

Prediksi Air Asam Tambang dari Lapisan Overburden Tambang Batubara di PT XYZ Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Bima Agrika Aldisa^{*}, Sri Widayati, Indra Karna Wijaksana

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Indonesia.

*bimaagrika@gmail.com, widayati_teknik@yahoo.com,
indra_k_wijaksana@yahoo.com

Abstract. Along with the rapid mining activities that take place it will be higher also with the resulting impact. In addition to the positive impact generated, there are also negative impacts that occur. The activity of mining activities that could cause environmental pollution impacts is the formation of acidic water that is one of the negative impacts arising. Less precise handling of coal-covered soil layers that could potentially form quarry acid water in the process of stripping and arfilling, would be likely to form acid water mines. The precautions that have been done by the mining company in preventing the formation of acid water, in addition to avoiding the contact between sulfide minerals with oxygen and water is to classify the coal cover layer which is included in the Potential Acid Forming (PAF), Non Acid Forming (NAF) and Uncertain. This grouping is based on the results of a static test analysis, by conducting *Net Acid Producing Potential* (NAPP) tests on the coal cover soil layer samples. The initial identification of the prediction for the formation of mining acid water is a new test done in the determination of Potential Acid Forming (PAF), Non Acid Forming (NAF) and Uncertain. The identification used in the potential and potentially unpotential rock determination is the analysis on the soil layer of the coal cover seen from the characteristics of the rock both in its physical and chemical properties. The later will result in a ratio of comparison for Potential Acid Forming (PAF), Non Acid Forming (NAF) and Uncertain Rocks in the coal cover soil layer. The results of the analysis showed that in the zone block PAB8 the percentage of sandstone is 62%, and clay stones of 17% of the total 2 drill points. While on the PJM5 block the percentage of sandstone is 23% and the clay stone 55.39% of the total of 2 drill points. The ratio of the sandstone and stone clay to the two blocks is dominated by the stone of the clay whose value ratio is greater than that of a sandstone 0.34: 0.16.

Keywords: Uncertain, Potential Acid Forming, Non Acid Forming, Sandstone, Claystone.

Abstrak. Seiring semakin pesatnya aktivitas pertambangan yang berlangsung maka akan semakin tinggi juga dengan dampak yang dihasilkan. Selain dampak positif yang dihasilkan, terdapat juga dampak negatif yang terjadi. Kegiatan aktivitas pertambangan yang dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan adalah terbentuknya air asam tambang yang merupakan salah satu dari dampak negatif yang timbul. Penanganan yang kurang tepat terhadap

lapisan tanah penutup batubara yang berpotensi membentuk air asam tambang dalam proses pengupasan maupun penimbunan, akan besar kemungkinan membentuk air asam tambang. Tindakan pencegahan yang selama ini dilakukan oleh perusahaan tambang dalam mencegah terbentuknya air asam tambang, selain menghindari kontak antara mineral sulfida dengan oksigen dan air adalah mengelompokkan lapisan tanah penutup batubara mana yang termasuk ke dalam *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid Forming (NAF)* dan *Uncertain*. Pengelompokan ini di dasari dari hasil analisis pengujian statik, yaitu dengan melakukan pengujian *Net Acid Producing Potential (NAPP)* pada sampel batuan lapisan tanah penutup batubara. Identifikasi awal prediksi terbentuknya air asam tambang merupakan suatu pengujian yang baru dilakukan dalam penentuan batuan *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid Forming (NAF)* dan *Uncertain*. Identifikasi yang digunakan dalam penentuan batuan yang berpotensi dan tidak berpotensi adalah analisis pada lapisan tanah penutup batubara dilihat dari karakteristik batuan itu sendiri baik sifat fisika dan sifat kimianya. Yang kemudian nantinya akan menghasilkan suatu rasio perbandingan untuk pengelompokan batuan *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid Forming (NAF)* dan *Uncertain* pada lapisan tanah penutup batubara. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa pada blok zona PAB8 persentase dari batu pasir adalah sebesar 62%, dan batu lempung sebesar 17% dari total 2 titik bor. Sementara pada blok PJM5 persentase dari batu pasir adalah 23% dan batu lempung 55,39% dari total 2 titik bor. Nilai rasio keberadaan batu pasir dan batu lempung pada kedua blok didominasi oleh batu lempung yang nilai rasio keterdapatannya lebih besar dibandingkan batu pasir yaitu 0,34 : 0,16.

Kata Kunci: *Uncertain, Potential Acid Forming, Non Acid Forming, Uncertain, Batu Pasir, Batu Lempung.*

1. Pendahuluan

Seiring semakin pesatnya aktivitas pertambangan yang berlangsung maka akan semakin tinggi juga dengan dampak yang dihasilkan. Selain dampak positif yang dihasilkan, terdapat juga dampak negatif yang terjadi. Kegiatan aktivitas pertambangan yang dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan adalah terbentuknya air asam tambang yang merupakan salah satu dari dampak negatif yang timbul. Penanganan yang kurang tepat terhadap lapisan tanah penutup batubara yang berpotensi membentuk air asam tambang dalam proses pengupasan maupun penimbunan, akan besar kemungkinan membentuk air asam tambang. Dampak yang ditimbulkan dari terbentuknya air asam tambang adalah tercemarnya lingkungan sekitaran wilayah yang terdapat adanya aktivitas pertambangan. Pencemaran lingkungan ini terjadi yang di akibatkan oleh air asam.

Tindakan pencegahan yang selama ini dilakukan oleh perusahaan tambang dalam mencegah terbentuknya air asam tambang, selain menghindari kontak antara mineral sulfida dengan oksigen dan air adalah mengelompokkan lapisan tanah penutup batubara mana yang termasuk ke dalam *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid Forming (NAF)* dan *Uncertain*. Pengelompokan ini didasari dari hasil analisis pengujian statik, yaitu dengan melakukan pengujian *Net Acid Producing Potential (NAPP)* pada sampel batuan lapisan tanah penutup batubara. Identifikasi awal prediksi terbentuknya air asam tambang merupakan suatu pengujian yang baru dilakukan dalam penentuan batuan *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid Forming (NAF)* dan *Uncertain*. Identifikasi yang digunakan dalam penentuan batuan yang berpotensi dan tidak berpotensi adalah analisis pada lapisan tanah penutup batubara dilihat dari karakteristik batuan itu sendiri baik sifat fisika dan sifat kimianya. Yang kemudian nantinya akan menghasilkan suatu rasio perbandingan untuk pengelompokan batuan *Potential Acid Forming (PAF)*, *Non Acid*

Forming (NAF) dan Uncertain pada lapisan tanah penutup batubara.

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas permasalahan yang terjadi pada tambang batubara salah satunya adalah terbentuknya air asam tambang yang akan dikaji berdasarkan karakteristik batuan pada lapisan tanah penutupnya. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Mengetahui tebal tiap lapisan tanah penutup batubara daerah penelitian.
2. Mengetahui berapa jenis lapisan tanah penutup yang menjadi lapisan penutup batubara pada daerah penelitian
3. Mengetahui lapisan tanah penutup mana yang berpotensi besar menyebabkan Air Asam Tambang.
4. Mengetahui rasio dari lapisan tanah penutup batubara, dan hubungannya dengan keterbentukan Air Asam Tambang.

2. Landasan Teori

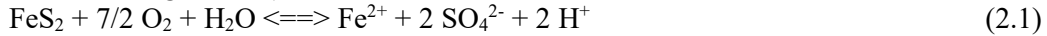
Batubara adalah sedimen (padatan) yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan yang terhumifikasi, berwarna coklat sampai hitam yang selanjutnya terkena proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun hingga mengakibatkan pengkayaan kandungan C (Wolf, 1984 dalam Anggayana 2002). Cook (1999) menerangkan bahwa batubara berasal dari sisa tumbuhan yang terakumulasi menjadi gambut yang kemudian tertimbun oleh sedimen, setelah pengendapan terjadi peningkatan temperatur dan tekanan yang nantinya mengontrol kualitas batubara. Pembentukan tanaman menjadi gambut dan batubara melalui dua tahap, yaitu tahap diagenesa gambut (peatilification) dan tahap pembatubaraan (coalification). Tahap diagenesa gambut disebut juga dengan tahap biokimia dengan melibatkan perubahan kimia dan mikroba, sedangkan tahap pembatubaraan disebut juga dengan tahap geokimia atau tahap fisika-kimia yang melibatkan perubahan kimia dan fisika serta batubara dari lignit sampai antrasit (Cook, 1982).

Batu pasir merupakan reservoir yang paling penting dan yang paling banyak di dunia ini, 60% dari semua batuan reservoir adalah batupasir. Batu pasir adalah batu-batu yang renggang (loose) tapi padat (compact), yang terdiri dari fragmen-fragmen yang menyatu dan mengeras (cemented) dengan diameter berkisar antara 0,05 mm sampai 0,2 mm. Di antara fragmen-fragmen batu pasir dan pasir, selalu terdapat fragmen-fragmen yang komposisinya adalah quartz. Butiran-butiran mineral feldspar, mika, glaukonit, karbonat dan mineral-mineral lainnya kadang-kadang terdapat di antara butiran mineral quartz[4]. Porositas (ϕ) adalah perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen[5]: $\phi = \frac{\text{volume keseluruhan batuan} - \text{volume pori}}{\text{volume total}} \times 100\%$ Pori merupakan ruang di dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida, seperti air tawar/asin, udara atau gas bumi. Porositas efektif yaitu apabila bagian rongga pori-pori di dalam batuan berhubungan. Porositas efektif biasanya lebih kecil daripada rongga pori-pori total yang biasanya berkisar dari 10% sampai 15%. Porositas efektif dinyatakan sebagai berikut: $\phi_e = \frac{\text{volume keseluruhan batuan} - \text{volume pori-pori}}{\text{volume total}} \times 100\%$ Porositas batupasir dihasilkan dari proses - proses geologi yang berpengaruh terhadap proses sedimentasi. Proses - proses ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu proses pada saat pengendapan dan proses setelah pengendapan. Kontrol pada saat pengendapan menyangkut tekstur batupasir (ukuran butir dan sortasi). Proses setelah pengendapan yang berpengaruh terhadap porositas diakibatkan oleh pengaruh fisika dan kimia, yang merupakan fungsi dari temperatur, tekanan efektif dan waktu. Ada dua jenis porositas yaitu porositas primer dan porositas sekunder. Porositas primer merupakan porositas yang terjadi bersamaan batuan menjadi sedimen, sedangkan porositas sekunder merupakan porositas yang terjadi sesudah batuan menjadi sedimen bisa berupa larutan (dissolution) Permeabilitas (k) adalah kemampuan medium berpori untuk meluluskan/mengalirkan fluida.

Endapan mineral sulfida berupa ikatan unsur belerang dengan logam, di alam dapat menjadi sumber daya logam, yang dalam jumlah besar dapat berpotensi ekonomi untuk diusahakan. Selain menyusun tubuh bijih logam, mineral sulfida dijumpai sebagai bagian dari penyusun endapan batubara. Mineral sulfida dapat terbentuk sebagai hasil aktifitas hidrothermal maupun sebagai hasil proses sedimentasi. Mineral sulfida sering dijumpai berupa pirit, kalkopirit, spalerit dan galena. Dari karakteristiknya mineral sulfida dapat dimanfaatkan sebagai bahan

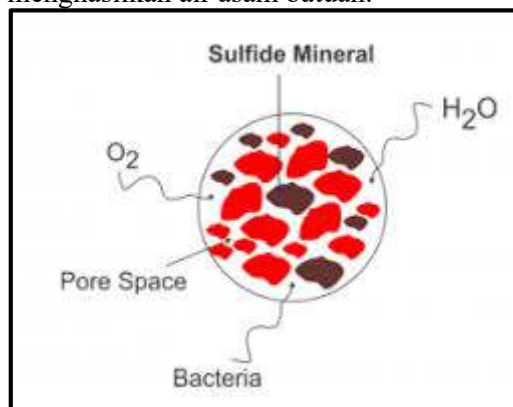
industri metalurgi maupun kimia, namun di alam potensial juga sebagai penghasil air asam yang dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Beberapa sulfida logam yang sering dijumpai pada wilayah pertambangan antara lain FeS₂ (pirit), FeS₂ (markasit), FeS_x (pirithtrit), PbS (galena), Cu₂S (kalkosit), CuS (kovelit), CuFeS₂ (kalkopirit), MoS₂ (molibdenit), NiS (milerit), ZnS (spalerit), dan FeAsS (arsenpirit). Di kawasan tambang batubara yang mengandung mineral sulfida dan besi sulfida (FeS₂), konversi terbentuknya asam dapat terjadi melalui beberapa reaksi. Secara umum terdapat empat persamaan reaksi utama, yaitu (Stumm & Morgan 1996):



Pada persamaan (2.1), besi sulfida teroksidasi menghasilkan besi ferro (Fe²⁺), sulfat (SO₄²⁻) dan asam (ion H⁺). Besi ferro selanjutnya dapat teroksidasi menjadi bentuk besi ferri (Fe³⁺) seperti ditunjukkan oleh persamaan (2.2). Selanjutnya besi ferri terhidrolisa menjadi ferri hidroksida (Fe(OH)₃) dan ion H⁺ (persamaan reaksi 2.3). Keasaman (acidity, H⁺) yang terbentuk dapat bertindak sebagai katalis dalam memecah pirit (FeS₂) menghasilkan lebih banyak lagi ion ferro (Fe²⁺), sulfat dan H⁺ (persamaan reaksi 2.4). Jika reaksi seperti yang ditunjukkan pada persamaan di atas melambat atau berhenti, maka pembentukan air asam tambang juga akan melambat atau berhenti. Penghilangan atau pengurangan air dan atau oksigen dapat mencegah atau menghambat oksidasi pirit. Air asam tambang adalah air bersifat asam dan mengandung zat besi dan sulfat, yang terbentuk pada kondisi alami pada saat strata geologi yang mengandung pirit terpapar ke atmosfer atau lingkungan yang bersifat oksidasi. Air asam tambang dapat terbentuk dari tambang batubara, baik pada pertambangan permukaan maupun pertambangan bawah tanah.

Pada penambangan batubara potensi timbulnya pengasaman sebagian besar dapat terjadi karena terdapatnya mineral sulfida yaitu pirit dan markasite, kedua mineral ini memiliki susunan kimia yang serupa yaitu FeS₂, kedua mineral tersebut hanya berbeda dalam bentuk kristalnya saja. Mineral sulfat umumnya terjadi sebagai mineral sekunder hasil pelapukan dari oksidasi mineral pirit. Berbagai mineral sulfat yang sering dijumpai pada batuan di tambang batubara adalah pickeringite, halotrichite, alunogen, copiapite, coquimbite, dan lain - lain. Sedangkan sulfur organik yang berasal dari material asal tanaman atau dari proses diagenenses molekul organik bukan merupakan formasi yang mengakibatkan pengasaman. Ketika timbunan material dianalisa, prosentase berat total sulfur biasanya ditentukan sebagai rerata perkiraan sulfur pyritic dan merupakan potensi pengasaman dari batuan. Di antara batuan sedimen yang mengandung lapisan batubara terdapat juga lapisan-lapisan batuan yang memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan air asam batuan (acid rock drainage atau ARD). Permukaan batuan yang teroksidasi oleh oksigen dan kemudian terkena air akan menghasilkan air asam batuan.



Gambar 1. Proses Kimia Air Asam Tambang

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa *brand awareness* terdiri dari empat tingkatan

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Rasio Perbandingan Lapisan Overburden

Analisis rasio perbandingan batuan overburden merupakan analisis untuk mengetahui perbandingan antara batu pasir dengan batu lempung pada daerah penelitian. Analisis ini berasal dari data pengeboran yang telah diolah sebelumnya. Dari hasil data pengeboran sebanyak 19 titik bor tersebut dibagi menjadi 2 blok yaitu blok PAB8 dan blok PJM5. Dari data hasil pengolahan perhitungan rasio pada masing-masing zona diketahui bahwa pada zona CAB4 nilai dari rasio batu pasir dan batu lempung nya dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Grafik 1. Rasio Lapisan Overburden Batubara

Berikut adalah penelitian mengenai hubungan antara iklan Le Minerale dengan kesadaran merek, yang diuji menggunakan teknik analisis korelasi Rank Spearman. Hasil pengujian dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian

NO	Drill Hole Id	Litologi	Tebal (m)	Rasio	Kriteria
1	PAB8-1	Sand	1,27	0,06	PAF
		Clay	21,03		
		Sand	7	0,27	PAF
		Clay	25,92		
		Sand	—	0	UNCERTAIN
		Clay	36,41	0	UNCERTAIN
		Sand	—		
Clay	1,23				
2	PAB8-2	Sand	7	0,72	PAF
		Clay	9,7		
		Sand	—	0	UNCERTAIN
		Clay	8,15		
		Sand	—	0	UNCERTAIN
		Clay	29,6		
		Sand	—		
Clay	—	—	—		
3	PJM5-A	Sand	7,75	0,402597	PAF
		Clay	19,25		
		Sand	8	0,487805	PAF
		Clay	16,4		
		Sand	—	—	—
		Clay	—	—	—
		Sand	—	—	—
Clay	—	—	—		
4	PJM5-B	Sand	27,2	0	NAF
		Clay	—	0,198925	PAF
		Sand	5,55		
		Clay	27,9	0,518044	PAF
		Sand	13,35		
		Clay	25,77	0	UNCERTAIN
		Sand	5,65		
Clay	—				

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa hasil perhitungan rasio perbandingan rasio batu pasir dan batu lempung dapat dianalisis bahwa semakin besar nilai rasio keberadaan batu lempung maka indikasi terbentuknya air asam tambang akan besar terjadi kemungkinannya pada

daerah penelitian, sebaliknya apabila nilai rasio keberadaan batu pasir lebih besar dibandingkan rasio keberadaan batu lempung maka indikasi terbentuknya air asam tambang akan kecil terjadi kemungkinannya. Hasil analisis pada lapisan tanah penutup batubara pada daerah penelitian, yang bertujuan untuk mengetahui besaran nilai unsur pembawa sulfida dari tiap sampel diketahui bahwa dari jumlah 4 lubang bor, terdapat 7 sampel lubang bor yang susunan batumannya termasuk kedalam klasifikasi batuan Potential Acid Forming (PAF), 1 sampel lubang bor yang susunan batumannya termasuk ke dalam klasifikasi batuan Non Acid Forming (NAF), dan 5 sampel lubang bor yang susunan batumannya termasuk ke dalam kriteria batuan uncertain.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Tebal lapisan tanah penutup batubara pada daerah penelitian adalah :
 - Total tebal lapisan batu pasir = 442,44 m
 - Total tebal lapisan batu lempung = 1033,8 m
 - Total tebal lapisan lanau = 231,23 m
 - Total tebal lapisan tersebut merupakan total tebal lapisan tanah penutup batubara yang terdapat di 19 lubang titik bor.
2. Pada daerah yang dijadikan lokasi penelitian pada umumnya ditemukan tiga jenis lapisan batuan yang menjadi tanah penutup batubara, yaitu lapisan batu pasir, lempung, dan lanau.
3. Lapisan tanah penutup batubara yang berpotensi besar menyebabkan air asam tambang adalah batu lempung, ini dikarenakan contoh sampel batuan yang di uji dengan metode NAPP pada laboratorium menunjukkan bahwa lapisan batu lempung pada daerah penelitian memiliki kandungan total sulfur yang tinggi. Selain itu mineral lempung yang terdapat pada batu lempung diindikasikan merupakan unsur-unsur mineral yang berpotensi menyebabkan terbentuknya air asam tambang.
4. Setelah dilakukan perhitungan dan pengolahan data pemboran yang dilakukan pada daerah penelitian, didapatkan rasio perbandingan antara batu pasir dan batu lempung pada daerah penelitian adalah 0,16 pada blok PAB8 dan 0,34 pada blok PJM5. Kemudian adapun hubungannya dengan keterbentukan air asam tambang adalah, semakin besarnya rasio perbandingan batu lempung terhadap pasir maka dapat diindikasikan bahwa pada daerah tersebut susunan lapisan tanah penutupnya termasuk kategori potensi *Potential Acid Forming (PAF)*, sebaliknya apabila rasio perbandingan batu pasir lebih besar dibandingkan dengan batu lempung maka lapisan tanah penutup pada daerah tersebut termasuk kedalam

5. Saran

Saran Teoritis

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terkait indentifikasi awal pembentukan air asam tambang dengan analisis rasio perbandingan lapisan tanah penutup batubara ini dengan cara menguji lebih dalam dengan melakukan pengujian sayatan pipih baik itu XRD ataupun XRF. Pengujian tersebut dimaksudkan agar dapat di ketahui kandungan mineral apa saja yang terkandung dalam material tanah penutup, yang memiliki potensi untuk terbentuknya air asam tambang. Agar kedepannya analisis ini dapat digunakan dalam pencegahan terbentuknya air asam tambang.

Saran Praktis

1. saran guna untuk lebih merencanakan lebih matang terkait manajemen penimbunan lapisan tanah penutup batubara, dengan cara memisahkan batuan yang berpotensi PAF dengan batuan yang berpotensi NAF;

Daftar Pustaka

- [1] Cook A.C., 1982,. "The Origin and Petrology of Organic Matter in Coals, Oil Shales, and Petroleum Source-Rock", Australia, Geology Departement of Wollongong University.
- [2] Cook A.C., 1999, "Coal Geology and Coal Properties", Australia, Keiraville consultant.

- [3] Dyer, K., 1986, "Coastal and estuarine sediment dynamics" Chichester, John Wiley & Sons.
- [4] Diessel, C.F.K., 1992, "Coal-Bearing Depositional System", Berlin, Springer – Verlag. [5] Cangara, H. Hafied. 2002. *Pengantar Ilmu Komunikasi*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- [5] Folk, R.L. and W.C. Ward., 1957, "Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters". Berlin, *J. of Sedimentary Petrology*, 27:3–26.
- [6] Friedman, G.M. and J.E., Sanders., 1978. "Principles of sedimentology", New York, John Wiley & Sons.
- [7] Gautama R., S., 2012, "Pengelolaan Air Asam Tambang", Bimbingan Teknis Reklamasi dan Pascatambang pada Kegiatan Pertambangan Mineral dan Batubara, KESDM, Yogyakarta.
- [8] Gilang Wahyu, dkk., 2016, "Identifikasi Visual Batuan PAF dan NAF Studi Kasus di PT Arutmin Indonesia Asam-Asam", Program Pascasarjana, Universitas Lambung Mangkurat.
- [9] Leathen, W.W., S.A. Braley, and L.D. McIntyre., 1953, "The role of bacteria in the formation of acid from certain sulfuritic constituents associated with bituminous coal *Applied Microbiology*", 1: 61-68.
- [10] Nugroho Hari Septrino, 2014, "Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir Di Teluk Weda, Maluku Utara", *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 6, No. 1, Hlm. 229-240, Juni 2014, Pusat Penelitian LIPI, Ambon.
- [11] Rembah, Rina, 2014, "Pengujian Kualitas Air Asam Tambang pada Tambang Batubara PT. Bukit Asam", Program Studi Pertambangan Umum, Universitas Sembilanbelas Nopember.
- [12] Skousen, J., K. Politan, T. Hilton, and A. Meek. 1990, "Acid Mine Drainage Treatment Systems: Chemicals and Costs", *Green Lands* 20(4): 31-37.
- [13] Stum W, and J.J. Morgan, 1996, "Aquatic Chemistry", John Wiley and Sons, New York.
- [14] Said Idaman Nusa, 2014. "Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara "Alternatif Pemilihan Teknologi", Pusat Teknologi Lingkungan, JAI Vol. 7 No. 2, 2014, BPPT.
- [15] Supriatna, S., Sukardi., dan Rustandi, 1995, "***Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan***", Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [16] Taylor, G.H., Teichmuller, M., 1993, "Organic Petrology", Gebruder Borntraeger, Berlin.
- [17] Wolf, 1984 dalam Anggayana, 2002, "Genesa Batubara" . Departemen Teknik Pertambangan FITK, Institut Teknologi Bandung.
- [18] Waksman, S.A., 1922, "Microorganisms Concerned in The Oxidation of sulfur in The Soil IV. A Solid Medium For The Isolation and Cultivation of Thiobacillus Thiooxidans", *J. Bact.*7:605608.
- [19] Ziemkiewicz, P.F., J.G. Skousen, and R. Lovett., 1994, "Open limestone channels for treating acid mine drainage", a new look at an old idea, *Green Lands* 24(4):36-41.
- [20] Zulkarnain, A, dan Abdiyanto, M.D., 2012, "Pemodelan Geokimia Batuan Penutup Area Binungan Blok 9 PT Berau Coal" . Seminar Air Asam Tambang di Indonesia ke -4, Bandung.