



PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGUNAKAN ANAEROBIC FIXED BED REACTOR

M. Ansori Nasution, Tjahjono Herawan, dan Vita Dhian Lelyana

Abstrak Upaya pengendalian dan pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) perlu dilakukan dengan mengaplikasikan teknologi yang lebih efisien dan efektif. Salah satu teknologi yang berkembang saat ini adalah dengan proses anaerobik tertutup sehingga dapat menangkap biogas yang dihasilkan selama proses. Pada penelitian ini digunakan *anaerobic fixed bed reactor* (reaktor anaerobik tertutup) untuk mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit yang memiliki kandungan COD sekitar 28.000 mg/l hingga 34.000 mg/l. Di dalam reaktor terjadi proses fermentasi LCPKS oleh mikroba secara anaerob dan menghasilkan biogas yang salah satunya adalah gas metana. LCPKS diumpungkan dari bawah reaktor bervolume 10.000 liter dengan variasi *loading rate* COD sebesar 2 kg COD/(m³.hari) dan 4 kg COD/(m³.hari). Hasil pengujian parameter menunjukkan persentase penurunan rata-rata COD sebesar 90%, pH limbah keluaran reaktor 6-7 dan produksi gas metan tertinggi terjadi pada *loading rate* 2 kg COD/(m³.hari) minggu ke-3 dengan volume 9.561 m³ yang setara dengan 14.342 liter bensin atau 16.254 liter solar.

Kata kunci: limbah cair pabrik kelapa sawit, anaerobic fixed bed reactor, loading rate, COD, biogas.

Abstract Technology for palm oil mill effluent (POME) treatment should be developed to be more efficient and effective. One of the developed technology is anaerobic process to capture biogas. This research used anaerobic fixed bed reactor for POME treatment with COD 30.000-50.000 mg/l. The process in anaerobic fixed bed is fermentation of POME by anaerobic

microbe, where it is followed by producing methane gas. POME feed was loaded into a reactor which has capacity of 10.000 litre, the variation of loading rate was COD 2 kg COD/(m³.day) and 4 kg COD/(m³.day). The result showed that average decrease of COD was 90%, pH reactor efficient was 6-7 around. The highest methane production occurred at the loading rate of 2 kg COD/(m³.hari) at week-3 with a volume of 9,561 m³ which is equivalent to 14,342 liters of gasoline or 16,254 liters of diesel fuel.

Keyword: palm oil mill effluent (POME), anaerobic fixed bed reactor, loading rate, COD, biogas.

PENDAHULUAN

Pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO) menghasilkan produk samping berupa limbah cair. Limbah cair PKS mengandung padatan melayang dan terlarut maupun emulsi minyak dalam air. Bahan organik merupakan kandungan utama dalam limbah cair kelapa sawit. Konsentrasi bahan organik dalam limbah cair kelapa sawit cukup tinggi, dengan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) sekitar 25.000 mg/l, *Chemical Oxygen Demand* (COD) sekitar 55.000 mg/l dan TSS sekitar 31.000 mg/l (Tobing, 2000). Tingginya bahan organik tersebut mengakibatkan beban pengolahan yang semakin besar, karena diperlukan degradasi bahan organik yang lebih besar. Senyawa organik pada limbah cair umumnya dapat dirombak oleh bakteri dengan proses pengolahan biologis.

Upaya pengendalian dan pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit perlu dilakukan dengan mengaplikasikan teknologi yang lebih efisien dan efektif. Salah satu teknik pengolahan LCPKS yang telah dikembangkan PPKS adalah pengolahan LCPKS secara anaerobik dengan *anaerobic fixed bed reactor*.

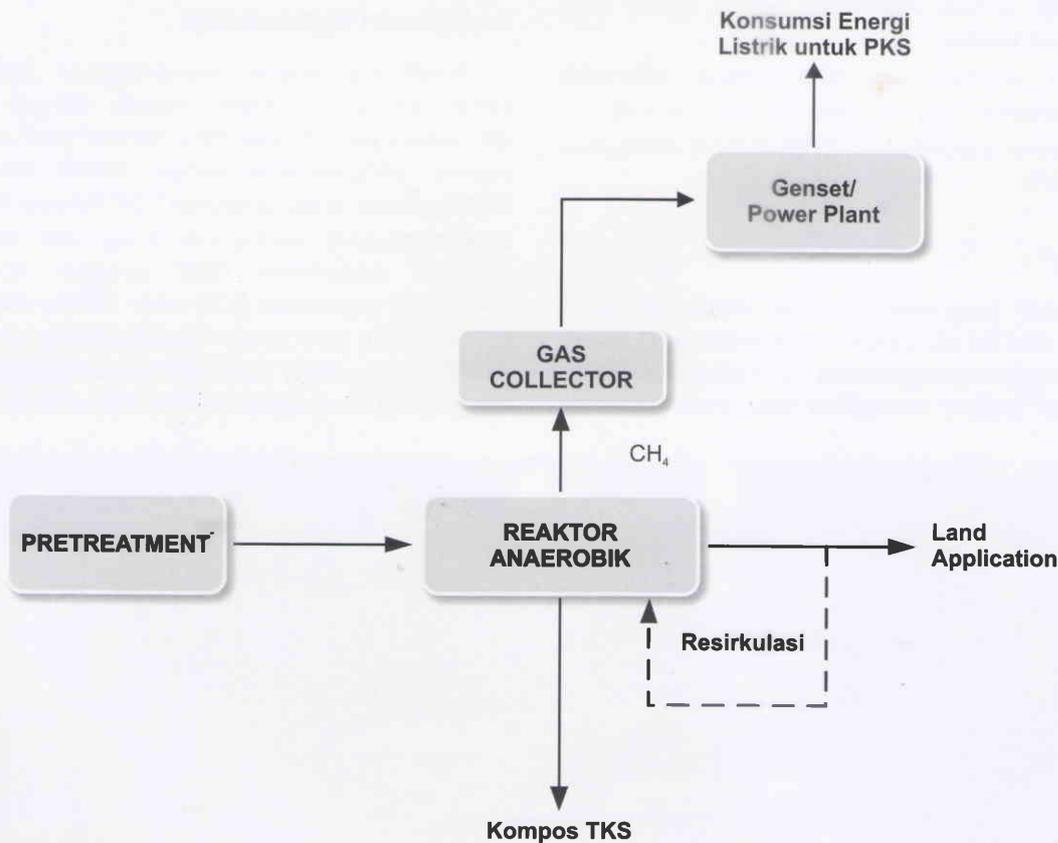
Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

M. Ansori Nasution (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan. Indonesia
Email : ansoricc@yahoo.com

Teknologi ini mempunyai efisiensi perombakan limbah lebih dari 10 kali lipat dari pengolahan dengan sistem kolam (Wulfert *et al*, 2002). Selain itu proses anaerobik dapat mengolah limbah dengan nilai BOD atau COD tinggi, menghasilkan sedikit lumpur dan hasil akhir berupa biogas. Prinsip pengolahan LCPKS dengan reaktor anaerobik tertutup yaitu limbah diolah dalam tangki atau reaktor tertutup yang didalamnya terdapat bahan pendukung (*support materials*) yang fungsinya sebagai tempat pertumbuhan mikroba anaerobik. Dengan demikian konsentrasi mikroba anaerobik jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kolam limbah sehingga perombakan limbah juga lebih cepat (Wulfert *et al*, 2000). Limbah akan dirombak secara cepat oleh bakteri-bakteri anaerobik yang menempel pada bahan pendukung sehingga konsentrasi COD akan turun sekitar 80-90% dan dihasilkan biogas (Jordeing and Buchholtz, 2008). Penurunan nilai COD merupakan salah satu indikator yang dapat dipakai dalam

pengolahan limbah cair dengan keutamaan beberapa senyawa kimia tidak dapat dioksidasi secara biologis oleh mikroorganisme namun dapat dioksidasi secara kimiawi (Metcalf and Eddy, 2003).

Pada konsep pengolahan LCPKS dengan reaktor anaerobik tertutup, limbah yang keluar dari reaktor belum dapat secara langsung dibuang ke badan sungai karena belum memenuhi baku mutu limbah industri kelapa sawit yang dibuang ke badan air. Namun limbah keluaran dari reaktor dapat digunakan untuk proses pengomposan tandan kosong sawit yaitu sebagai air penyiram kompos dan juga dapat digunakan untuk *land application* ke kebun kelapa sawit. Sedangkan gas metan yang dihasilkan dapat dikumpulkan dan dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk *boiler* maupun genset berbahan bakar gas (Gambar 1) sehingga akan terdapat nilai tambah dari limbah yang dihasilkan dari proses dengan reaktor anaerobik ini.



Gambar 1. Skema pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dengan reaktor anaerobik.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCPKS dari *fat pit* yang mempunyai karakteristik COD 28.000-34.000 mg/l, reaktor anaerobik, dan bahan pendukung (*support material*). Sedangkan alat yang digunakan adalah pompa limbah, thermometer, flowmeter dan alat-alat laboratorium untuk analisis parameter. Instalasi reaktor seperti terlihat pada Gambar 2 dengan lokasi penelitian di PKS Adolina PTPN IV.

Reaktor anaerobik tertutup seperti pada Gambar 2 yang dirancang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Reaktor berbentuk tabung diameter reaktor 2,2 m dengan tinggi efektif 2,4 m
- Volume reaktor sekitar 10.000 liter
- Bahan pendukung adalah material plastik
- Aliran umpan memasuki reaktor *upflow* (dari bawah ke atas)
- Laju pembebanan COD terlarut volumetrik divariasikan 2 kg / (m³.hari) dan 4 kg / (m³.hari)
- Efisiensi perombakan COD terlarut ditargetkan = 80 %

Metode

Limbah yang diumpankan ke reaktor anaerobik berasal dari *fat pit*. Limbah diumpankan dari bawah reaktor dengan menggunakan *mono pump*. Pengaliran dilakukan secara *intermittent* mengingat kapasitas

reaktor yang kecil sedangkan pompa yang tersedia kapasitasnya cukup besar. Laju pembebanan COD terlarut volumetrik divariasikan bertahap antara 2 kg/(m³.hari) dan 4 kg/(m³.hari). Untuk mendapatkan laju pembebanan yang sesuai, dilakukan resirkulasi limbah secara proporsional dengan cara pencampuran *effluent* dari *outlet* reaktor dengan limbah segar. Resirkulasi ini juga bertujuan untuk menaikkan pH umpan dan untuk *conditioning*. Secara periodik, *sludge* yang terbentuk dibagian bawah reaktor dikeluarkan agar volume efektif reaktor tidak berkurang.

Biogas yang dihasilkan akan terkumpul di bagian atas reaktor. Volume biogas diukur dengan *gas flowmeter* dan *counter*. Untuk menguji stabilitas reaktor dilakukan *shock load* terhadap reaktor dan diamati responsnya. Sebaliknya reaktor juga diuji keaktifannya setelah dibiarkan dalam jangka waktu tertentu tanpa pengumpanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan menunjukkan efisiensi penurunan COD limbah sesuai dengan yang ditargetkan yaitu di atas 80% dengan hasil sebagai berikut : pengoperasian dengan *loading rate* 2 kg COD/(m³.hari) rerata penurunan COD sebesar 92,75% sedangkan pada *loading rate* 4 kg COD / (m³.hari) efisiensi penurunan COD sebesar 81,69%. Persentase penurunan COD pada *loading rate* 4 kg COD/(m³.hari) lebih rendah dikarenakan beban yang diolah dalam reaktor juga lebih besar dengan waktu tinggal yang sama dalam reaktor yaitu selama 6 hari.



Gambar 2. Instalasi reaktor anaerobik tertutup.

Tabel 1 Kondisi operasi RANUT pada variasi loading rate dan waktu operasi.

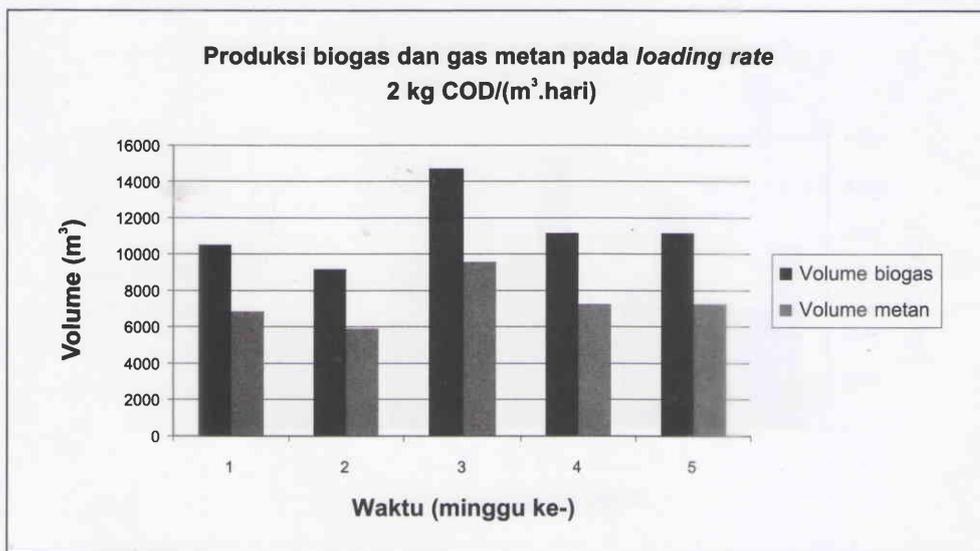
Parameter	Loading Rate 2 kg COD/(m ³ .hari)						Loading Rate 4 kg COD/(m ³ .hari)					
	Waktu operasi (minggu ke-)					Rerata	Waktu operasi (Minggu ke-)					Rerata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
COD limbah masuk (mg/l)	32.022	30.021	44.030,8	34.023	32.224	34.464,16	28.000	32.022	36.000	40.000	24.000	32.004,4
COD limbah keluar (mg/l)	2.001,4	4.002,8	2.001,4	2.001,4	2.001,4	2.401,68	6.400	5.603	4.028	8.000	4.800	5.766,2
Penurunan COD (mg/l)	30.020,6	26.018,2	42.029,4	32.021,6	32.021,6	32.422,28	21.600	26.419	31.972	32.000	19.200	26.238,2
Efisiensi penurunan COD (%)	93,75	86,67	95,45	94,12	93,79	92,75	77,14	82,5	88,81	80	80	81,69
pH limbah masuk	5,23	5,35	5,7	4,64	5,73	5,33	5,41	5,47	5,49	5,84	5,72	5,586
pH limbah keluar	7,5	7,07	7,03	6,99	6,89	7,096	6,81	6,78	6,7	6,56	6,83	6,736

Pada loading rate 2 kg COD/(m³.hari) rerata COD limbah masuk reaktor sekitar 34.464,16 mg/l dan rerata COD limbah keluar dari reaktor 2401,68 mg/l sehingga terjadi penurunan COD dalam reaktor sebesar 32.422,28 mg/l (Tabel 1).

Parameter pH limbah yang keluar dari reaktor baik loading rate 2 kg COD/(m³.hari) maupun 4 kg COD/(m³.hari) berkisar 6-7 yang bersifat netral. Berdasarkan KepMen. LH No. Kep. 51/Men.LH/10/95 nilai pH ini sudah memenuhi baku mutu, namun nilai COD limbah yang keluar dari reaktor masih belum memenuhi baku mutu dengan nilai 2.000-5.000 mg/l sedangkan baku mutu COD untuk dapat dibuang ke badan air adalah

350 mg/l. Sehingga limbah keluaran reaktor anaerobik belum bisa dibuang ke badan air namun dapat dipakai sebagai air penyiram kompos (Schuchard *et al.*, 2000) atau juga dapat digunakan untuk land application ke kebun kelapa sawit (Sutarta *et al.*, 2000).

Proses perombakan bahan organik secara anaerobik dibagi dalam tiga tahap. Pada tahap pertama, terjadi proses hidrolisis, tahap kedua bahan organik majemuk dirubah oleh bakteri menjadi asam-asam organik yang mudah menguap dan pada tahap ketiga asam organik diubah menjadi biogas (Lawbuary, 2009). Biogas yang terbentuk terdiri dari 55-66% gas metana (CH₄), 40-45% gas karbon



Gambar 3. Produksi biogas dan gas metan pada loading rate 2 kg COD/(m³.hari).

dioksida (CO_2), dan gas hidrogen (H_2) serta gas-gas lain dalam jumlah sedikit (Lawbuary, 2009). Namun menurut Horikawa (2004) komposisi biogas dalam *digester sludge* sistem anaerob adalah sebagai berikut: 81,1% CH_4 , 14,0% CO_2 , 2,2% H_2S dan 2,7% N_2+O_2 . Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena biogas mempunyai nilai kalor sedang dan besarnya sangat tergantung dari kandungan CH_4 dalam biogas (Suyitno, 2009). Kandungan CH_4 yang cukup tinggi dalam biogas dapat menggantikan LPG dan bensin. Tipikalnya setiap penurunan 1 kilogram COD selama pengolahan dengan proses anaerobik akan menghasilkan 0,35 m^3 biogas (Enviro-Quest Technologies Inc., 2007). Dengan perhitungan matematis, volume biogas yang dihasilkan dapat diketahui dengan asumsi bahwa biogas mengandung 65% gas metan. Produksi biogas dan volume gas metan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

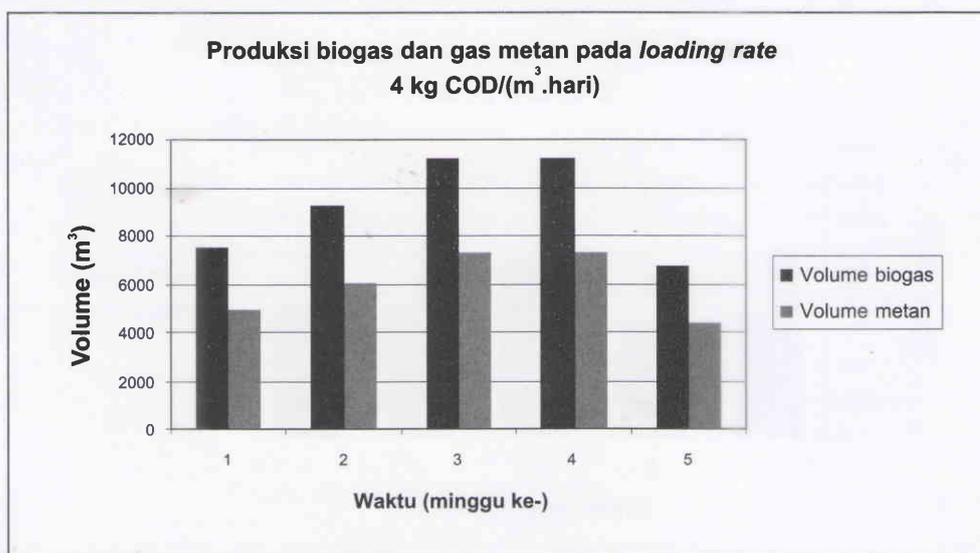
Dari Gambar 3 terlihat produksi metan tertinggi terjadi pada minggu ke-3 dengan volume 9.561 m^3 dan terendah pada hari ke-2 dengan volume 5.919 m^3 . Gas metan murni mempunyai nilai kalor 9.100 kkal/ m^3 pada suhu 15,5°C tekanan 1 atmosfer, sementara nilai kalor biogas berkisar 4.800-6.900 kkal/ m^3 . Dalam kesetaraan energi, 1,33-1,87 m^3 biogas setara dengan 1 liter bensin dan 1,5-2,1 m^3 biogas setara dengan 1 liter solar (Marchaim, 1992). Sehingga dengan faktor konstanta 1,5 maka 9.561 m^3 gas metan yang terbentuk

setara dengan 14.342 liter bensin atau 16.254 liter solar dengan faktor konstanta 1,7.

Sedangkan Gambar 4 menunjukkan produksi gas metan tertinggi terjadi pada minggu ke-4 dengan volume 7.280 m^3 dan terendah pada hari ke-5 dengan volume 4.914 m^3 . Dengan faktor konstanta 1,5 maka 7.280 m^3 gas metan yang terbentuk setara dengan 10.920 liter bensin atau 12.376 liter solar dengan faktor konstanta 1,7. Gas metan dengan komposisi tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar generator, mesin, *boiler* dan untuk pembakaran (Suyitno, 2009).

KESIMPULAN

Pengolahan LCPKS dengan reaktor anaerobik dapat digunakan sebagai alternatif teknologi pengolahan limbah cair PKS karena dapat menurunkan COD limbah cair rata-rata sebesar 90%. Dengan nilai pH rata-rata 7 yang bersifat netral, namun nilai COD limbah yang keluar dari reaktor masih belum memenuhi baku mutu yaitu 2.000-5.000 mg/l sedangkan baku mutu COD untuk dapat dibuang ke badan air adalah 350 mg/l. Limbah keluaran reaktor anaerobik belum bisa dibuang ke badan air namun dapat dipakai sebagai air penyiram kompos dan untuk *land application* di kebun kelapa sawit atau apabila ingin dibuang ke badan air maka memerlukan pengolahan lanjutan. Pengolahan LCPKS dengan reaktor anaerobik juga dihasilkan biogas yang



Gambar 4. Produksi biogas dan gas metan pada loading rate 4 kg COD/(m³.hari).

merupakan campuran gas salah satunya adalah gas metan. Produksi gas metan tertinggi terjadi pada *loading rate* 2 kg COD/(m³.hari) minggu ke-3 dengan volume 9.561 m³ yang setara dengan 14.342 liter bensin atau 16.254 liter solar. Gas metan dengan komposisi tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar generator, mesin, boiler dan untuk pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Enviro-Quest Tehcnologies Inc. 2007. Anaerobic digestion tehcnology. www.enviro-quest-technologies.com/first.html. Diakses pada 18 Januari 2009.
- Horikawa, M.S. 2004. Chemical absorbtion of H₂S for biogas purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol.21.pp.415-422
- Jordening, H.J. and K. Buchholtz. 2008. Fixed film stationary bed and fluidized bed reactor. Branuschweg. Germany. www.wiley-vch.de/books/biotech/pdf/v11a_fix.pdf. Diakses pada 12 Juni 2008.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 1995. KepMen. LH No. Kep. 51/Men.LH/10/95, tentang Baku mutu LCPKS yang tidak mencemari lingkungan. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Lawbuary, J. _____. Biogas tehcnology in India more than Gadhi's Dream. www.ganesh.co.uk/articles.htm. Diakses pada 8 Februari 2009.
- Marchaim, Uri.1992. Biogas processes for sustainable development. MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona. Israel
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater treatment engineering, treatment and reuse*. 4th edition. McGraw-Hill.
- Schuchard, F., S. Balcke, F. Becker, P. Guritno, T. Herawan, Darnoko, dan Erwinsyah. 2000. Produksi kompos dari tandan kosong sawit. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2000 : Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Sutarta, E.S., Winarna, P.L. Tobing, dan Sufianto. 2000. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada perkebunan kelapa sawit. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2000: Penanganan Terpadu Limbah Industri Kelapa Sawit yang Berwawasan Lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Suyitno. 2009. Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBio) yang dilengkapi dengan kompresi biogas. Balitbang Jawa Tengah.
- Tobing, P.L. 2000. Pengelolaan dan pemanfaatan limbah kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Wulfert, K., D. Darnoko, P.L. Tobing, R. Yuliasari, dan P. Guritno. 2002. Treatment of pome in anaerobic fixed bed digesters. *International Oil Palm Conference*.
- Wulfert, K., W. Gindulis, M. Kohler, D. Darnoko, P.L. Tobing, dan R. Yuliasari. 2000. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit secara anaerobik. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2000 : Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.