Forum Pascasarjana (1995) 18 (1) : 25-34.

KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI GAS BIO*)

(Study of Utilization of Palm Oil Mill Effluent for Biogas Production)

Sidharta Sahirman), Irawadi, E. Gumbira Said, A. Basith***)**

ABSTRACT

In the areas where palm oil is grown and processed, the wastes contribute significantly to water pollution. Three possible ways of controlling the pollution are purification, utilization and land fill of Palm Oil Mill Effluents (POME). Treatment processes for POME are costly and give no financial benefit. Anaerobic digestion coupled with utilization and land fill seems to be the most promising possibilities. Anaerobic digestion technology is one of the keys to gain efficient fuel gas production.

The effect of three factors on biogas production, namely temperature, inoculum concentrations and percent of dilution of POME, were studied. COD, TS, TVS degradation and biogas production were observed during the anaerobic process.

The highest biogas production was achieved at 35°C and 12.5% inoculum on POME without dilution. In batch fermentation total biogas 8.4 l and a yield of 2.40 l/g. biomass were obtained. In the anaerobic process, the following kinetic parameters: growth rate of 0.06 g/l.d, biogas production rate of 0.14 l/l.d were achieved at 30 days fermentation.

PENDAHULUAN

Pengembangan agroindustri, khususnya dalam bidang usaha kelapa sawit, mendorong pertambahan areal pertanaman yang diikuti oleh pembangunan pabrik kelapa sawit dan industri hilirnya. Sampai akhir tahun 1989, Indonesia telah memiliki 74 pabrik minyak kelapa sawit, dengan kapasitas olah 2.356 ton tandan buah segar per jam. Setiap ton minyak kasar (Crude Palm Oil) yang diproduksi akan menghasilkan 2,5 ton Limbah Pabrik Kelapa Sawit (LPKS), sehingga diperkirakan terdapat sekitar 44.400 ton LPKS perhari. Jumlah di atas setara dengan buangan 17,7 juta penduduk (Loebis dan Tobing, 1988). Bahan buangan cair yang mengandung *Biologycal Oxygen Demand* (BOD) tinggi (rata-rata 25.000 mg/liter) tidak mungkin dilepaskan ke badan air tanpa penanganan terlebih dahulu.

Pada beberapa PKS besar di Indonesia, antara lain PKS Kertajaya di Banten, PKS Bekri di Lampung dan PKS Betung di Palembang, LPKS yang dihasilkan diolah dengan sistem kolam. Metode pengolahan terdiri dari tiga tahap, yaitu pengendapan, kolam anaerobik dan kolam aerobik (Kusarpoko, 1994). Penanggulangan limbah dengan metode tersebut membutuhkan lahan yang luas dan biaya penanganan yang tinggi, tanpa adanya manfaat lain yang diperoleh.

---

*) Penelitian dibiayai oleh TMPD dan Proyek Peningkatan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat.

**) Mahasiswa program Magister, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Program Pasca Sarjana, IPB.

***) Staf pengajar Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Program Pasca Sarjana, IPB.

Penanggulangan dan pemanfaatan LPKS antara lain dapat dilakukan dengan cara fermentasi anaerobik. Pemanfaatan LPKS diharapkan dapat menekan biaya pengolahan limbah, karena menghasilkan pupuk dan gas bio yang mempunyai nilai ekonomi, selain usaha pengendalian limbah itu sendiri. Pemanfaatan LPKS untuk produksi gas bio diharapkan merupakan salah satu cara pemecahan dampak negatif terhadap lingkungan.

Gas bio terbentuk melalui proses fermentasi anaerobik. Selama fermentasi LPKS akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi gas metana dan karbondioksida. Hasil sampingan berupa cairan kental (lumpur pekat) dapat digunakan sebagai pemantap tanah. Pupuk hasil samping tersebut dibandingkan dengan hasil pengkomposan konvensional lebih kaya kandungan nitrogen dan fosfornya, serta bebas dari bau menyengat dan parasit (Yeow dan Zakaria, 1991).

Total gas bio sebesar 6 liter diperoleh Kusarpoko (1994) dengan menggunakan LPKS sebagai substrat setelah proses anaerobik pada suhu ruang dan tanpa pengadukan selama 30 hari. Dengan substrat LPKS yang diencerkan, Hartadi (1992) mendapatkan total gas bio sebesar 0,23 - 1,75 liter selama 5 hari fermentasi. Perbedaan total gas bio yang dihasilkan diduga karena adanya perbedaan perlakuan.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari lebih lanjut pemanfaatan LPKS sebagai bahan baku produksi gas bio. Penelitian terutama difokuskan kepada pengaruh berbagai faktor terhadap rendemen gas bio yang dihasilkan, yaitu faktor suhu, jumlah inokulan dan tingkat pengenceran substrat. Ketiga faktor tersebut diduga sangat berpengaruh terhadap rendemen gas bio dari LPKS, seperti yang dijumpai pada fermentasi anaerobik dengan substrat kotoran sapi (FAO, 1981). Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap faktorial. Penelitian ini dilakukan untuk tujuan pemantapan teknologi proses dalam skala laboratorium.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPKS, kotoran sapi, serta bahan-bahan kimia untuk analisis. LPKS diperoleh dari Pabrik Minyak Sawit di PKS Kertajaya, Malingping, Banten Selatan, sedangkan bahan-bahan lain diperoleh dari Bogor.

Selain bioreaktor untuk produksi gas bio dan peralatan gelas untuk analisa, diperlukan juga sentrifusi, gelas ukur, penangas air, pH meter, dan Gas Kromatograf Hitachi.

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan selama sebelas bulan, yaitu dari bulan Mei 1993 hingga Maret 1994. Penelitian dilaksanakan di tiga tempat, yaitu Laboratorium Bioindustri Jurusan

Teknologi Industri Pertanian (TIN), Fateta - IPB, Laboratorium DIT 2, Jurusan TIN, Fateta - IPB, dan Laboratorium Balai Penelitian Tanaman Pangan, Bogor.

Prosedur Percobaan

Percobaan Pendahuluan

Pada tahapan ini ditinjau pengaruh faktor agitasi dan pH awal terhadap rendemen gas bio. Fermentasi dengan inokulan 25 persen dan LPKS tanpa pengenceran pada erlenmeyer bervolume kerja 125 ml digunakan untuk membandingkan jumlah gas bio yang dihasilkan pada berbagai perlakuan.

Digunakan dua taraf perlakuan pH awal, yaitu tanpa pengaturan pH awal dan pengaturan pH awal 7.0 dengan $CaCO_3$, dan dua taraf pengadukan, yaitu pengadukan 100 rpm dan tanpa pengadukan. Hasil terbaik yang diperoleh pada tahapan ini digunakan sebagai parameter proses pada penelitian utama.

Percobaan Utama

Pada tahapan ini dikaji pengaruh parameter yang menunjang pencapaian suatu proses pemanfaatan LPKS yang menghasilkan total gas bio terbesar, yaitu suhu, jumlah inokulan, dan persen dilusi masukan. Fermentasi anaerobik **skala laboratorium** yang dilakukan secara **curah** digunakan untuk membandingkan jumlah metana yang dihasilkan pada berbagai kombinasi perlakuan.

Tata alir fermentasi yang dilakukan merupakan modifikasi metode Vismanath *et al.* (1992). Percobaan dengan berbagai perlakuan yang telah ditentukan dilakukan dengan menggunakan tabung pencerna bervolume kerja 2,0 liter dan waktu retensi 30 hari.

Percobaan dilakukan dalam reaktor baja tahan karat bervolume total 2,5 liter dan volume kerja 2,0 liter, yang isinya dapat teraduk sempurna. Pengaduk dibuat dari baja tahan karat diputar dengan kecepatan 100 rpm.

Reaktor yang digunakan adalah modifikasi dari wadah terbuat dari baja tahan karat yang tersedia di pasaran, berbentuk silinder dengan diameter sekitar 15 cm. Tabung pencerna gas bio dari plastik maupun karet tidak direkomendasikan (Nazir, 1991).

Wadah baja tahan karat langsung digunakan sebagai tabung bioreaktor dengan modifikasi pada kran pengambilan sampel (sampling port). Tutup bioreaktor dibuat dari lempengan alumunium, dipasang dengan pengait baut. Pemasangan tutup dilakukan dengan menggunakan *seal* karet kedap udara. Selain dapat dibuka dari bautnya, tutup tersebut dirancang untuk dapat dibuka dengan tutup ulir. Tutup bioreaktor tersebut dilengkapi dengan pengaduk yang memiliki bearing yang kedap udara pula. Corong pemasukan substrat dan keluaran gas terbuat dari pipa yang dipasang dengan ulir. Lubang tempat termometer dilengkapi dengan *seal* karet (rubber seal).

Analisis

Selama proses fermentasi setiap lima hari diambil sampel lumpur untuk dianalisa pH, kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Solid* (TS), dan *Volatile Solid* (VS) nya. Analisis COD, BOD, dan TS dilakukan sesuai metode APHA (1985). Volume gas yang dihasilkan diamati setiap hari.

Analisis komposisi gas dilakukan setiap lima hari. Sampel untuk analisis tersebut diambil dengan menggunakan syringe bervolume satu ml. Analisis komposisi gas dilakukan dengan Gas Kromatograf Hitachi 263 - 50, menggunakan kolom Porapak Q, diameter 1/8 inci dan panjang 3 m, sedangkan detektor yang digunakan adalah detektor ionisasi nyala (FID/Flame Ionization Detector). Hasil pengukuran area disajikan melalui fasilitas integrator Hitachi D- 2500 Chromato Integrator. Parameter-parameter lain ditentukan dengan metode standard.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan untuk penelitian utama adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan tiga faktor. Digunakan dua taraf perlakuan suhu, yaitu suhu kamar $(27 \pm 2)^oC$ dan suhu $(35 \pm 1)^oC$, jumlah inokulan dua taraf, yaitu 1/4 dan 1/8 volume kerja bioreaktor, serta tingkat pengenceran adalah 0 persen dan 25 persen (limbah: air = 1 : 0 dan 3 : 1).

Selain itu dipelajari pula parameter-parameter fermentasi gas bio dari berbagai perlakuan yang dicobakan, meliputi laju pembentukan biomassa (r_x), laju degradasi COD dan TVS (r_s dan r_h), laju pembentukan gas bio (r_p), dan rendemen produk terhadap substrat maupun terhadap biomassa ($Y_{p/s}$ dan $Y_{p/x}$). Kedua alat bantu tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kombinasi perlakuan terbaik.

Nilai r_x, r_s, r_p, dan r_h ditentukan sebagai kemiringan tangen kurva percobaan yang menggambarkan variasi waktu dari konsentrasi biomassa, substrat, produk dan COD. Rumusan matematik untuk penentuan nilai-nilai tersebut adalah sebagai berikut:

$r_x = dX/dt$

$r_s = dS/dt$

$r_p = dP/dt$

$r_h = d[TVS]/dt$

Konsentrasi biomassa yang diproduksi dihitung menurut rumusan Traverso dan Cecchi, 1988. Adapun konsentrasi produk dinyatakan sebagai G/V, dimana G adalah jumlah gas metana yang diproduksi dan V adalah volume cairan pada media pertumbuhan.

Nilai $Y_{p/s}$ dan $Y_{p/x}$ diperoleh dengan rumusan sebagai berikut:

$Y_{p/x} = dP/dX$

$Y_{p/s} = dP/dS$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan Pendahuluan

Hasil percobaan pendahuluan dengan erlenmeyer volume kerja 125 ml (erlenmeyer) menunjukkan bahwa pengaturan pH awal sangat berpengaruh terhadap total biogas yang dihasilkan. Pada percobaan dengan pengaturan pH awal pada nilai 7 dan pengadukan 100 rpm dihasilkan volume gas total 528 ml (tekanan 1 Atmosfir pada suhu kamar) selama 4 minggu fermentasi. Sebaliknya, tanpa pengaturan pH awal total gas bio yang dihasilkan selama periode tersebut hanyalah setengahnya. Berdasarkan hasil tersebut maka pemantapan skala laboratorium selanjutnya dilakukan dengan pengaturan pH awal.

Pada percobaan dengan pengaturan pH = 7, didapatkan perlakuan dengan pengadukan memberi hasil biogas lebih banyak dibandingkan perlakuan tanpa pengadukan. Hal ini diduga karena intensitas kontak antara mikroorganisme dan substrat jauh lebih baik bila dibandingkan perlakuan tanpa pengadukan. Callander dan Barford (1983) mengemukakan bahwa pengadukan dimaksudkan agar terdapat kontak yang baik antara limbah segar dan bakteri pencerna yang aktif dan menghindari akumulasi dari padatan terbang ataupun padatan mengendap yang akan mengurangi volume keefektifan digester dan menimbulkan 'plugging' gas dan lumpur keluaran. Dengan demikian produksi metana di negara-negara berkembang umumnya dilakukan pada tangki berpengaduk kontinyu pada suhu 30- 37^{o}C. Pengadukan dilaporkan meningkatkan produksi gas hingga 80 persen dibandingkan tanpa pengadukan (FAO, 1981). Oleh karena itu percobaan skala laboratorium selanjutnya dilakukan dengan fermentor bervolume kerja dua liter yang berpengaduk kontinyu dengan kecepatan putar 100 rpm.

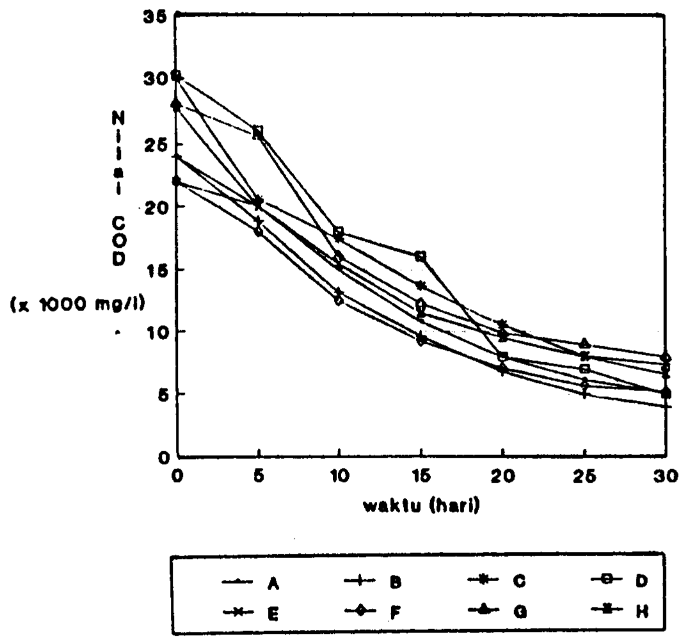
Percobaan Utama

Hasil percobaan dengan delapan kombinasi perlakuan menunjukkan adanya keragaman hasil terhadap berbagai parameter yang diamati, yaitu degradasi TS, TVS, dan COD.

Degradasi COD pada berbagai perlakuan berkisar antara 70,0 hingga 83,4 persen. Profil perubahan nilai COD disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan analisis sidik ragam diketahui bahwa hanya faktor pengenceran dan suhu yang memiliki pengaruh sangat nyata terhadap persen penurunan COD. Semua interaksi maupun pengaruh faktor inokulan dapat diabaikan. Nilai rataan persen degradasi pada faktor-faktor utama menunjukkan bahwa pengenceran 0 persen dan suhu 35^{o}C lebih baik dibandingkan dengan level lain dalam persen degradasi COD.

Degradasi TS berkisar 45,4 - 77,2 persen, sedangkan degradasi TVS berkisar antara 31,6 - 83,4 persen. Profil perubahan nilai TS dan TVS pada berbagai perlakuan disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

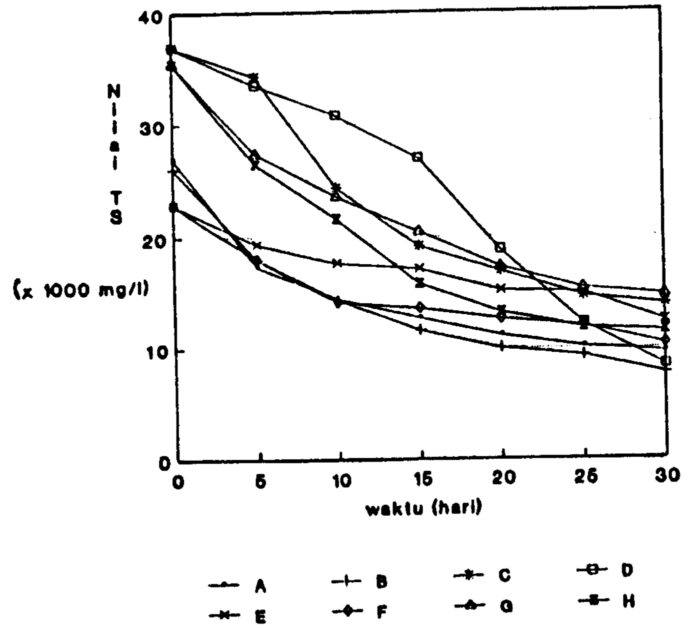


A : 0 %, inokulan 12,5 %, ruang
B : 0%, inokulan 12,5 %, 35°C
C : 0 %, inokulan 25 %, ruang
D : 0%, inokulan 25 %, 35°C
E : 25 %, inokulan 12,5 %, ruang
F : 25 %, inokulan 12,5 %, 35° C
G : 25 %, inokulan 25 %, ruang
H : 25 %, inokulan 25 %, 35°C

Gambar 1. Profil perubahan nilai COD pada berbagai perlakuan
Figure 1. The effect of different treatments on COD values

Sidik ragam pada parameter persen degradasi TS dan TVS menunjukkan adanya pengaruh nyata dari semua faktor dan interaksinya. Hasil tersebut menjelaskan bahwa penurunan TS dan TVS tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor utama secara mandiri tapi lebih dipengaruhi oleh cara bagaimana kombinasi pengaruh- pengaruh utama diberikan. Nilai rataan parameter tersebut menunjukkan bahwa kombinasi tiga faktor: suhu 35°C, inokulan 25 persen dan tanpa pengenceran (perlakuan D) memberi hasil yang lebih baik daripada kombinasi lain terhadap persen degradasi TS dan TVS. Kombinasi terbaik sesudah itu adalah perlakuan suhu 36°C, inokulan 12,5 persen dan tanpa pengenceran (perlakuan B). Sedangkan berdasarkan nilai rataan persen degradasi COD, kedua perlakuan tersebut (B dan D) dapat digolongkan dalam kelas yang sama.

Laju pertumbuhan biomassa (r_x) pada perlakuan D lebih tinggi daripada perlakuan lain. Tingginya nilai tersebut diikuti dengan tingginya laju hidrolisis COD dan TVS (r_h dan r_s) selama proses fermentasi berjalan. Hal tersebut nampak pula pada tingginya total degradasi COD, TS, dan VS dari perlakuan ini. Sedangkan pada laju pembentukan produk (r_p) ditemukan fenomena yang mirip dengan total degradasi COD, TS, dan TVS.

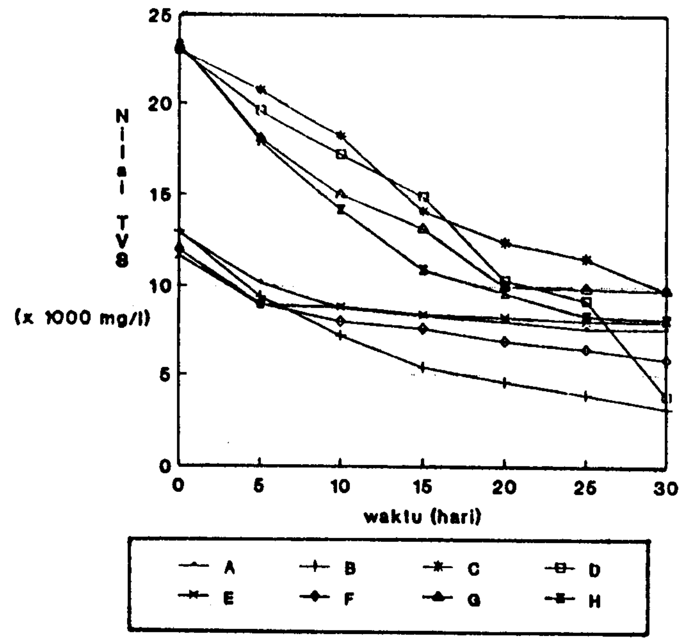


A : 0 %, inokulan 12,5 %, ruang
B : 0 %, inokulan 12,5 %, 35°C
C : 0 %, inokulan 25 %, ruang
D : 0 %, inokulan 25 %, 35°C
E : 25 %, inokulan 12,5 %, ruang
F : 25 %, inokulan 12,5 %, 35°C
G : 25 %, inokulan 25 %, ruang
H : 25 %, inokulan 25 %, 35°C

Gambar 2. Profil perubahan nilai TS pada berbagai perlakuan
Figure 2. The effect of different treatments on TS values

Perlakuan dengan suhu 35°C lebih baik daripada suhu ruang dan perlakuan tanpa pengenceran lebih baik daripada pengenceran 25 % pada laju pembentukan biogas. Namun laju pembentukan produk yang lebih tinggi diperoleh bila digunakan tingkat inokulan 12.5 persen. Hal ini diduga karena kurang setimbangnya proses perombakan bila digunakan tingkat inokulan 25 persen. Akibat lebih lanjut nilai $Y_{p/x}$ perlakuan B> $Y_{p/x}$ perlakuan D.

Laju produksi gas tertinggi dari penelitian ini dicapai pada perlakuan B, yaitu sebesar 0.139 l/l. hari (pada tekanan 1 Atm., suhu ruang) selama masa fermentasi 30 hari. Pada laju puncak (10 hari pertama) nilai laju pembentukan produk (r_p) sebesar 0.348 l/l.hari. Rendemen produk terhadap substrat yang digunakan ($Y_{p/s}$) = 0.452 l biogas/g VS. Profil pembentukan gas bio selama masa fermentasi disajikan pada Gambar 4. Adapun nilai parameter kinetika selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

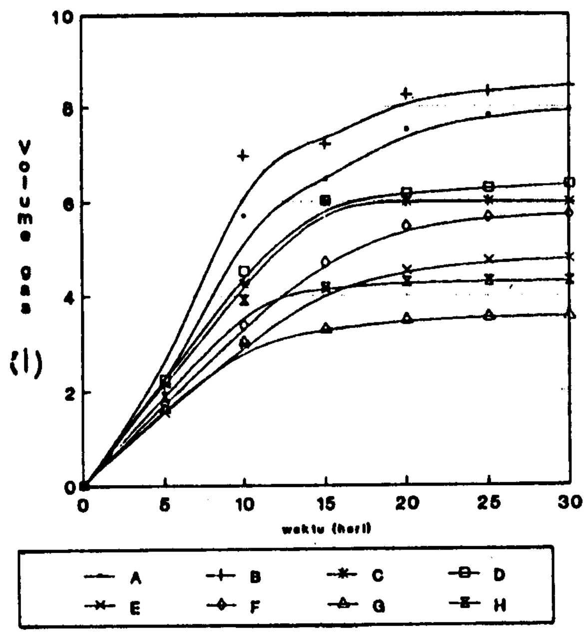


A : 0 %, inokulan 12,5 %, ruang
C : 0 %, inokulan 25 %, ruang
E : 25 %, inokulan 12,5 %, ruang
G : 25 %, inokulan 25 %, ruang
B : 0%, inokulan 12,5%, 35°C
D : 0%, inokulan 25 %, 35°C
F : 25 %, inokulan 12,5 %, 35°C
H : 25 %, inokulan 25 %, 35°C

Gambar 3. Profil perubahan nilai TVS pada berbagai perlakuan
Figure 3. The effect of different treatments on TVS values

Tabel 1. Nilai parameter kinetika untuk berbagai perlakuan
Table 1. Kinetic parameters for 8 treatments

	A	B	C	D	E	F	G	H
r_x (g biomasa/l.hari)	0,059	0,058	0,056	0,083	0,052	0,049	0,064	0,052
r_h (g COD/l.hari)	0,065	0,671	0,713	0,883	0,544	0,574	0,711	0,669
r_s (g TVS/l.hari)	0,211	0,308	0,460	0,608	0,096	0,176	0,445	0,496
r_p (l biogas/l.hari)	0,134	0,139	0,098	0,103	0,079	0,097	0,054	0,065
$Y_{p/s}$ (l biogas/g VS)	0,632	0,452	0,021	0,169	0,824	0,549	0,121	0,130
$Y_{p/x}$ (l biogas/g biomasa)	2,251	2,398	1,754	1,233	1,512	1,955	0,845	1,235



A : 0 %, inokulan 12,5 %, ruang
C : 0 %, inokulan 25 %, ruang
E : 25 %, inokulan 12,5 %, ruang
G : 25 %, inokulan 25 %, ruang

B : 0 %, inokulan 12,5 %, 35°C
D : 0 %, inokulan 25 %, 35°C
F : 25 %, inokulan 12,5 %, 35°C
H : 25 %, inokulan 25 %, 35 °C

Gambar 4. Profil pembentukan gas bio
Figure 4. The pattern of biogas production

Secara umum nilai rendemen produk terhadap substrat yang didegradasi pada penelitian ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan substrat sejenis (Hartadi, 1992; Kusarpoko, 1994), meskipun sedikit rendah dibandingkan dengan substrat yang berbeda. Varel *et al.* (1980), misalnya, berhasil mendapatkan rendemen produk terhadap substrat (Yp/s) bernilai 0,19 l/g VS untuk suhu 30°C dan 0,16 untuk suhu 35°C. Pada fermentasi kotoran sapi secara semi kontinyu. Vismanath *et al.* (1992) dengan menggunakan substrat yang sama dan suhu 30°C mendapatkan nilai Yp/s sebesar 0,6 l/g. VS. Puhakka dan Alavakeri (1992) mendapatkan nilai Yp/s = 0.57 l/g.VS pada fermentasi pulp kraft dengan reaktor 2500 liter yang bersifat semi kontinyu.

Gas bio yang dihasilkan pada rangkaian penelitian ini mengandung metana 54 - 78 persen, tergantung dari perlakuan yang diberikan. Kandungan metan gas bio dari perlakuan B adalah 74,6 persen, sedangkan pada perlakuan D adalah 54,0 persen. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Loebis (1977) bahwa gas bio yang dihasilkan dari LPKS umumnya mengandung metana 60 - 70 persen, dan jauh lebih baik daripada hasil Kusarpoko (1994) yang mendapatkan kandungan metan 6 - 12 persen saja.

Total degradasi COD, TS, dan TVS tertinggi dari penelitian yang dilakukan berturut-turut sebesar 83,40, 77,17, dan 83,36 persen (perlakuan D), dengan nilai COD, TS, TVS akhir sebesar 5.000 ppm, 8400 ppm dan 3.820 ppm. Total degradasi dari perlakuan B berturut-turut sebesar 83,30, 70,54, dan 75,76 persen. Hasil degradasi tersebut jauh lebih baik daripada yang diperoleh Mata Alvarez *et al.* (1992) dan Puhakka dan Alavakeri (1992), meskipun tidak sebaik yang diperoleh Prasad (1991).

Mata Alvarez *et al.* (1992) mendapatkan degradasi TVS 46 - 54 % (TVS akhir 15 - 18 ribu ppm) dari penelitian yang dilakukannya terhadap limbah-limbah buah dan sayur; Puhakka dan Alavakeri (1992) mendapatkan nilai median degradasi VS sebesar 40 persen (median VS akhir 19.560 ppm) pada fermentasi metana dari limbah cair penggilingan bubur kraft. Penelitian yang dilakukan Prasad (1991) terhadap fermentasi limbah cair pabrik kertas berbahan baku bagase berhasil mereduksi 90 persen nilai COD. Fermentasi dilakukan pada reaktor bervolume kerja 4 l, semi kontinyu, suhu 37°C, dan pengaturan pH awal = 7.0 dengan $CaCO_3$.

Namun, sebagaimana penelitian-penelitian tersebut nilai keluaran COD akhir masih jauh lebih tinggi daripada nilai maksimum yang diperkenankan (Baku mutu limbah cair LPKS menurut Keputusan MenKLH no.03/MenKLH/II/1991 menyebutkan kadar maksimum COD 700 mg/l, TSS 300 mg/l, pH 5 - 9, NH3-N 20 mg/l, minyak dan lemak 30 mg), karenanya perlu penanganan lebih lanjut. Penggunaan lumpur keluaran untuk pemantap tanah menjadi salah satu alternatif. Menurut Yeow dan Zakaria (1991) komposisi lumpur keluaran pencernaan anaerobik jauh lebih baik daripada komposisi limbah asal untuk tujuan tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan sidik ragam terhadap parameter persen degradasi COD, TS, dan TVS diketahui bahwa perlakuan B (suhu 35°C, substrat tanpa pengenceran, inokulan 12,5 persen) dan D (suhu 35°C, substrat tanpa pengenceran, inokulan 25 persen) lebih baik daripada perlakuan lain yang dicobakan. Tingkat degradasi COD, TS, dan TVS pada perlakuan B berturut-turut sebesar 83,3 70,54 dan 75,76 persen, sedangkan pada perlakuan D adalah sebesar 83,40, 77,17, dan 83,36 persen. Jadi, perlakuan D lebih baik daripada perlakuan B dalam degradasi TS dan TVS. Namun, laju pembentukan produk dan total produk tertinggi dicapai oleh perlakuan B, yaitu sebesar 0,139 l/l. hari dan 8,4 l.

Berdasarkan pertimbangan lebih rendahnya nilai akhir COD, dan lebih tingginya produksi gas dan komposisi metan yang dihasilkan oleh perlakuan B (nilai akhir COD adalah 4.000 ppm dan kandungan metan dari gas bio yang dihasilkan sebesar 74,6 persen), maka perlakuan tersebut disarankan untuk diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

APHA. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Health Association Inc., New York.

Calander, I.J. dan J.P. Barford. 1983. Improved Anaerobic Digestion of Pig Manure Through Increased Retention of Substrate and Bacterial Solids. Biotech.Lett. 5(3): 147 - 152.

FAO. 1981. China : Recycling of Organic Wastes in Agriculture. FAO Soils Bulletin 40: 47 - 63.

Hartadi, D. 1992. Studi Pembuatan Biogas dan Arang Aktif dari Limbah Perkebunan dan Industri Kelapa Sawit. Skripsi. Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Kusarpoko, B. 1994. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Anaerobik Perombak Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Tesis. PPS-IPB, Bogor.

Loebis, B. 1977. Bahan Buangan Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit. Buletin. BPP Medan 8(2) : 55 - 67.

Loebis, B. dan P.L. Tobing. 1988. Potensi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit. Prosiding Seminar Penelitian Pasca Panen Pertanian 1 - 2 Februari 1988, Bogor.

Mata-Alvarez, J. dan P. Llabres. 1992. Anaerobic Digestion of The Barcelona Central Food Market Organis Wastes : Experimental Study. Bioresource Tech. 39 (1) : 39 - 48.

Nazir, M. 1991. Biogas Plants Construction Technology for Rural Areas. Bioresources Tech. 35: 283 - 289.

Prasad, D.Y. 1991. Biogas Generation from Bagasse-Based Paper- Mills by Anaerobic Digestion. J. Chem. Tech. Biotechnol. 51: 515 - 524.

Puhakka, J.A. dan Alavakeri. 1992. Anaerobic Treatment of Kraft Pulp - Mill Waste Activated Sludge : Gas Production and Solids Reduction. Bioresource Tech. 39(1) : 61 - 68.

Traverso, P.G. and F. Cecchi. 1988. Anaerobic Digestion of the Shredded Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Biomass 16 : 97 - 106.

Varel, V.H., A.G. Hashimoto, and Y.R. Chen. 1980. Effect of Temperature and Retention Time on Methane Production from Beef Cattle Waste. Appl. Env. Microbiol. 40 (2): 217 - 222.

Vismanath, P., S. S. Devi and K. Nand, 1992. Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Processing Wastes for Biogas Production. J. Bioresource Tech. 40 (1): 43 - 48.