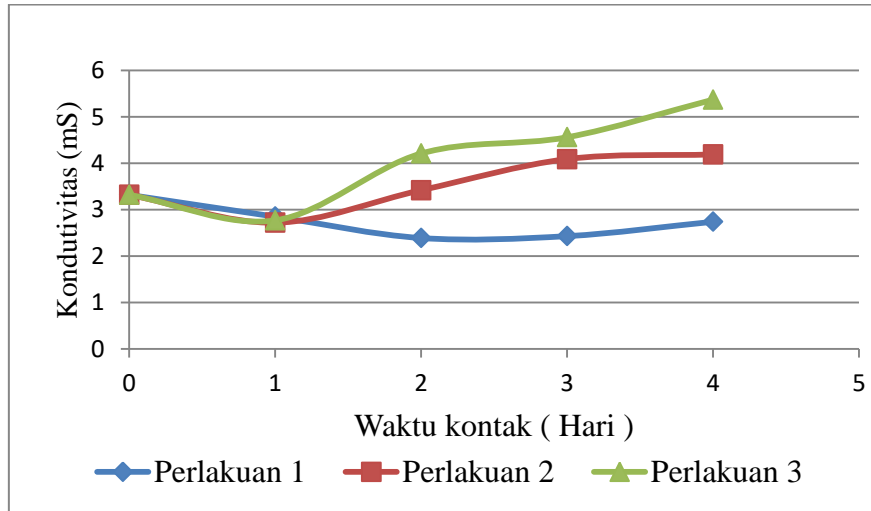
Gambar 4.1 Pola garis kenaikan pH terhadap waktu kontak pada ketiga perlakuan

Terlihat pada ketiga perlakuan mengalami kenaikan pH. Terlihat terjadi pola kenaikan pH yang sama pada ketiga kombinasi. Air asam tambang yang mula-mula memiliki pH 3,24, ketika ditambahkan kapur pada ketiga kombinasi perlakuan, ketiganya mengalami kenaikan pH yang signifikan, dengan pH rata-rata 5. Setelah penambahan ABA, ketiga kombinasi juga mengalami kenaikan pH yang signifikan, dengan nilai kenaikan  $\text{pH} \geq 11$ . Setelah penambahan semen, grafik mulai menunjukkan kenaikan nilai pH secara perlahan, diikuti hal yang sama pada hari berikutnya.

Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi peningkatan konduktivitas selama waktu kontak. Pada waktu ke-0, yaitu nilai konduktivitas awal sebelum perlakuan, sampai waktu ke-2, nilai konduktivitas mengalami penurunan, yaitu dengan nilai berturut-turut 3,32 mS, 2,85 mS, dan 2,39 mS. Pada waktu ke-3 nilai konduktivitas mengalami kenaikan menjadi 2,43 mS dan pada waktu ke-4 naik menjadi 2,74 mS. Peningkatan konduktivitas ini disebabkan adanya penambahan kapur dan semen yang

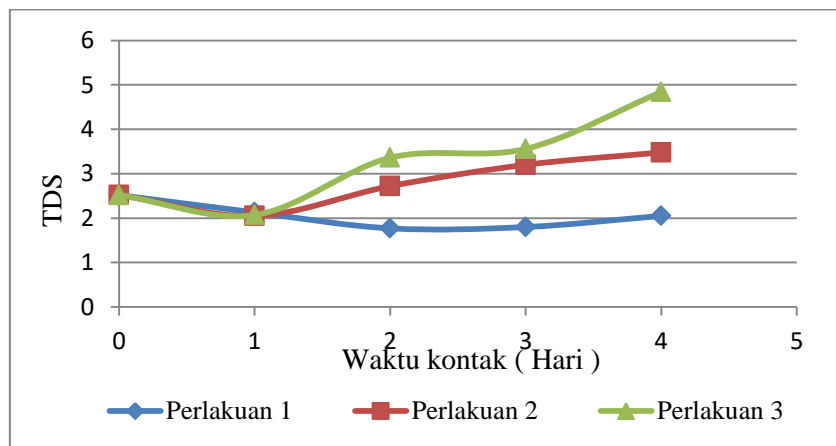


mengakibatkan penambahan ion terlarut pada AAT. Gambar di bawah ini menunjukkan perubahan nilai konduktivitas.



Gambar 4.2 Pola konduktivitas terhadap waktu kontak pada ketiga perlakuan

Hasil penelitian dengan pemberian secara bertahap kapur, air belerang, dan semen menyebabkan terjadinya perubahan nilai TDS pada AAT. Terjadi pola penurunan nilai TDS pada hari pertama dan kedua. Nilai TDS Pada waktu ke-0, yaitu nilai TDS awal sebelum perlakuan, sampai waktu ke-2, nilai TDS mengalami penurunan, yaitu dengan nilai berturut-turut 2,52 g/L, 2,13 g/L, dan 1,77 g/L, pada waktu ke-3 nilai TDS mengalami kenaikan menjadi 1,8 g/L dan pada waktu ke-4 naik menjadi 2,05 g/L. Pola dari TDS ini dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pola TDS terhadap waktu kontak pada ketiga perlakuan

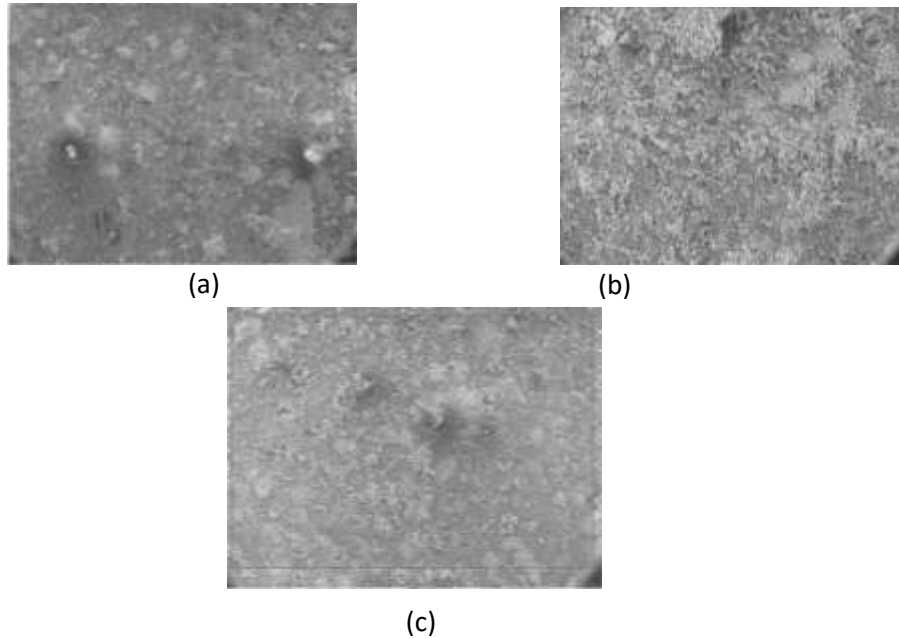
Berdasarkan hasil analisis menggunakan AAS, didapatkan terjadinya penurunan konsentrasi ion logam-logam terlarut seiring dengan penambahan kapur, air belerang dan semen. Setelah penambahan kapur, terjadi kenaikan  $\text{pH} \geq 5$ , dan berdasarkan hasil analisis, terjadi penurunan kadar ion logam  $\text{Fe}^{2+}$ , dari konsentrasi ion logam  $\text{Fe}^{2+}$  awal 10,7082 mg/L berkurang menjadi 0,0466 mg/L, 0,0847 mg/L, dan 0,1426 mg/L, dengan persentase terendapkan tertinggi 99,5 %. Selain itu terjadi pengendapan Ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang memiliki konsentrasi awal 6,2911 mg/L, mengalami pengurangan menjadi 0,5161 mg/L, 0,01276 mg/L, dan 0,1483 mg/L, dengan penurunan persentase logam tertinggi 97,98 %. Pengendapan ion logam  $\text{Mn}^{2+}$  juga terjadi setelah penambahan kapur, dari konsentrasi awal 11,5276 mg/L menjadi 9,6347 mg/L, 5,8375 mg/L, dan 6,6094 mg/L, dengan persentase pengendapan tertinggi 49,37 %.

Setelah penambahan ABA, terjadi kenaikan  $\text{pH} \geq 11$ , dengan pengendapan tertinggi dapat secara sempurna mengendapkan ion logam terlarut ( $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Mn}^{2+}$ ), serta mengendapkan logam  $\text{Cu}^{2+}$  dengan persentase tertinggi 99 %. Setelah penambahan semen, nilai  $\text{pH} > 11$ , dan logam terlarut ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) dan pengendapan  $\text{Cu}^{2+}$  tertinggi 99,98 %. Penurunan kadar ion logam dianalisis menggunakan AAS. Hasil analisis kandungan ion logam terlarut pada AAT dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengukuran konsentrasi ion logam menggunakan AAS

Perlakuan	Variasi	Konsentrasi ion logam (mg/L)		
		$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$
1	AAT tanpa penambahan	10,7082	62,911	115,276
2	Penambahan kapur	0,0466	0,5161	96,347
	Penambahan ABA	0,1088	0,0023	0,0163
	Penambahan semen	0,0135	0,0052	<0,0001
3	Penambahan kapur	0,0847	0,01276	58,375
	Penambahan ABA	0,0043	<0,0004	0,0021
	Penambahan semen	<0,0002	0,0013	<0,0001
4	Penambahan kapur	0,1426	0,1483	66,094
	Penambahan ABA	<0,0002	0,0008	<0,0001
	Penambahan semen	0,0084	0,0017	<0,0001

Hasil dari analisis SEM ini akan memperlihatkan morfologi permukaan sampel, sedangkan EDS digunakan untuk mengetahui komposisi endapan dari tiga perlakuan. Morfologi dari ketiga sampel dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil analisis SEM (a) perlakuan 1, (b) perlakuan 2, (c) perlakuan 3

Berdasarkan hasil analisis SEM pada Gambar 4.4 (b), terlihat Morfologi permukaan tergolong berpori-pori, yang merupakan struktur permukaan dari CaO. Ukuran pori yang kecil pada permukaan CaO disebabkan oleh proses kalsinasi yang dapat menyebabkan pori-pori permukaan kapur mengecil, sehingga pori-pori akan tertutup sempurna dan batas butiran-butirannya akan menghilang (Dalsup, 2022). Hasil *mapping* pada gambar 4.4 (a) dan (c), terlihat lebih halus dengan gumpalan-gumpalan kecil. Hal ini disebabkan karena pada *mapping* tersebut partikel yang lebih dominan adalah partikel semen.

. Hasil dari EDS menunjukkan komposisi dari sampel yang dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Analisis SEM pada ketiga perlakuan

Atom	Perlakuan 1 (Mass%)	Perlakuan 2 (mass%)	Perlakuan 3 (Mass%)
O	47,36 ±0,61	41,42±0,65	42,44±0,62
Mg	8,91±0,17	6,47±0,14	5,89±0,13

Al	3,32±0,10	2,65±0,09	2,63±0,08
Si	5,51±0,12	6,23±0,13	5,92±0,12
S	4,64±0,11	4,51±0,11	3,84±0,09
Ca	24,41±0,31	34,19±0,36	34,20±0,35
V	-	0,09±0,04	0,03±0,03
Cl	-	-	0,37±0,03
Mn	1,12±0,11	-	0,65±0,08
Fe	1,84±0,15	1,62±0,14	1,30±0,12
Cu	2,90±0,28	-	2,73±0,26
Total	100	100	100

Berdasarkan hasil analisis SEM komposit dengan perbesaran 500  $\mu\text{m}$ , dengan energi 5-10 keV, didapatkan pada permukaan ketiga perlakuan memiliki unsur logam. Pada ketiga perlakuan, terlihat atom yang paling mendominasi yaitu atom O dan Ca, dengan masing-masing persentase massa pada perlakuan pertama 24,41 % dan 47,36 %, perlakuan kedua 41,42 % dan 34,19 %, dan perlakuan ketiga 42,44 % dan 34,20 %.

### KESIMPULAN

Pemberian bertahap kapur, ABA dan semen dapat mempengaruhi karakteristik AAT, ditandai dengan kenaikan harga pH, konduktivitas dan TDS. Harga pH AAT yang mulanya sebesar 3,3 mengalami kenaikan hingga rata-rata 11, sedangkan kenaikan nilai konduktivitas dan TDS tidak konstan, hal ini dikarenakan penambahan bahan dilakukan secara bertahap. Pemberian bertahap kapur, ABA dan semen dapat mempengaruhi ion logam yang terdapat pada AAT. Ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  mengalami pengurangan hingga 99 %.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan pada dosen pembimbing saya Ibu Sri Seno Handayani, S.T., M.T., Ibu Murniati, S.Pd., M.Sc. dan *Almarhum* Bapak Prof. Ir. Surya Hadi M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi serta semangat dalam menyelesaikan skripsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aitcin, P. C. (2016). Portland cement. *Science and Technology of Concrete Admixtures*, 1(1), 27-51
- Dalsup, D. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Tanah Diatom Aceh sebagai Bahan Adsorben Penghasil Silika Oksida (SiO<sub>2</sub>) Tinggi. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(2).
- Hadi, S., Asnawati, D., Kamali, S. R., Zulkarnaen, Z., Syaifuddin, S dan Hizmi, S. (2018). Investigation of sulfidic natural water in Sebau Lombok Island to remove dissolved copper (Cu<sup>2+</sup>) in acid mine drainage. *AIP Conference Proceedings* (1)
- Iakovleva, E., Mäkilä, E., Salonen, J., Sitarz, M., Wang, S., dan Sillanpää, M. (2018). Acid mine drainage (AMD) treatment: neutralization and toxic elements removal with unmodified and modified limestone. *Ecological Engineering*, 81, 30-34
- Munawar, A. (2017). *Pengelolaan Air Asam Tambang: Prinsip-prinsip dan Penerapannya*. Bengkulu :UNIB PRESS.
- Putra, H. (2021). *Beton Sebagai Material Konstruksi*. Yogyakarta: Gre Publishing.
- Rukmana, B. T. S. (2017). Penanganan Air Asam Tambang Pada Skala Laboratorium Dengan Menggunakan Kapur Tohor Berdasarkan Parameter Ketebalan NAF. *ReTII*, 1(1), 24-29
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Prosiding Semnastek* 1(1), 1-8.
- Widuri, S. A. (2013). Mengenal Air Asam Tambang (Acid Mine Drainage). *Balai Penelitian Teknologi Konservasi Sumber Daya Alam*, 2(2): 13-16