

KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT PADA PROSES PENGOLAHAN ANAEROB DAN AEROB

Ida Nursanti¹

Abstract

Palm oil mill wastewater (LCPKS) or palm oil mill effluent (POME) is one type of organic agro-industrial wastes . So that the waste can be useful as a fertilizer it must be free of pollutants and high nutrient levels . The research aims to determine the diversity and level of reduction of nutrient content and LCPKS contaminants in the processing of primary anaerobic pond I, II secondary anaerobic pond to the aerobic pond . The experiment was conducted at PT . Sumbertama Nusa Pertiwi District Kumpuh Hulu Muaro Jambi and in the Laboratory , lasted for 3 months . Implementation research using survey methods at the site of primary anaerobic pond treatment LCPKS I, II secondary anaerobic pond and aerobic pond LCPKS then analyzed in the laboratory . The results showed that the levels of nutrients N , P , K , COD , BOD , TSS and C - organic LCPKS acidification pond is higher than the first secondary anaerobic pond and aerobic pond , while Al and Fe content varies . Ca and Mg levels are higher in the aerobic pond . LCPKS acidification has an acidic pH , the first secondary anaerobic pond rather sour and slightly alkaline aerobic pond . Highest total in an aerobic fungi and total bacteria in an anaerobic highest first secondary .

Keywords: *Characteristics of Palm Oil Mill Effluent*

PENDAHULUAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) atau *palm oil mill effluent* (POME) merupakan salah satu jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak dan padatan organik yang berasal dari hasil samping proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk menghasilkan *crude palm oil* (CPO) . Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit (CPO) akan menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar (Nasution, 2004).

Pada tahun 2005, PKS yang ada di Provinsi Jambi tercatat sebanyak 32 unit, dan setiap unit PKS mempunyai kapasitas olah tandan buah segar (TBS) sawit berkisar antara 30-60 ton jam⁻¹. Bila setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah menghasilkan 0,4 ton hingga 0,7 ton limbah cair , maka setiap unit PKS akan menghasilkan kira-kira 197.000 ton LCPKS per tahunnya. Limbah ini mempunyai kandungan bahan organik dan bahan padat yang tinggi (Muzar, 2008).

Limbah cair pabrik kelapa sawit berwarna kecoklatan, terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD dan BOD tinggi 68.000ppm dan 27.000ppm, bersifat asam (pH nya 3,5 - 4), terdiri dari 95% air, 4-5% bahan-bahan terlarut dan tersuspensi (selulosa,protein,lemak) dan 0,5-1% residu minyak yang sebagian besar berupa emulsi. Kandungan TSS LCPKS tinggi sekitar 1.330 – 50.700 mg/L , tembaga (Cu) 0,89 ppm , besi (Fe) 46,5 ppm dan seng (Zn) 2,3 ppm serta amoniak 35 ppm (Ma, 2000).

Bila dilihat dari kandungan bahan organik dan unsur hara LCPKS maka limbah ini dapat digunakan sebagai pupuk organik dan dapat dijadikan sebagai pupuk pengganti pupuk anorganik. LCPKS tidak dapat secara langsung dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena memiliki bahan-bahan organik yang belum terdegradasi tinggi, aktivitas mikroorganisme yang tertekan dan jika dibuang ke badan air penerima akan mengakibatkan penurunan kualitas perairan dan lingkungan serta tidak dianjurkan untuk diaplikasikan ke lahan.

Untuk menjadikan LCPKS sebagai pupuk organik berkualitas, maka diperlukan proses pengolahan yang bertujuan untuk menurunkan kandungan BOD , COD dan minyak, meningkatkan pH, meningkatkan kandungan unsur hara serta mendegradasi bahan organik (bahan terlarut dan tersuspensi). Alternatif pengolahan yang dapat dilakukan antara lain adalah dengan pengolahan secara anaerob dan aerob.

Pengolahan yang sering dilakukan di pabrik pengolahan kelapa sawit menggunakan proses anaerob dan dilanjutkan proses aerob. LCPKS pada kolam anaerobik primer dengan WPH 75 hari, menghasilkan LCPKS dengan kisaran *biochemical oxygen demand* (BOD) 3.500-5.000 ppm (Pamin *et al*, 1996). Raharjo (2009) menjelaskan bahwa hasil kolam anaerobik LCPKS dengan WPH 40 hari yang dilanjutnya ke kolam aerobik WPH 60 hari dapat menurunkan BOD dengan kisaran 200-230 ppm . BOD akan menurun dari 27.000 menjadi 2.500 mg/l dan diikuti dengan penurunan kandungan unsur hara setelah dilakukan pengolahan standar pabrik pada kolam anaerob sekunder jika dibandingkan dengan sebelum

¹ Dosen Fak Pertanian Universitas Batanghari

dilakukan pengolahan (Budianta, 2005). Penurunan BOD setelah dilakukan pengolahan akan diikuti dengan penurunan kandungan unsur hara N, P dan K dari limbah cair pabrik kelapa sawit (Simanjuntak, 2009).

Adapun Tujuan penelitian untuk mengetahui keragaman dan tingkat penurunan kandungan unsur hara dan bahan pencemar LCPKS pada proses pengolahan dari kolam anaerob primer I, kolam anaerob sekunder II sampai ke kolam aerob .

BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada beberapa kolam pengolahan LCPKS di PT. Sumbertama Nusa Pertiwi Kecamatan Kumpeh Hulu Kabupaten Muaro Jambi dan di Laboratorium. Penelitian berlangsung selama 3 bulan mulai April sampai Juli 2013.

Penelitian ini menggunakan metode survey di lokasi pengolahan LCPKS dan analisis LCPKS di Laboratorium . Survey dan pengambilan sampel dilaksanakan pada tiga jenis kolam *out let* yaitu kolam anaerob primer I, kolam anaerob sekunder II dan kolam aerob.

Limbah cair pabrik kelapa sawit diambil dari tiga jenis kolam *out let* pada kedalaman 0-30 cm dari permukaan kolam dengan menggunakan ember. Masing-masing kolam diambil tiga sampel sebagai ulangan, sehingga diperoleh sebanyak 9 sampel dengan volume setiap sampel 1 liter. Sampel dimasukkan ke dalam botol yang diberi label lalu disimpan dalam *cooler box* untuk di analisis di laboratorium.

Peubah yang diamatai melalui analisis LCPKS di Laboratorium Pengujian Tekmira, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Bandung . Peubah yang dianalisis meliputi : pH (H_2O), C/N rasio, C-organik (prosedur Walkley dan Black), N-total (destruksi Kjehldahl), P total , K (spektofotometri), Ca, Mg, S, Mn, logam Fe dan Cu (Spektrometri), total fungi dan bakteri (metode spread plate), BOD dan COD (metode Winkler), dan TSS LCPKS.

Analisis data keragaman karakteristik jenis LCPKS disajikan dalam bentuk histogram dan dibahas secara deskriptif. Data hasil pengamatan juga dianalisa menggunakan bantuan Statistical Analisis System Versi 11,5. Untuk melihat tingkat hubungan antar variabel digunakan uji multi korelasi pada taraf 1% dan 5%.

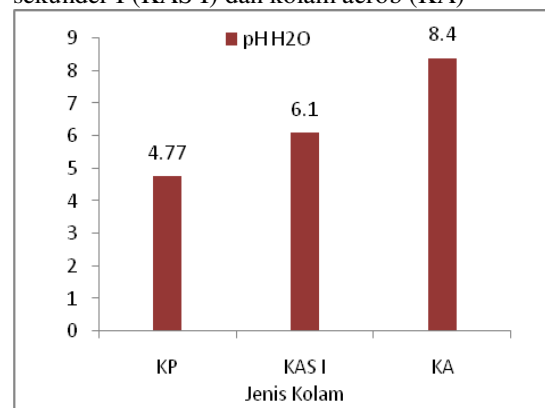
HASIL

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang dianalisis terdiri dari limbah dari kolam inlet ;

kolam pengasaman, kolam anaerob sekunder I dan kolam aerob (Gambar 2). Nilai pH Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) berfluktuasi dari masing-masing jenis kolam berkisar antara 4,77 sampai 8,40 . Nilai pH LCPKS pada kolam pengasaman (KP) tergolong bereaksi sangat masam, kolam anaerob sekunder I (KAS I) agak masam dan kolam aerob (KA) agak basa. Terjadi peningkatan pH dari KP ke KAS I sebesar 1,33 unit dan dari KAS I ke KA 2,30 unit (Gambar 3).

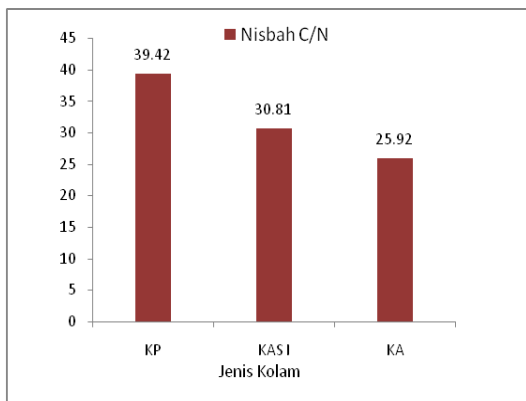
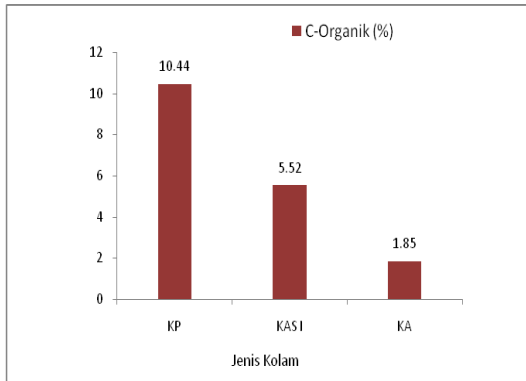


Gambar 2. Limbah cair pabrik kelapa sawit kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA)



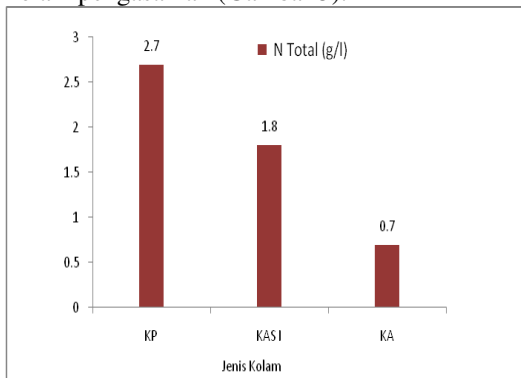
Gambar 3. Nilai pH LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA)

Kandungan C-organik LCPKS pada KP cukup tinggi sebesar 10,44%. Berjalannya waktu dan adanya perombakan bahan organik, kandungan C-organik pada KAS I menurun menjadi 5,52% dan C-organik pada KA sebesar 1,85% . Penurunan C-organik diikuti pula dengan penurunan nisbah C/N. Terjadi penurunan C/N dari KP ke KAS I sebesar 8,61 poin dan dari KAS I ke KA menurun sebesar 4,89 poin (Gambar 4).



Gambar 4. Kandungan karbon organik dan nisbah C/N LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

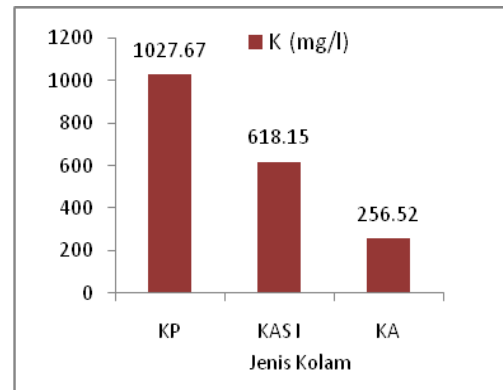
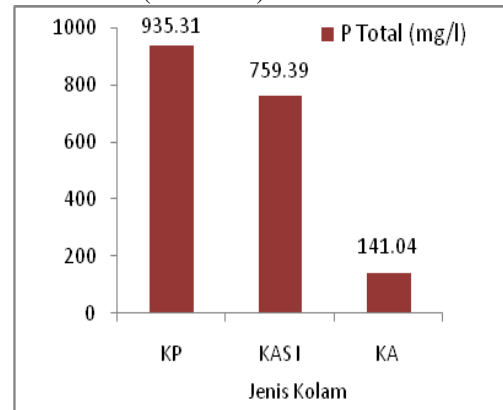
Kandungan N-Total LCPKS pada kolam pengasaman sebesar 2,7 g/l menurun sebesar 33,33% pada kolam anaerob sekunder I, selanjutnya kadar N menurun kembali dari 1,8 g/l di kolam anaerob sekunder I menjadi 0,7 g/l di kolam aerob atau menurun sebesar 74,07% bila dibandingkan dengan kadar N-Total pada kolam pengasaman (Gambar 5).



Gambar 5. Kandungan N total LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

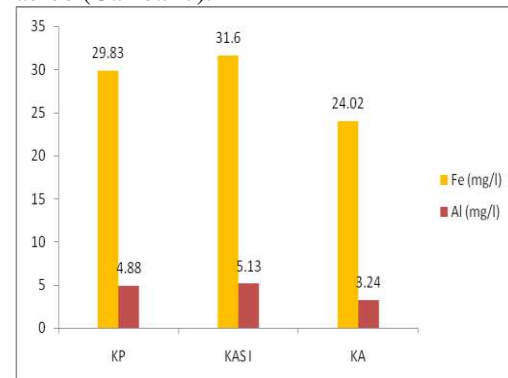
Kandungan P-Total LCPKS pada kolam pengasaman mengalami penurunan sejalan dengan perubahan jenis kolam, penurunan

terjadi sebesar 84,92% di kolam aerob. Begitu juga halnya dengan kadar K pada kolam pengasaman menurun sebesar 75,04% di kolam aerob (Gambar 6).



Gambar 6. Kandungan P-Total dan K LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

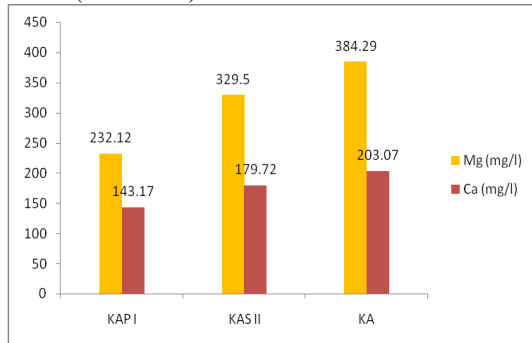
Kadar Al dan Fe LCPKS pada kolam pengasaman masing-masing 4,88 mg/l dan 29,83 mg/l mengalami penurunan sebesar 33,61% dan 5,81% setelah berada pada kolam aerob (Gambar 7).



Gambar 7. Kandungan Al dan Fe LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

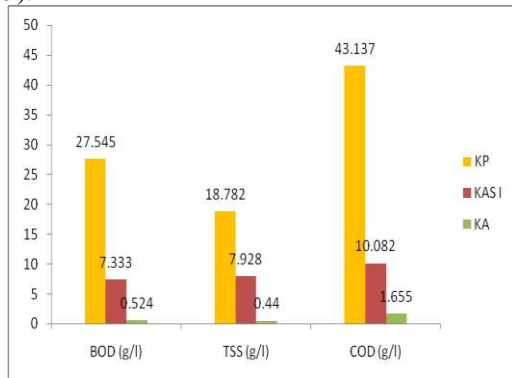
Kadar Mg dan Ca LCPKS pada kolam pengasaman masing-masing 232,12 mg/l dan

143,17 mg/l mengalami peningkatan sebesar 65,66% dan 41,84% setelah berada di kolam aerob (Gambar 8).



Gambar 8. Kandungan Ca dan Mg LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

Kandungan Biochemical Oxygen Demand (BOD) LCPKS pada kolam pengasaman sebesar 27,545 g/l menurun 98,01% setelah berada di kolam aerob yaitu menjadi 0,524 g/l. Penurunan BOD juga diikuti penurunan kandungan Total Suspended Solid (TSS), pada kolam pengasaman TSS sebesar 18,782 g/l menurun menjadi 0,440 g/l penurunan ini mencapai 97,66% di kolam aerob. Kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) LCPKS pada kolam pengasaman juga mengalami penurunan sebesar 96,16% setelah berada di kolam aerob (Gambar 9).



Gambar 9. Kadar BOD (Biochemical Oxygen

Tabel 1. Korelasi Beberapa Variabel Karakteristik LCPKS pada KP, KAS I dan KA

No	Variabel	Nilai Koefisien Korelasi				
		C-org	TSS	COD	BOD	pH
1	N-total	+ 0,939**	+ 0,928**	+ 0,681*	+ 0,913**	- 0,917**
2	P-total	+ 0,920**	+ 0,901**	+ 0,706*	+ 0,824**	- 0,978**
3	K	+ 0,987**	+ 0,977**	+ 0,876**	+ 0,948**	- 0,894**
4	Ca	-0,720*	-0,670*	-0,658*	-0,637*	+0,679*
5	Mg	-0,962**	-0,956**	-0,894**	-0,946**	+0,924**

Keterangan: ** Sangat Nyata $\alpha = 0,01$
* Nyata $\alpha = 0,05$

Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

Populasi bakteri dan fungi yang terdapat pada LCPKS berfluktuasi (Gambar 10), dari ke tiga jenis kolam jumlah populasi bakteri lebih banyak jika dibandingkan dengan fungi. Populasi bakteri pada kolam pengasaman sebesar 7,88 log spk , mengalami peningkatan di kolam anaerob sekunder I menjadi 9,38 log spk , selanjutnya menurun menjadi 8,36 log spk pada kolam aerob. Populasi fungi pada kolam pengasaman sebesar 6,26 log spk mengalami peningkatan menjadi 8,07 log spk pada kolam aerob.



Gambar 10. Populasi Bakteri dan Fungi (log spk ml⁻¹ limbah) LCPKS kolam pengasaman (KP), kolam anaerob sekunder I (KAS I) dan kolam aerob (KA).

Analisis multi korelasi variabel N total, P total dan K memperlihatkan bahwa terdapat korelasi positif sangat nyata dengan variabel C-organik, TSS, BOD, dan COD serta berkorelasi negatif dengan variabel pH pada LCPKS dari semua jenis kolam (Tabel 1). Penurunan kandungan C-organik, TSS, BOD dan COD akan menyebabkan terjadinya penurunan kadar N, P dan K LCPKS serta peningkatan pH pada KP, KAS I dan pada KA.

PEMBAHASAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit atau *crude palm oil* (CPO). Limbah cair tersebut merupakan *biosolid* organik berasal dari proses perebusan, klarifikasi dan hidrosiklon. Proses pengolahan LCPKS bertujuan agar dapat dimanfaatkan secara aman sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2003 tentang Pedoman Teknis Pemanfaatan Air Limbah Industri Pabrik Kelapa Sawit. Pengolahan LCPKS lebih sering dilakukan dengan sistem kolam. Sistem pengolahan ini melewati beberapa kolam pengolahan yaitu kolam pengasaman, kolam anaerob sekunder I dan Kolam aerob (Raharjo,2006).

Pengolahan LCPKS yang dilaksanakan di lokasi pengambilan sampel penelitian I dimulai pada kolam pendinginan (*cooling pond*) WPH 9 hari, kolam pengasaman (*acidification pond*) WPH 8 hari, kolam anaerob primer I dan II (*primary anaerob pond*) WPH 59 hari, kolam anaerob sekunder I s/d IV (*sekundery anaerob pond*) WPH 110 hari, dan kolam aerob (*aerob pond*) WPH 17 hari, selanjutnya ke kolam pengendapan (*sedimentation pond*) WPH 17 hari.

Kondisi pH LCPKS pada KP berada pada pH 4,77 kondisi ini dapat menekan perkembangan jamur dan bakteri. Keadaan ini dimungkinkan karena pada KP telah terjadi peningkatan asam-asam yang mudah menguap (*volatile fatty acid*) seperti asam asetat, asam butirat dan propionat (Ahmad, 2003). Perkembangan fungi dan bakteri akan meningkat masing-masing sebesar 19,04% dan 14,81%, dengan peningkatan pH LCPKS menjadi 6,1 pada KAS I (Gambar 10). Hal ini terjadi karena proses netralisasi terbentuknya buffer yang menetralkan pH, selanjutnya terus terjadi peningkatan ion hidroksi yang dapat meningkatkan pH pada KA mencapai 8,4. Menurut Waluyo (2009) pertumbuhan fungi dan bakteri optimum pada kisaran pH 6-7,7. Selanjutnya dijelaskan juga bahwa biodegradasi juga mempengaruhi perkembangan fungi dan bakteri. Biodegradasi secara sempurna akan menghasilkan CO₂, H₂O dan biomassa sel sedangkan biodegradasi tidak sempurna menghasilkan senyawa intermediet bersifat toksis, sehingga dapat mematikan mikroba yang melakukan proses degradasi.

Peningkatan pH dapat juga didukung karena peningkatan kadar Ca dan Mg. Hasil

penelitian I kadar Ca dan Mg LCPKS meningkat diikuti dengan peningkatan pH (Tabel 1). Hal ini karena Ca dan Mg merupakan kation basa yang dapat menekan konsentrasi kation-kation yang menyebabkan penurunan pH larutan. Ano dan Ubachi (2007) menjelaskan bahwa kation basa dibebaskan akan mengalami hidrolisis. Hidroksida membentuk reaksi dengan ion aluminium dapat larut pada larutan untuk menghasilkan Al(OH)₃ yang tidak larut. Hidroksida dari kalsium hidroksida juga bereaksi dengan ion hydrogen membentuk air.

Kandungan LCPKS terdiri dari bahan organik *biodegradable* dengan konsentrasi yang tinggi seperti lemak, protein dan selulosa yang akan mempengaruhi kandungan oksigen terlarut dan padatan tersuspensi (Baharudin *at al.*, 2009). Kondisi ini terlihat pada KP kadar C-organik mencapai 10,44% dan diikuti oleh tingginya kadar BOD (27,545 g/l), COD (43,137 g/l) dan TSS (18,782g/l). Bahan organik tersebut akan mengalami perombakan melalui proses hidrolisa, acidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis. Hal ini akan menyebabkan terjadinya penurunan bahan organik yang diikuti penurunan kadar BOD, COD, dan TSS serta nisbah C/N LCPKS di KAS I dan KA. Dijelaskan oleh Harahap (2009) bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit sebelum pengolahan mengandung C-organik dengan kadar sangat tinggi yaitu 33,4%. Selanjutnya Sriyono *at al.* (2005) menjelaskan bahwa peningkatan proses perombakan bahan organik pada limbah cair akan diikuti dengan penurunan BOD, COD, TSS dan nisbah C/N. Hasil analisis korelasi penelitian I (Tabel 1) memperlihatkan hubungan positif antara BOD, COD, TSS dan C-organik dengan kadar N total, P total dan K. Penurunan BOD, COD, TSS dan C-organik akan diikuti penurunan kadar N total, P total dan K pada kolam pengolahan LCPKS.

Senyawa N, P dan K di dalam LCPKS terdapat dalam bentuk terlarut tersuspensi atau berada di dalam sel organisme di dalam limbah, proporsinya tergantung degradasi bahan organik (Singh, 2010). Hasil penelitian I memperlihatkan bahwa kandungan N total, P total, dan K LCPKS dari KP ke KA mengalami penurunan masing-masing 74,07%, 84,92% dan 75,04% yang diikuti penurunan kadar BOD sebesar 98,01%. Hasil penelitian Simanjuntak (2009) diperoleh bahwa penurunan BOD setelah dilakukan pengolahan akan diikuti dengan penurunan kandungan unsur hara N, P dan K dari limbah cair pabrik kelapa sawit, dijelaskan pula bahwa kadar N pada kolam anaerob primer

II sebesar 1,034 g/l dan kadar P 0,361 g/l mengalami penurunan N sebesar 56,12% dan P 43,27% pada kolam anaerob sekunder II. Menurut Budianta (2005) BOD akan menurun sebesar 90,74% diikuti dengan penurunan kandungan unsur hara N P dan K pada LCPKS sampai 40% setelah dilakukan pengolahan standar pabrik pada kolam anaerob sekunder jika dibandingkan dengan sebelum dilakukan pengolahan.

Proporsi kadar unsur hara yang dihasilkan dari proses mineralisasi melalui degradasi bahan organik sangat tergantung dari kadar bahan organik dan proses degradasinya. Penurunan kadar N, P dan K terjadi karena adanya reduksi efluen limbah menjadi gas yang terbuang. Waluyo (2009) menjelaskan bahwa bakteri memanfaatkan bahan organik sebagai sumber makanan dari suatu rangkaian reaksi biokimia yang kompleks. Pada reaksi katabolisme, bahan organik dipecah untuk menghasilkan energi, sedangkan pada reaksi anabolisme, energi digunakan untuk sintesis sel baru.

Komposisi kimia yang dikandung dalam LCPKS sangat bervariasi tergantung pada jenis limbah (kadar bahan segar dan proses pengolahan). Hasil penelitian I memperlihatkan bahwa LCPKS pada KP, KAS I dan KA mengandung Al 3,24 – 5,13 mg/l dan Fe 24,02 – 31,60 mg/l. Kadar Al dan Fe mengalami penurunan sebesar 33,61% dan 5,81% setelah berada di KA (Gambar 7). Unsur Al dan Fe di dalam LCPKS bersumber dari bahan *organic biodegradable* dan bahan *organic unbiodegradable*, yang dapat berperan sebagai nutrisi mikrobia limbah cair. Purwoko (2007) menjelaskan bahwa Fe dibutuhkan sebagai nutrisi bakteri fermentasi sebesar 0,023 mg/g. Hasil penelitian Ma (2000) mendapatkan bahwa LCPKS mengandung Fe sebesar 46,5 mg/l.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan bahwa kadar unsur hara N, P, K, COD, BOD, TSS dan C-organik LCPKS kolam pengasaman lebih tinggi dari pada kolam anaerob sekunder I dan kolam aerob, sedangkan kadar Al dan Fe bervariasi. Kadar Ca dan Mg lebih tinggi terdapat pada kolam aerob. LCPKS kolam pengasaman memiliki pH masam, kolam anaerob sekunder I agak masam dan kolam aerob agak alkalis. Total fungi tertinggi pada kolam aerob dan total bakteri tertinggi pada kolam anaerob sekunder I.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A, Setiadi, T, Syafila, M, dan Liang, O. B.

2000. Bioreaktor berpenyekat anaerob untuk pengolahan limbah industri yang mengandung minyak dan lemak. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. Universitas Diponegoro, Semarang, 26-27 Juli.
- Ano, A. O. and C. I. Ubochi. 2007. Neutralization of soil acidity by animal manures: mechanism of reaction. *Africa Journal Biotechnol.* 6(4):364-368.
- Budianta, D. 2005. Potensi limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai sumber hara untuk tanaman perkebunan. *Dinamika Pertanian.* 20(3):273-282.
- Babu, B. R., Meera, K. S., Venkatesan, P., and Sunandha, D. 2009. Removal of fatty acids from palm oil effluent by combined electro-fenton and biological oxidation process. *Water Air Soil Pollut.* 211 : 203-210.
- Baharuddin, A. S., Wakisaka, M., Shirai, Y., Abd. A. S., Rahman, N. A., Hassan, M. A. 2009. Co-composting of empty fruit bunches and partially treated palm oil mill effluents in pilot scale. *International Journal Agric Res* 4(2):69-78
- Darsono, V. 2009. Produksi Biogas melalui Pemanfaatan Limbah Cair pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Digester Anaerob. Universitas Bengkulu. <http://www.google.com>. (diakses 23 Desember 2011).
- Fahmi, A dan Hanudin, E. 2008. Pengaruh kondisi redoks terhadap stabilitas kompleks organik-besi pada tanah sulfat masam. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan.* 8(1):49-55.
- Harahap, F. M. 2009. Pembuatan biogas dari limbah cair kelapa sawit sebagai sumber energi listrik (tesis). Universitas Sumatera Utara. Medan
- Nasution, D. Y. 2004. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari kolam akhir (final pond) dengan proses koagulasi melalui elektrolisis. *Jurnal Sains Kimia.* 8(2): 38-40.
- Ma, A. N. 2000. Management of palm oil industrial effluent. In: Basiron, Y., B. S. Jailani and k. w. Chan. *Advances in oil palm research.* Vol II. Malaysian palm oil board, Ministry of primary industrie, Malaysia.
- Muzar, A. 2005. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap tanah ultisol dan pengaruhnya pada tanaman kedelai. *Jurnal Agrivigor.* 8(1):24-32.

- Pamin.K, Siahaan.M.M, dan Tobing.P.L.
Pemanfaatan limbah cair PKS pada perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Makalah Lokakarya Nasional Pemanfaatan Limbah Cair cara Land Application, 26-27 November 1996. Jakarta.
- Raharjo,P.N. 2009. Studi banding teknologi pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 10(1):9-18.
- Raharjo.P.N. 2006. Teknologi pengelolaan limbah cair yang ideal untuk pabrik kelapa sawit. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 2(1) : 66-72.
- Rashid.S.S, Alam.Z, Ismail.M, Karim.A, Salleh.M.H. 2009. Management of palm oil mill effluent through production of cellulases by filamentous fungi. *World J Microbiol Biotechnol* . 25:2219–2226.
- Rachman. S.2002. Penerapan Pertanian Organik . Edisi 5. Kanisus Jakarta. Pp 177-184.
- Singh.R.P, Ibrahim.M.H, Esa.N, and Iliyana.M.S. 2010. Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice. *Environ Sci Biotechnol* . 9:331–344
- Simanjuntak.H. 2009. Studi korelasi antara BOD dengan unsur hara N, P dan K dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit . Tesis. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan.
- Widiastuti.R, Suryanto.D, Mukhlis dan Wahyuningsih.H. 2006. pengaruh pemanfaatan limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit sebagai pupuk terhadap biodiversitas tanah. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. <http://www.google.com>. (diakses 13 Desember 2011).