

Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik terhadap Alkalinitas, Asam Volatil dan pH dalam Pengolahan *Sludge* Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pulp dan Kertas Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerobik

Yasmarli¹⁾, Adrianto Ahmad²⁾*, Edward HS²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Teknologi Bioproses

Program Studi Teknik Lingkungan S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

*Email : adri@unri.ac.id

ABSTRACT

Pulp and paper industries growth significantly especially in Indonesia that in their operations generate potential waste to contaminate the environment. Type of waste that generated by pulp and paper industries mostly liquid that could be processed in wastewater treatment installation (WWTI). WWTI still generate amount volume of sludge waste, so it need to be in special handling. One of the alternative that can be reduce volume of sludge waste is anaerobic hybrid bioreactor. This technology use suspended and settle microorganism that integrated in bioreactor system. This research aim to determine the influence of hydraulic retention time (HRT) toward alkalinity, volatile acid and pH in processing of sludge waste from pulp and paper wastewater treatment installation using anaerobic hybrid bioreactor. This research start from seeding time that 100 ml/day sludge waste added to 1 Litre of cows's feces extract for 10 days. Next stage is acclimatisation with throw and put methode and continued with start up where sludge waste flewed in to bioreactor with 5 days HRT. Last stage is variate HRT for 4 days; 3 days and 2 days. Result of this experiment show that average optimum pH operations is 6,6. Alkalinity 2010 mg/L otherwise volatile acid concentration is 43 mg/L. Bioreactor have high stability with value 0,026 in optimum 4 days HRT.

Keyword: *Alkalinity, Anaerobic, Bioreactor, Hybrid, Hydraulic Retention Time, Paper, pH, Pulp, Volatile Acid, Wastewater*

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara pengekspor pulp dan kertas dengan nilai ekspor yang meningkat dari tahun-ketahun. Pada tahun 2002 ekspor produk kertas dan barang dari kertas Indonesia sebesar 3,4 juta ton dan meningkat menjadi 4,6 juta ton pada tahun 2013 (Badan Pusat Statistik, 2015). Peningkatan ekspor pulp dan kertas di Indonesia sebanding pula dengan peningkatan kuantitas limbah yang dihasilkan.

Menurut Yuzelma (2012), saat ini limbah padat yang dihasilkan oleh industri pulp dan kertas adalah 3% – 4% dari kapasitas produksi, sehingga jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh industri pulp dan kertas \pm 183 ribu ton pada tahun 2012.

Limbah padat yang dihasilkan dari IPAL pulp dan kertas berupa limbah lumpur. Umumnya unit yang menghasilkan limbah ini adalah unit *clarifier*. Limbah lumpur ini apabila tidak dikelola dengan baik berpotensi mencemari lingkungan. Jika ditumpuk pada lahan kosong dapat menyebabkan gangguan estetika dan pencemaran. Oleh karena itu, limbah lumpur yang selanjutnya disebut *sludge* ini harus dikelola dengan baik agar tidak mengganggu estetika dan mencemari lingkungan.

Pengolahan *sludge* dengan cara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan atau anaerob. Jika dilakukan dengan proses aerob, maka hasil akhir pengolahan limbah adalah karbondioksida dan air, sementara jika dilakukan dengan proses anaerob, maka hasil akhir pengolahan limbah adalah karbondioksida dan gas metan yang sering disebut sebagai biogas.

Pemilihan sistem pengolahan yang akan digunakan dalam mengolah suatu limbah tergantung dari karakteristik limbah yang akan diolah tersebut. Apabila limbah yang akan diolah mengandung BOD lebih dari 4000 mg/L, maka proses yang lebih ekonomis untuk diterapkan adalah proses anaerobik. Industri pulp dan kertas menghasilkan limbah dengan nilai BOD yang tinggi yaitu mencapai 25.000 mg/L, oleh karena itu sistem pengolahan secara anaerobik dipilih untuk mengolah limbah ini (Ahmad, 1992).

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *Sludge* IPAL Pulp dan Kertas dari PT. RAPP Pangkalan Kerinci 1:1 (*sludge:air*), ekstrak kotoran sapi, gas nitrogen, dan batu.

2.2 Alat yang dipakai

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat bioreaktor hibrid anaerob, seperangkat alat analisa asam volatil, seperangkat alat titrasi, pH meter, erlenmeyer, *sentrifuge*, pompa air, dan selang.

2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang dilakukan ialah: perbandingan *sludge:air* yaitu 1:1 dan volume kerja reaktor 11,6 L, sedangkan variabel berubahnya ialah: waktu tinggal hidrolis (WTH) yaitu 5,4,3, dan 2 hari.

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pengambilan limbah *sludge* dan analisa karakteristik *sludge*.
2. Tahap Pembibitan

Pembibitan bertujuan untuk menumbuhkan dan mengembangkan mikroba yang akan digunakan. Mikroorganisme tersebut berasal dari Ekstrak kotoran sapi yang disaring. 1 L Ekstrak kotoran sapi yang diperoleh dimasukkan ke dalam *digester* yang berukuran 2 L dan dialirkan gas nitrogen agar diperoleh kondisi anaerob.

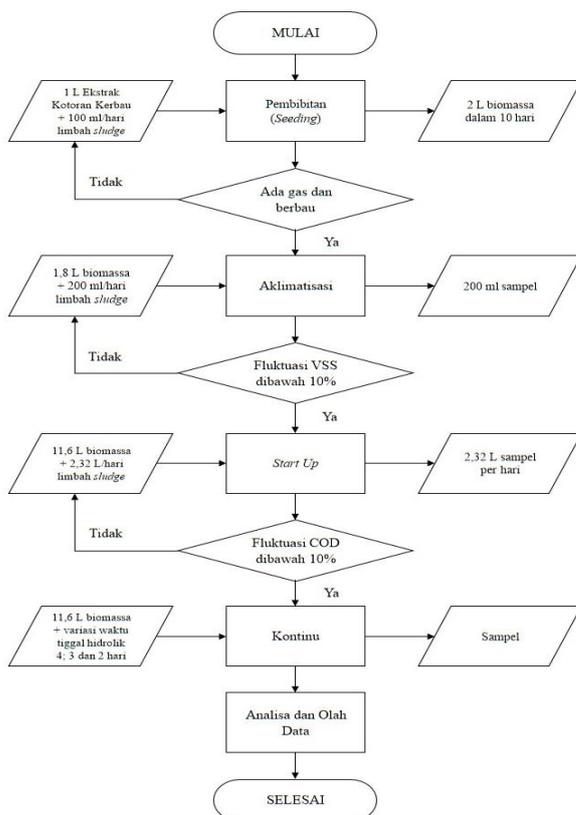
setiap hari ditambahkan 100 ml limbah *sludge* selama 10 hari. Setelah didapat volume *sludge* sebesar 2 liter selanjutnya dilakukan aklimatisasi.

3. Tahap Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan tahap dimana mikroorganisme beradaptasi terhadap limbah atau substrat yang akan dipakai. Tujuan dari proses aklimatisasi ini adalah untuk membiasakan mikroorganisme terhadap limbah (bahan baku) agar dapat meminimalkan gangguan atau kematian yang terjadi pada mikroorganisme pada saat diberlakukan dengan limbah yang akan diolah. Aklimatisasi dilakukan dengan cara membuang cairan dari dalam *digester* sebanyak 200 ml lalu ditambahkan dengan 200 ml limbah *sludge* ke dalam *digester* anaerobik. Proses aklimatisasi dinyatakan selesai apabila nilai fluktuasi VSS dibawah 10%.

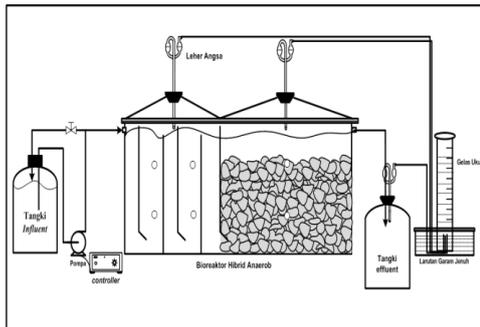
4. Perangkaian Alat

Penelitian ini menggunakan seperangkat bioreaktor hibrid anaerobik yang terdiri dari tangki influen, pipa inlet, badan reaktor, leher angsa, pompa, tangki efluen, kontrol, dan gelas ukur dilengkapi dengan wadah penampung larutan garam yang berfungsi sebagai penangkap biogas. Badan reaktor terdiri dari 2 kompartemen utama yaitu kompartemen yang bersekat dan kompartemen yang diisi media. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu dengan ukuran diameter rata-rata 2,5 cm dan ketinggian media $\frac{3}{4}$ dari tinggi cairan didalam bioreaktor. Rangkaian bioreaktor hibrid anaerobik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Untuk mencapai volume *sludge* sebanyak 2 L maka kedalam *digester*



Gambar 2. Seperangkat Bioreaktor Hibrid Anaerobik

5. Tahap *Start-Up*

Biomassa dari proses aklimatisasi dimasukkan kedalam badan bioreaktor. Setelah itu diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem dengan harapan dapat mengusir oksigen terlarut dalam cairan, lalu dibiarkan selama 3 hari. Hal ini bertujuan untuk mengendapkan biomassa dari kultur campuran.

Limbah *sludge* yang akan diolah, selanjutnya dimasukkan ke dalam tangki umpan. Dengan menggunakan pompa, limbah *sludge* dialirkan ke dalam bioreaktor dengan mengontrol bukaan *valve* sehingga diperoleh WTH 5 hari. Aliran limbah *sludge* didalam bioreaktor adalah turun naik mengikuti sekat-sekat yang ada didalam bioreaktor hibrid anaerob dan pada akhirnya aliran akan keluar menuju tangki *effluent*. Penambahan umpan ini bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan biofilm. Keluaran dari hasil *start-up* ditampung dan diambil sebanyak 500 ml untuk dianalisis. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penyisihan COD dibawah 10%.

6. Tahap Kontinu

Setelah keadaan tunak pada proses *start up* dicapai, maka variasi waktu tinggal hidrolis dalam bioreaktor dapat dilakukan. Variasi dilakukan dengan mengubah waktu tinggal hidrolis yaitu 4; 3; dan 2 hari. Sampel diambil setiap hari dan dilakukan analisis parameter pH, alkalinitas, dan asam volatil sebagai asam asetat. Analisis tersebut dilakukan sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [APHA, AWWA, and WPCF, 1992]. Data hasil analisis dikumpulkan dan diolah kemudian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik *Sludge*

Sludge yang digunakan sebagai umpan dalam penelitian ini berasal dari PT. RAPP Kabupaten Pangkalan Kerinci Riau. Karakteristik *sludge* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

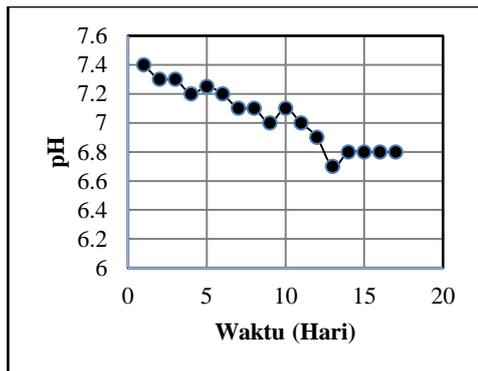
Tabel 1. Hasil Karakteristik *Sludge*

Parameter	<i>Sludge</i>	*Baku Mutu
pH	7,4	6 – 9
Alkalinitas	203 mg/L	-
Total Asam Volatil	150 mg/L	-
Total Solid (TS)	7.600 mg/L	-
Total Volatile Solid (TVS)	7.400 mg/L	-
Total Suspended Solid (TSS)	6.000 mg/L	200 mg/L
Volatile Suspended Solid (VSS)	5.900 mg/L	-
Chemical Oxygen Demand (COD)	5.000 mg/L	100 mg/L

*) Kepmen LH Nomor 51/MEN LH/10/1995

3.2 Pengamatan Tahap *Start Up*

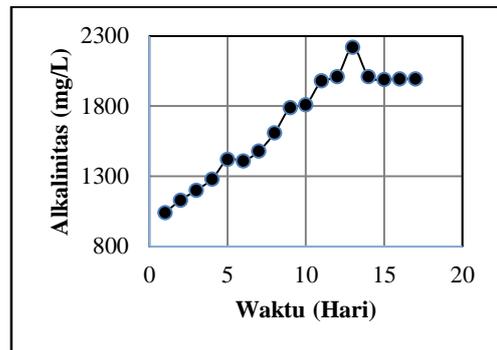
Pada bahasan ini akan dilihat nilai pH, alkalinitas dan total asam volatil efluen selama masa *start-up* bioreaktor. Berikut merupakan hubungan pH terhadap waktu *start up* bioreaktor.



Gambar 3. Hubungan pH terhadap Waktu *Start Up* Bioreaktor

Gambar 3 menunjukkan bahwa Kondisi pH paling tinggi terjadi pada hari ke-1 dengan nilai pH 7,4. Sementara itu kondisi pH paling rendah terjadi pada hari ke-13 dengan nilai pH 6,7. Fluktuasi pH terjadi akibat kehadiran asam-asam volatil dari proses asidogenesis. Asam volatil yang terbentuk dapat disangga oleh unsur alkali yang terdapat didalam kultur campuran. Unsur alkali tersebut berasal dari reaksi antara karbondioksida dengan air yang membentuk asam karbonat. Selanjutnya asam karbonat berdisosiasi membentuk ion hidrogen dan ion bikarbonat yang akan bertindak sebagai *buffer* (Priyono, 2012).

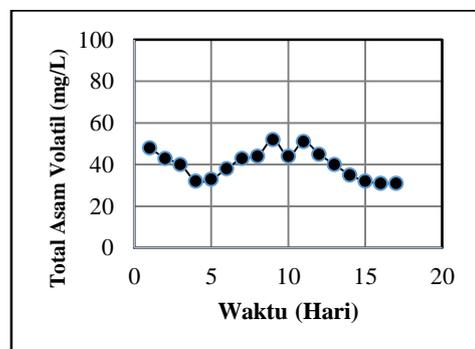
Konsentrasi alkalinitas efluen pada proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi Alkalinitas Efluen Selama Proses *Start-Up*

Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi alkalinitas tertinggi berada pada hari ke-13 dengan nilai alkalinitas 2220 mg/L. Nilai alkalinitas pada penelitian ini cenderung stabil mulai hari ke-14 dengan nilai 2010 mg/L, pada titik ini kecepatan produksi ion karbonat dan bikarbonat sebanding dengan kecepatan konsumsi ion tersebut menetralkan asam volatil yang terbentuk. Pada kondisi tunak, konsentrasi alkalinitas mampu menyangga asam volatil yang terbentuk serta mencegah penurunan pH yang terlalu asam (Ahmad, 1992).

Konsentrasi total asam volatil efluen selama proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 5.



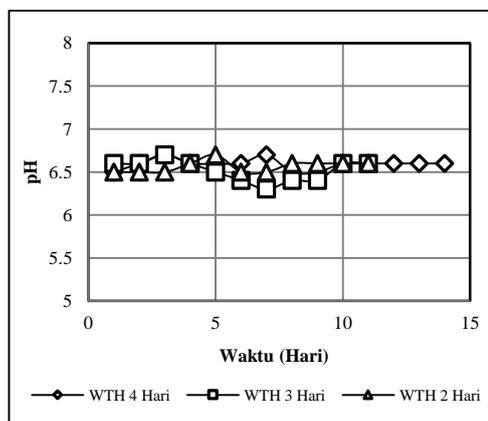
Gambar 5. Konsentrasi Asam Volatil Efluen Selama Proses *Start-Up*

Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi total asam volatil selama proses *start-up* cenderung stabil dengan konsentrasi tertinggi ditemukan pada hari ke-9 dengan nilai TAV 52 mg/L dan terendah pada hari ke-16 dengan nilai TAV 31 mg/L. Menurunnya konsentrasi total asam volatil yang terukur pada efluen kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya jumlah mikroorganisme dalam campuran karena mati selama masa pengendapan campuran.

Rentang konsentrasi asam lemak volatil untuk kondisi optimum fermentasi metan adalah 50 – 500 mg/L dan ekstrim pada konsentrasi 2000 mg/L (Ahmad, 1992).

3.3 Pengamatan pada tahap Kontinu

Perubahan pH pada variasi waktu tinggal hidraulik dapat dilihat pada Gambar 6.

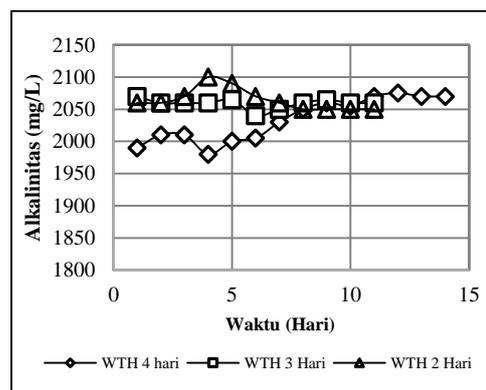


Gambar 6. Perubahan pH pada Variasi Waktu Tinggal Hidraulik

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai pH operasi bioreaktor berbeda pada setiap waktu tinggal hidraulik (WTH) yang digunakan. pH tertinggi terjadi pada WTH 4 hari dihari ke-7; WTH 3 hari dihari ke-3 dan WTH 2 hari dihari ke-5 yaitu 6,7

sementara pH terendah terjadi pada WTH 3 hari dihari ke-7 yaitu 6,3. Rentang nilai pH yang diperoleh dalam penelitian ini berkisar antara 6,7 – 6,3. Pada rentang tersebut mikroorganisme anaerobik yang digunakan dalam bioreaktor dapat berkembang dengan optimum. Nilai pH dimana mikroorganisme dapat berkembang dengan optimum berkisar antara 5,8 – 8,2 (Speece, 1996).

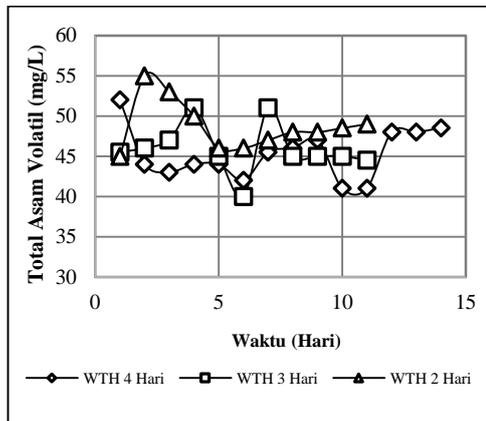
Konsentrasi alkalinitas dalam proses biodegradasi merupakan representasi dari kapasitas penyanggahan dalam proses tersebut. Konsentrasi alkalinitas efluen pada variasi waktu tinggal hidraulik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perubahan pH pada Variasi Waktu Tinggal Hidraulik

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai alkalinitas tertinggi terjadi pada WTH 2 hari dengan nilai 2100 mg/L dan terendah pada WTH 4 hari dengan nilai 1800. Nilai alkalinitas optimum berada pada WTH 4 hari dengan rata-rata 2060 mg/L. Perairan mengandung alkalinitas ≥ 20 ppm menunjukkan bahwa perairan itu relatif stabil terhadap perubahan asam atau basa (Lestari, 2012).

Konsentrasi total asam volatil efluen pada variasi waktu tinggal hidraulik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Konsentrasi Total Asam Volatil Efluen pada Variasi WTH

Gambar 8 menunjukkan bahwa secara umum nilai TAV berbanding terbalik dengan peningkatan waktu tinggal hidraulik. Nilai TAV tertinggi berada pada WTH 2 hari dengan nilai 55 mg/L dan terendah pada WTH 3 hari dengan nilai 40 mg/L.

Peningkatan waktu tinggal hidraulik sejalan dengan peningkatan alkalinitas, nilai alkalinitas yang tinggi mengakibatkan peningkatan aktivitas kimia ion hidrogen dan bikarbonat terhadap asam organik rantai pendek menjadi asam asetat serta peningkatan aktivitas kimia ion hidrogen dan bikarbonat terhadap asam asetat menjadi biogas. Akibatnya, konsentrasi total asam volatil yang terukur pada efluen berkurang. Nilai alkalinitas yang tersisa akan menjaga kestabilan pH operasi sehingga kondisi mikroorganisme di dalam bioreaktor tetap optimal.

3.4 Studi Komparatif Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob

Kestabilan bioreaktor hibrid anaerob direpresentasikan oleh perbandingan nilai total asam volatil dengan alkalinitas. Studi komparatif bioreaktor hibrid anaerob dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Studi Komparatif Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerobik

Jenis Bioreaktor	Rasio TAV/Alkalinitas	Efisiensi Penyisihan Organik (%)	WTH (hari)	Pustaka
BUFAN	0,3	83	7	Ahmad, 2005
BMA	0,19	94	12	Ahmad, 2005
BIOHAN (Tankos)	0,026	71	2,5	Syahrizal, 2011
BIOHAN (Pelepah)	0,039	84	3	Syahrizal, 2011
BIOHAN (Batu)	0,026	90	4	Penelitian ini

Keterangan:

- BUFAN = Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerob
- BMA = Bioreaktor Membran Anaerob
- BIOHAN = Bioreaktor Hibrid Anaerobik
- WTH = Waktu Tinggal Hidraulik

Tabel di atas memaparkan bahwa kondisi operasi optimum bioreaktor ungun fluidisasi anaerob fasa tunggal dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit adalah pada waktu tinggal hidraulik 7 hari dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,3 dan efisiensi penyisihan COD 83%. Sedangkan kondisi optimum bioreaktor membran anaerobik dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit adalah pada waktu tinggal hidraulik 12 hari dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,19 dan efisiensi penyisihan COD 94%.

Disamping itu, kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerobik

dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit adalah pada waktu tinggal hidrolis 2,5 hari dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,026 dan efisiensi penyisihan COD 71% untuk media tandan kosong sawit. Sementara itu, kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerobik bermedia tandan kosong sawit dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit adalah pada waktu tinggal hidrolis 3 hari dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,039 dan efisiensi penyisihan COD 84%.

Uraian di atas menunjukkan bahwa kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerobik bermedia batu dalam mengolah limbah *sludge* pabrik pulp dan kertas adalah pada waktu tinggal hidrolis 4 hari dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,026 dan efisiensi penyisihan COD 90%. Kondisi ini menyatakan bahwa bioreaktor hibrid anaerobik bermedia batu mempunyai kestabilan yang tinggi dalam mengolah limbah *sludge* pabrik pulp dan kertas karena bioreaktor yang mempunyai kestabilan yang tinggi harus mempunyai nisbah TAV/Alkalinitas kecil dari 0,1 (Sahm, 1984).

4. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan dan saran. Berikut Kesimpulan penelitian ini adalah :

- a. Semakin kecil waktu tinggal hidraulik (WTH) maka semakin kecil pula pH efluen yang terukur.

- b. Nilai Alkalinitas secara umum meningkat seiring bertambahnya waktu pada masa *start up*.
- c. Semakin kecil WTH maka semakin besar alkalinitas efluen yang terukur.
- d. Nilai Total Asam Volatil (TAV) berbanding terbalik dengan peningkatan waktu tinggal hidraulik.
- e. Bioreaktor hibrid anaerobik bermedia batu yang digunakan dalam penelitian stabil dengan nisbah TAV / Alkalinitas 0,026 dengan WTH 4 hari dan pH rata-rata 6,6.

Beberapa hal yang disarankan dari hasil penelitian ini adalah:

- a. Perlu dilakukan penambahan pada variasi WTH untuk memperoleh hasil yang lebih signifikan dan akurat
- b. Perlu ditentukan komposisi *sludge*:air yang lebih baik untuk memperoleh aliran influen yang lebih stabil.

Daftar Pustaka

- Ahmad A., 1992, *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap dalam Mebgolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*, Pusat Antar Universitas-Bioteknologi, Institut Teknologi Bandung.
- Ahmad, A., 2005, *Teknologi Bioproses dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*, Prosiding Seminar

- Teknik Kimia “Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia”.
- Anonim (a), 2015, *Proses Biofilter Tercelup (Submerged Biofilter)*, Buku Air Limbah Domestik DKI, BPPT, Jakarta.
- Anonim (b), 2015, *Produsen Pulp dan Kertas di Indonesia*, <http://datarisetindonesia.com/index.php?pilih=hal&id=45>, diakses tanggal 25 Februari 2015.
- APHA, AWWA dan WPCF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC.
- Badan Pusat Statistik, 2015, *Ekspor Kertas dan Barang dari Kertas Menurut Negara Tujuan Utama*, http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=2&tabel=1&dftar=1&id_subyek=08%20¬ab=28, diakses pada 30 Januari pukul 08:13
- Dewi, 2013, *Pengaruh Laju Pembebanan Organik Terhadap pH dan Asam Asetat dalam Bioreaktor Hibrid Anaerob Pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Sagu*, Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Gharaufi, H., A. Ahmad dan Bahruddin, 2012, *Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu pada Kondisi Start-Up dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Sagu*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO “The Challenge of Chemical Engineering Institutions in Product Innovation for a Sustainable Future”.
- Grady, Jr C. P. L. dan H. C. Lim, 1980, *Biological Wastewater Treatment, Theory and Application*, Marcel Dekker Inc., New York dan Basel.
- Kementrian Lingkungan Hidup Indonesia, 2014, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Th. 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta.
- Lestari, Y.F., 2012, *Pengaruh Laju Alir Umpan terhadap pH dan Alkalinitas Limbah Cair Sagu dalam Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu pada Kondisi Tunak*, Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Maiyola, R., 2014, *Evaluasi Efisiensi AAerated Lagoon terhadap Biological Oxygen Demand (BOD) pada Unit EN-2M Wastewater Treatment Plant*. Laporan Kerja Praktik

- Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan Universitas Riau.
- Mustika, Y. R., 2011, *Hidrolisa Sludge Pulp Menjadi Glukosa Menggunakan Katalis Asam Sulfat*, Skripsi Program Sarjana Teknik Kimia Universitas Riau
- Pankratz, T. M., 2001, *Environmental Engineering Dictionary and Directory*, Lewis Publisher, New York.
- Pierce, J.J., R.F. Weiner and P.A. Vesilind, 1997, *Environmental Pollution and Control*, 4th Edition, Butterworth, Heinemann.
- Priyono, A., 2012, *Kajian Aklimatisasi Proses Pengolahan Limbah Cair Pabrik Sagu Secara Anaerob*, Skripsi Program Sarjana Teknik Kimia Universitas Riau.
- Putra, L.P., 2010, *Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu dengan Indikator Rasio Asam Volatil dan Alkalinitas*, Skripsi, Universitas Riau.
- Sahm, H., 1984, *Anaerobic Wastewater Treatment*, Advanced Biochemical Engineering/Biotechnology.
- Saturnus, P. A., *Efisiensi Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Sagu Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerobik Dua Tahap dengan Variabel Laju Pembebanan Organik*, Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Smit, H.A.A., A. Ahmad dan J. Asmura, 2011, *Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”, Yogyakarta.
- Soeprijanto, T. Ismail, M. Dwi dan B. Niken, 2010, *Pengolahan Vinasse dari Air Limbah Industri Alkohol Menjadi Biogas Menggunakan Bioreaktor UASB*, Jurna Purifikasi, Vol-11, 11-20.
- Speece R. E., 1996, *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*, Archae Press, Vanderbilt University.
- Syafila M., A. H. Djajadiningrat dan M. Handajani, 2003, *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase*, Prosiding ITB Sains dan Tek. Vol. 35 A, No 1, 19-31.
- Syahrizal, 2011, *Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelepah Sawit dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*, Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.

- Widjaja, Tri, 2012, *Pengolahan Limbah Industri (Proses Biologis)*, ITS Press, Surabaya.
- Yunitaniel, Lusy, 2012, *Pengaruh Laju Pembebanan Organik Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Cair Sagu Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob*, Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Yuzelma, 2012, *Kajian Kandungan Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TLCP) Limbah Biosludge IPAL Industri Pulp dan Kertas*, Thesis Program Pasca Sarjana Universitas Riau.