

ISBN : 978-979-8826-14-6

PERHAPI

PERHIMPUNAN AHLI PERTAMBANGAN INDONESIA
ASSOCIATION OF INDONESIAN MINING PROFESSIONALS

PROSIDING

TEMU PROFESI
TAHUNAN (TPT) XVII
PERHAPI 2008

*Pengembangan Proses,
Teknologi dan Profesionalisme
Menuju Keberlanjutan Pertambangan*

Hotel Horison Palembang, 24 - 25 Juli 2008

PROSIDING TPT XVII PERHAPI 2008

DAFTAR ISI

PADA PENGANTAR
DAFTAR ISI

i
ii

KELOMPOK I : KEBIJAKAN/MINERAL EKONOMI

Hal

- 1 Merencanakan Bahan Bakar Batubara Untuk PLTU 10.000 MW, **Ir.Amirrusdi, M.Si.** Widyaiswara Madya, Pusdiklat Ketenagalistrikan Dan Energi Baru Terbarukan. 1
- 2 Endapan Logam Dasar Di Pegunungan Selatan-Jawa Dan Optimalisasi Penambangannya Yang Berbasis Masyarakat Lokal, **Arifudin Idrus,** Jurusan Teknik Geologi FT-UGM. 12
- 3 Mampukan Tambang Mengurangi Kemiskinan?, **Harry Miarsono, Ph.D.,** PT Kaltim Prima Coal. 21
- 4 Aspek Sosial Dalam Rencana Penambangan Pasir Besi Kulon Progo, **D.Haryanto,** Jurusan T. Pertambangan – Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. 32
- 5 Meneropong Perubahan Paradigma Profesionalisme Maintenance Equipment Mencapai Zero Technology di Dunia Pertambangan, **Irwan,** Maintenance Engineer PT. International Nickel Indonesia Tbk. 40
- 6 Kajian Dampak Lingkungan Program Sumatera Selatan Sebagai Lumbung Energi Nasional, **M. Taufik Toha,** Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. 48
- 7 Strategi Pengembangan Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Percepatan Sumatera Selatan Sebagai Lumbung Energi Nasional, **Machmud Hasjim dan M. Taufik Toha,** Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. 64
- 8 Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pedesaan Disekitar Lokasi Pertambangan (“Proyek Tambang Emas PT. Cibaliung Sumberdaya”), **Noegroho Soeprayitno,** PT. Cibaliung Sumberdaya. 76
- 9 Industri Pertambangan Umum Dan Keberlanjutan Fiskal: Peranan PT. Freeport Indonesia, **Nuzul Achjar, Khoirunurrofik, Uka Wikarya, Ibrahim Kholilul Rohman, Widyono Soetjipto;** Lembaga Penyelidikan Ekonomi dan Masyarakat, Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia (LPEM-FEUI). 81

PROSIDING TPT XVII PERHAPI 2008

- 46 Uji Coba Lapangan Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Lapisan Penutup Geosynthetics Clay Liner Di Tambang Terbuka PT. Kaltim Prima Coal, **Hendra Agoessusilo**, Supt. Mine Civil & Contract, PT. Kaltim Prima Coal. 468
- 47 Tri Hita Karana Dan Tambang Berwawasan Lingkungan, **Ketut Gunawan**, UPN "Veteran" Yogyakarta. 474
- 48 Upaya Netralisasi Drainase Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Batukapur Dan Mikroba Anaerob Pada PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk Unit Penambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan; **Marwan Asof**; *Dosen Tetap Jurusan Teknik Pertambangan Unsri*. 483
- 49 Upaya Penanggulangan Tanah Tercemar Hydrocarbon Pada Lokasi Penambangan Dengan Teknik Bioremediasi, **Untung Sukanto¹⁾ Sudaryanto²⁾**, 1) dan 2) Jurusan Teknik Pertambangan – Fakultas Teknologi Mineral – UPN "Veteran" Yogyakarta. 492
- 50 Proses Penetralan Air Asam Tambang Pit J – PT. Kaltim Prima Coal, **Wahyu Triantono**, PT. Kaltim Prima Coal. 503

KELOMPOK VI: STUDENT PAPER CONTEST

- 51 Tinjauan Instalasi Dispatch Jigsaw Pada Alat Angkut Dan Drill Sebagai Penunjang Kegiatan Penambangan Di PT. Newmont Nusa Tenggara, **Arif Johar Pratama, Frans Irawan** Mahasiswa Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. 514
- 52 Windfall Revenue : Kebijakan Dan Problematika Di Negara Indonesia, **Rizki Habibie**, Program Studi Teknik Pertambangan, FTTM, ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132. 523
- 53 Added Value Komoditas Tambang, **Febi Mutia**, Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Pertambangan Dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung Jalan Ganesha No.10 Bandung 40132. 531

UPAYA NETRALISASI DRAINASE AIR ASAM TAMBANG
DENGAN MENGGUNAKAN BATUKAPUR DAN
MIKROBA ANAEROB
PADA PT. TAMBANG BATUBARA BUKIT ASAM (PERSERO) Tbk
UNIT PENAMBANGAN TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN

Marwan Asof

Dosen Tetap Jurusan Teknik Pertambangan Unsri
Email : marwan_asof@yahoo.com

ABSTRAK

Oxidasi mineral sulfida adalah faktor utama dalam pembentukan drainase air asam tambang (*drainage of mine acid water*), senyawa lainnya yang mempengaruhi keasaman adalah Fe (besi). Besi yang terdapat dalam 2 bentuk oxidasi yaitu Fe^{2+} dan Fe^{3+} , dan besi di dalam sangat dipengaruhi oleh oksigen sebagai pengoksidasi (sebagai elektron penerima) Fe.

Bakteri pereduksi Fe^{3+} banyak terdapat di air tanah, tanah lumpur dan kolam pengendapan anaerobik. Pada pH rendah Fe^{2+} tidak teroksidasi oleh udara, tapi yang mengoksidasinya adalah bakteri "*thiobacillus ferrooxidans*" yang termasuk *acidophilic bacteria*.

Pada makalah ini akan diterangkan bagaimana mikroba anaerob dapat mendegradasi senyawa-senyawa kompleks organik menjadi asam-asam lemak terbang yang kemudian terurai menjadi gas H_2 dan asam alkohol (*propionat*, asam butirat). Pada proses ini di harapkan derajat keasaman yang terkandung dalam air tambang batubara dapat di netralkan. Dari penelitian didapatkan hasil sebagai berikut : perbandingan yang terbaik bila digunakan substrat organik murni sebagai electron penerima adalah 1:2 dengan angka pH yang dapat dicapai adalah 6,9.

Ketika dilakukan didalam tanki dengan pengadukan yang minimal (pengadukan cepat akan membuat aktivasi mikroba berkurang), perbandingan maksimal terbaik adalah 1:5 untuk massa mikroba dan air asam tambang dan angka pH yang dapat dicapai 7,4. Ini berarti pengadukan minimal sangat penting peranannya dalam mengaktifkan mikroba anaerob untuk mereduksi kandungan sulfur yang ada didalam air asam penambangan batu bara.

Kata Kunci : Netralisasi, Air Asam, Mikroba Anaerob, pH, Agitasi, Senyawa Organik

A. PENDAHULUAN

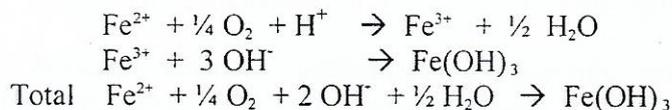
Penambangan batubara di daerah Bukit Asam Tanjung Enim yang dilakukan oleh PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk adalah dengan cara "open pit coal mining". Sistem drainase air tambang yang terkumpul pada "open sump" didasar "pit" dilakukan dengan cara pemompaan kepermukaan melalui tahapan bak (kolam) penampung sebelum dibuang ke sungai. Air tambang dimaksud ternyata bersifat asam dengan pH $\pm 3,5$ sehingga akan menyebabkan cepatnya tingkat kerusakan pompa (korosi) dan pencemaran lingkungan.

Makalah ini akan memperlihatkan upaya netralisasi air asam tambang dengan menggunakan "mikroba anaerob" dan akan dikomparasikan hasilnya jika menggunakan media netralisasi batukapur. Oksidasi mineral sulfida adalah faktor utama dalam pembentukan drainase air asam tambang (drainage of mine acid water), senyawa lainnya yang mempengaruhi keasaman adalah Fe (besi). Besi adalah satu dari banyak unsur yang terdapat di alam, tapi jumlahnya relatif lebih sedikit dibanding unsur lainnya, dan besi tidak larut didalam air. Besi terdapat dalam 2 bentuk oksidasi yaitu Fe^{2+} dan Fe^{3+} , dan besi di alam sangat dipengaruhi oleh oksigen sebagai pengoksidasi (sebagai elektron penerima) Fe. Pada kondisi netral Fe di udara secara spontan akan menjadi Fe^{3+} dan membentuk endapan yang tidak larut yaitu ferric hydroxide dan ferric oxide.

B. METODOLOGI PENELITIAN DASAR

1. Bakteri Pereduksi Oksidasi Besi

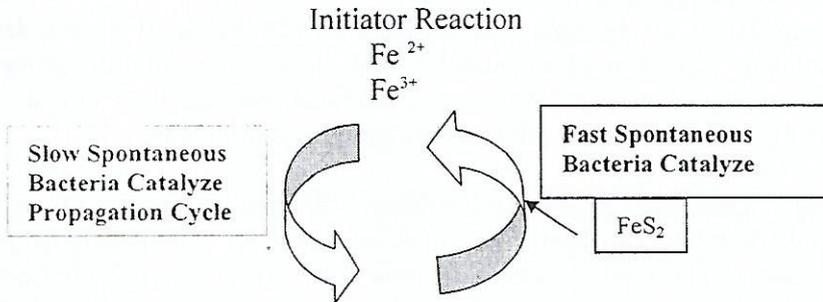
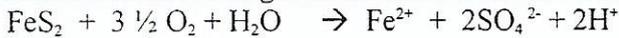
Bakteri pereduksi Fe^{3+} banyak terdapat di air tanah, tanah lumpur dan kolam pengendapan anaerobik. Pada pH rendah Fe^{2+} tidak teroksidasi oleh udara, tapi yang mengoksidasinya adalah bakteri "thiobacillus ferrooxidans" termasuk acidophilic bacteria. Reaksi oksidasi Fe^{2+} dengan bantuan bakteri tersebut adalah sebagai berikut :



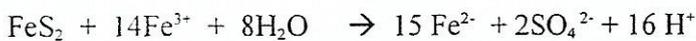
2. Oksidasi Pyrit (FeS_2)

Pyrit adalah salah satu bentuk besi dan sulfur yang terdapat di alam, dimana didapat dari reaksi antara sulfur dengan ferrous sulfide (FeS). Bakteri pengoksidasi pyrit sangat besar peranannya dalam perkembangan kondisi keasaman drainase air hasil penambangan batubara, sedangkan yang berperan sebagai elektron penerima adalah oksigen dan Fe^{3+} . Dan Fe^{3+} hanya ada bila larutan asam yaitu pada pH dibawah 2,5, bila pH diatas 2,5 reaksi Fe^{3+} dengan air membentuk larutan $Fe(OH)_3$.

2.1. Peranan Bakteria Pengoksidasi Besi di dalam Oksidasi Mineral Pyrit



Pada reaksi inisiasi O_2 dibantu oleh katalis bakteri Fe^{2+} membentuk Fe^{3+} yang relatif stabil (dalam kondisi asam). Reaksinya adalah sebagai berikut :



Kemudian Fe^{2+} dioksidasi kembali oleh bakteri menjadi Fe^{3+} , dan Fe^{3+} ini bereaksi kembali dengan pyrit yang berlebih, pada saat pyrit dioksidasi kecepatan reaksi naik dengan cepat, reaksi ini disebut "propagation cycle".

Penguraian pyrit menunjukkan pembentukan asam sulfat dan Fe^{2+} dimana nilai $\text{pH} \leq 2$. Sepanjang batubara tidak ditambah oksidasi pyrit tidak akan berjalan, karena bila tidak ada udara maka tidak ada bakteri yang dapat berkembang, artinya ketika batubara diambil, dengan cepat bakteri thiobacillus ferrooxidans akan terkontaminasi oleh adanya udara yang masuk sehingga pyrit akan teroksidasi dengan cepat.

3. Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri pereduksi sulfur dan sulfat menggunakan senyawa organik seperti etanol, laktat, format atau asam lemak sebagai elektron pemberi dan mereduksi sulfat atau sulfur menjadi sulfida. Sulfat digunakan sebagai terminal elektron penerima dibawah kondisi anaerob oleh kumpulan bakteri heterogen yang menggunakan asam-asam organik, asam lemak, alkohol, dan H_2 adalah sebagai elektron pemberi.

Bakteri pereduksi sulfat secara fisiologi merupakan group phototrophic, yang terbagi atas :

Group 1 : Desulfovibrio, desulfomonas, desulfotomaculum dan desulfobulbus yang menggunakan laktat, pyruvat, etanol, asam-asam lemak sebagai carbon dan sumber energi untuk mereduksi sulfat menjadi hidrogen sulfida.

Group 2 : Desulfobacter, desulfococcus, desulfosarcina dan desulfonema, jenis group ini merupakan bakteri spesialis mengoksidasi asam-asam lemak, khususnya asetat dan juga mereduksi sulfat menjadi sulfida. Pada group ini yang berfungsi sebagai elektron donornya adalah H_2 , sedangkan sulfat sebagai elektron penerima dan CO_2 sebagai sumber carbon satu-satunya.

Bakteri pereduksi sulfat adalah obligat anaerob, pada saat pembiakan teknik anaerob harus benar-benar dilakukan.

4. Penggunaan Tanki berpengaduk

Teknologi pengolahan air buangan telah menghasilkan berbagai sistim dan jenis pengolahan. Permasalahan yang kemudian timbul adalah bagaimana memilih suatu sistem pengolahan air buangan yang sesuai untuk diterapkan, terutama bila dikaitkan dengan sasaran akhir dari pengolahan air buangan, yaitu perlindungan terhadap lingkungan.

Pengembangan teknologi proses pengolahan limbah tersebut sangat perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan waktu pengolahan yang lebih singkat, energi yang terpakai sekecil mungkin serta volume ruang yang lebih kecil. Pada saat ini kemajuan dalam pemahaman dasar bioteknologi semakin meningkat dan mulai banyak membantu masalah yang berhubungan dengan fermentasi anaerobik. Diantara nya adalah penggunaan tanki berpengaduk agar konsentrasi larutan campuran yang akan diolah relatif lebih homogen.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penggunaan Batu Kapur

Sebelum diolah batukapur ditumbuk sampai berbentuk bubuk lalu ditimbang (0,2 gr, 0.4 gr, 0,6 gr, 0,8 gr). Untuk setiap ukuran berat batu kapur dimasukkan kedalam air asam dengan volume yang bervariasi, setelah itu dilakukan pengadukan sampai larutan homogen, baru kemudian dilakukan pengukuran pH dengan selang waktu 30 menit. Data yang dihasilkan dapat dilihat seperti pada tabel I dan gambar 1 dibawah ini.

TABEL I
NILAI pH UNTUK SETIAP BERAT BATUKAPUR FUNGSI VOLUME AIR ASAM DAN WAKTU PENGADUKAN

a. Angka pH untuk berat batu kapur 0.2 gram

T (menit)	0	30	60	90	120	150
Volume						
0,5 (liter)	4.4	6.5	6.9	7.2	7.2	7.3
2,0 (liter)	4.4	6.1	6.5	6.5	6.7	6.8
5,0 (liter)	4.4	4.2	4.4	4.5	4.5	4.7

b. Angka pH untuk berat batu kapur 0.4 gram

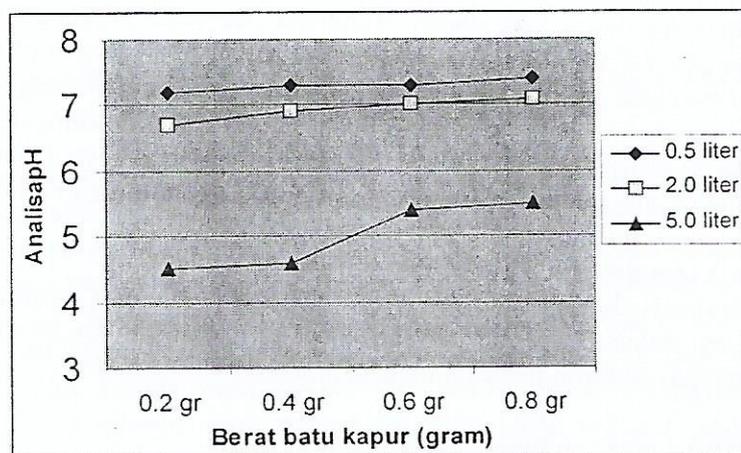
T (menit)	0	30	60	90	120	150
Volume						
0,5 (liter)	4.4	6.5	6.6	7.0	7.1	7.3
2,0 (liter)	4.4	5.3	6.2	6.6	6.7	6.9
5,0 (liter)	4.4	3.7	4.3	4.5	4.6	4.6

c. Angka pH untuk berat batu kapur 0.6 gram

T (menit)	0	30	60	90	120	150
Volume						
0,5 (liter)	4.4	6.6	6.8	7.1	7.3	7.3
2,0 (liter)	4.4	5.3	6.2	6.7	6.7	7.0
5,0 (liter)	4.4	4.5	5.1	5.1	5.3	5.4

d. Angka pH untuk berat batu kapur 0.8 gram

T (menit)	0	30	60	90	120	150
Volume						
0,5 (liter)	4.4	6.7	6.8	7.1	7.2	7.4
2,0 (liter)	4.4	5.4	6.3	6.7	6.9	7.1
5,0 (liter)	4.4	4.6	5.3	5.4	5.4	5.5



GAMBAR 1
GRAFIK NILAI pH VS BERAT BATUKAPUR FUNGSI VOLUME AIR ASAM

Untuk volume 5 liter dengan penambahan batukapur 0.2 gram sampai 0.8 gram dengan waktu tinggal dalam campuran mencapai 150 menit, pH netral belum dapat tercapai. Bila volume air asam dikurangi hanya 2 liter, dengan berat batukapur dan waktu tinggal campuran yang sama maka pH bisa mencapai angka maksimal 7.1.

Dari data percobaan diatas dicoba untuk membuat suatu persamaan hubungan kebutuhan batu kapur dengan volume air asam yang akan dinetralkan. Persamaan dimaksud adalah sebagai berikut :

$$Y = 2 \times 10^{-4} X$$

dimana, Y adalah banyaknya batu kapur yang diperlukan (Kg), sedang X adalah banyaknya volume air asam yang akan dinetralkan (Liter). Terlihat disini misalnya untuk menetralkan 50 liter air asam diperlukan batukapur sebanyak 10 gram batu kapur.

Dari hasil diatas kebutuhan batu kapur sangatlah tinggi apalagi bila kapasitas air asam sangat berlimpah. Selain itu akan terjadi permasalahan limbah padat batukapur yang menyebabkan proses sedimentasi atau pendangkalan kolam penampung atau dasar "pit". Dengan pertimbangan diatas maka perlu dicari alternatif lain yang lebih praktis dengan hasil yang lebih optimal.

2. Penggunaan Mikroba Anaerob

Mikroba anaerob adalah merupakan mikroba campuran yang dapat mendegradasi senyawa-senyawa kompleks organik menjadi asam-asam lemak terbang yang kemudian terurai menjadi gas H_2 dan asam alkohol (propionat, asam butirat), dan lain-lain, kemudian terjadi oksidasi anaerob.

Substrat organik (laktat, pyruvat, asam-asam lemak, ...) adalah merupakan nutrisi bagi mikroba campuran, misalnya bakteri pereduksi sulfat menggunakan senyawa –senyawa organik sebagai elektron donor. Oleh karena itu pada saat pembiakan mikroba/bakteri maka senyawa organik sangat dibutuhkan. Seperti dijelaskan diatas bahwa bakteri pereduksi sulfat secara fisiologi merupakan group phototrophic.

Pembiakan mikroba dilakukan dengan melihat seberapa jauh pengaruh substrat organik terhadap upaya netralisasi air asam hasil penambangan batubara tersebut diatas. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah “fluidized bed reactor” yang dikenal sebagai suatu bioreaktor dengan kolom fluidisasi, merupakan suatu alat yang terdiri dari sebuah kolom fluidisasi berdiameter 10 cm dengan tinggi 130 cm, dilengkapi dengan “flowmeter” sebagai alat untuk mengatur debit aliran, 2 buah tangki yang berfungsi sebagai tangki penyeimbang dan tangki penyimpanan limbah. Selain itu ada seperangkat alat penyaringan yang cukup sederhana berguna untuk menyaring hasil proses penetralisasi air asam.

2.1. Netralisasi Air Asam dengan Mikroba Anaerob

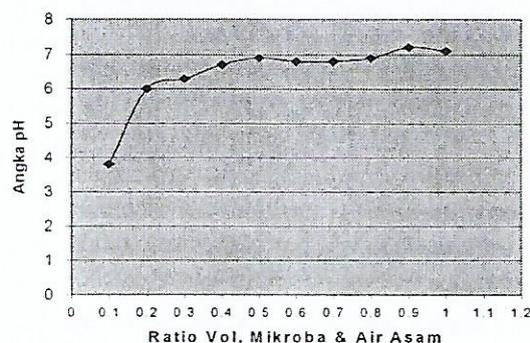
Tahapan netralisasi dengan mikroba anaerob didahului dengan pembiakan mikroba, yaitu dengan membagi dalam 3 macam pembiakan yang dibedakan atas perbedaan substrat yang dimasukkan sebagai elektron pemberi makanan, yaitu :

- a. Substrat organik tanpa campuran senyawa lain.
- b. Substrat organik dicampur dengan limbah air asam.
- c. Substrat murni dari limbah air asam.

Ketiga perlakuan diatas dilakukan untuk melihat sampai sejauh mana peranan senyawa organik dan sulfat sebagai terminal elektron pemberi bagi kerja dari mikroba campuran.

a. Hasil Percobaan Dengan Substrat Organik (CPO)

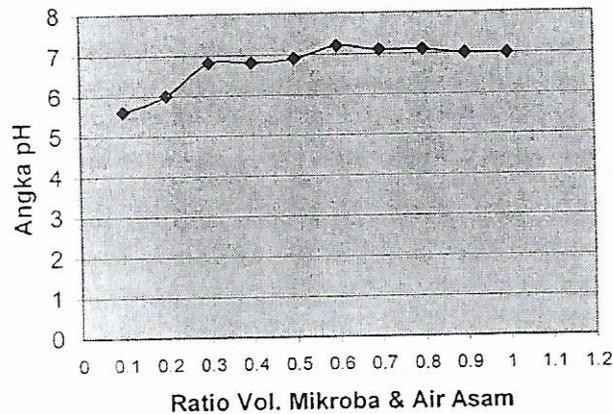
Dari percobaan yang dilakukan didapatkan hasil seperti diperlihatkan oleh gambar 2 dibawah ini :



GAMBAR 2
VARIASI NILAI pH FUNGSI PERBANDINGAN VOLUME MIKROBA
DAN AIR ASAM PADA SUBSTRAT ORGANIK "CPO"

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perbandingan 1:2 untuk mikroba dan air asam memberikan harga pH 6,9, lalu bila pada jam yang sama ditambah perbandingannya menjadi 1:3 pH akan turun sampai 6,5, lalu bila ditambah lagi perbandingannya menjadi 1:4 pH turun lagi sampai 6,3. Karena pH tidak berubah maka larutan ini didiamkan selama 3 hari diukur lagi pH menjadi 6,5. Karena pHnya belum berubah lalu ditambah mikroba menjadi 2:4 pH mencapai 7,2, kemudian ketika pada saat yang sama ditambah lagi air asam sehingga perbandingan menjadi 2:6 pH turun jadi 6,9. Dari hasil ini dapat disimpulkan sebagai berikut (cf. gambar 2) : perbandingan yang terbaik bila digunakan substrat organik murni sebagai elektron penerima adalah mulai 0,5 dengan angka pH yang dapat dicapai adalah 6,9. Dengan perkataan lain untuk mencapai kondisi pH netral limbah air asam diperlukan jumlah campuran mikroba 1 liter untuk 2 liter air asam tambang. Dalam hal analisis dinamis, kondisi keseimbangan ini sangat dipengaruhi oleh tingkat laju pertumbuhan mikroba dan debit air asam fungsi waktu.

b. Hasil Percobaan Dengan Substrat Organik Dicampur Limbah Air Asam



GAMBAR 3
VARIASI NILAI pH FUNGSI PERBANDINGAN VOLUME MIKROBA
DAN AIR ASAM PADA SUBSTRAT ORGANIK "CPO + AIR ASAM"

Untuk perbandingan 1:2 setelah dicampur pH = 6,9, bila air asamnya ditambah sehingga perbandingan menjadi 1:4 pH turun sedikit menjadi 6,8. Bila didiamkan beberapa hari angka pH tetap. Ketika volume diperbesar dengan perbandingan yang sama angka pH yang didapat relatif sama, maka dari hasil diatas disimpulkan sebagai berikut : bila substrat organik dicampur dengan limbah air asam dengan persentase yang sama maka proses netralisasi air asam dengan perlakuan diatas membutuhkan mikroba lebih banyak yaitu 1:2 terutama bila kapasitas yang akan dihandle lebih besar. Gambar 3 memperlihatkan laju eksponensial nilai pH limbah air asam fungsi rasio jumlah mikroba dan air asam tambang.

c. Hasil Percobaan Dengan Substrat Limbah Air Asam Murni.

Hasil yang didapat tidak begitu berhasil. Pada saat awal pencampuran pH hanya mencapai 4,4 lalu terus turun, mungkin ini disebabkan oleh kebutuhan senyawa organik dari mikroba campuran yang berfungsi mereduksi sulfat tidak terpenuhi, karena substratnya hanya berasal dari air asam (anorganik).

2.2. Proses Netralisasi didalam Bioreaktor Tanki Berpengaduk (BTB)

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan BTB ternyata didapatkan hasil yang sangat memuaskan untuk ketiga perlakuan diatas. Dimana dengan perbandingan 1:5 yaitu 1 liter mikroba dan 5 liter air asam angka pH dapat mencapai sampai 7,4. Ini berarti pengadukan minimal pada BTB sangat penting peranannya dalam mengaktifkan mikroba anaerob untuk mereduksi kandungan sulfur yang ada didalam air asam penambangan batu bara.

D. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa netralisasi air asam tambang dengan batu kapur untuk menghasilkan angka pH yang netral ($\text{pH} = 6,9$) maka rasio kebutuhannya ditunjukkan oleh persamaan $Y = 0.2 X$, dimana Y adalah banyaknya batu kapur yang diperlukan dan X banyaknya volume air asam yang akan dinetralkan.

Sedangkan upaya netralisasi dengan mikroba anaerob dan menggunakan tanki berpengaduk minimal, maka angka pH optimal yang dicapai adalah 7,2. Penggunaan mikroba anaerob sebagai media netralisasi air asam tambang akan meminimalkan resiko gejala proses sedimentasi atau pendangkalan kolam penampungan limbah.

Daftar Pustaka

- (1) Atkinson, B. Black, G.M. Pinches, A. "The characteristics of solid support and biomass support particles", *Biological fluidized bed treatment of water and wastewater*, edisi Ellis Horwood, England, hal 75-107
- (2) Braunschweig, P. (1987), "Development of Anaerobic Filters for Treatment of High Strength Argo Industrial Wastewater", *Bioprocess Engineering*, 2, 39-47
- (3) Ghin, Y.B (1985), "Anaerobic Bioreactor Design in Palm Oil Mill Effluent Treatment", *Proceeding on The First Asean Workshop on Biochemical Engineering*, Bangkok, Thailand, 200-227.
- (4) Susila, A. Abdullah, S. M.Arief, K. Neni, S. (1997), "Perancangan dan Pengendalian Lingkungan oleh Industri Minyak Kelapa Sawit", Laporan Akhir RUT-II.
- (5) Susila Arita, Neni, S. Arif Karim, Abdullah, S Subriyer, N.(1997), "Efisiensi Waktu Pembibitan Mikroba Anaerob dalam Menurunkan Angka COD Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit", *Prosiding Seminar Nasional Biologi XV Universitas Lampung*, hal.1350-1354
- (6) Thomas D. Brock, Michael T. Madigan (1991), "Biology of Microorganisms", Sixth Edition, *Prentice-Hall International Editions*.
- (7) Weber, W.J. (1978) dikutip dari "Aerobic Biological Wastewater Treatment" *Gaz-liquid-solid Fluidization Engineering Part.II.* by Liang Shih Fan.