TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH CAIR YANG IDEAL UNTUK PABRIK KELAPA SAWIT

Oleh :

P. Nugro Rahardjo

Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan, Kedeputan TPSA, BPPT

Abstract

The number of crude palm oil factory (CPOF) in Indonesia has already increased rapidly in the last fifteen years. In the same period, expansion of the palm plantation has also been continuing and growing, but unfortunately the accelerated growth is not same as the development of the wastewater treatment technology and its proper applications. Many CPOF in Indonesia have not a good wastewater treatment plant (WWTP). In fact they cause terribly environmental problems, especially related to surface water pollution. BOD content in the effluent of most CPOF is between 35,000 to 46,000 ppm and in the effluent of their WWTP it is much more than 100 ppm. Therefore it needs to propose a treatment system which can guarantee to reduce all pollutants till a value matching with the environmental quality standard. Based on the research result assessed by BPPT, an ideal WWTP suitable for CPOF is promoted to be considered as one very good alternative which is better applied for all CPOF in Indonesia. The stages and processes are showed in the second figure.

Key words : *Ideal treatment, CPOF wastewater*

1. KONDISI DAN PERMASALAHAN UMUM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PKS DI INDONESIA

1.1. Kondisi Umum

Di Indonesia beberapa industri kelapa sawit yang berskala besar, yaitu minimal berkapasitas 30 ton TBS per jam, masih belum mempunyai unit pengolahan limbah cair yang memadai. Sebagai contoh nyata adalah kondisi yang buruk dari sistem pengolahan limbah cair PKS (Pabrik Kelapa Sawit) di PTP Nusantara VIII di Kabupaten Lebak, di 6 PKS besar di PTP Nusantara IV Bah Jambi dan sebagian besar PKS yang berada di Propinsi Riau dan Bangka Belitung. Umumnya PKS hanya mempunyai sistem pengolahan yang sangat sederhana, yaitu hanya sekedar berupa kolam-kolam penampung limbah cair yang besar dan berjumlah banyak (> 4 buah), namun secara teknis kolam-kolam tersebut tidak pernah dioperasikan dan dipelihara dengan benar dan baik. Akibatnya kolam-kolam tersebut hanya menjadi tempat penampungan sementara sebelum akhirnya limbah cair tersebut mengalir dan terbuang ke badan air penerima atau sungai. Walau pun hanya berupa penampungan sementara, memang proses pengolahan secara alamiah tetap terjadi. Tetapi proses tersebut sangatlah tidak optimal. Banyak terjadi ruang mati (*dead space*) pada kolam-kolam tersebut dan akhirnya terjadi *channelling*, yang menyebabkan air limbah hanya mengalir saja pada permukaan kolam dalam saluran-saluran alamiah yang terbentuk karena

banyaknya endapan yang sudah mengeras pada bagian dasar kolamnya (lihat Gambar 1). Akibat akhirnya adalah bahwa limbah cair yang masuk ke badan air penerima masih mengandung bahan-bahan pencemar lingkungan dalam jumlah yang belum memenuhi syarat yang diperbolehkan. Hal itu dapat ditunjukkan dari beberapa parameter, seperti Padatan terlarut (> 350 ppm), Padatan tersuspensi (>100 ppm), pH (< 5), BOD (> 100 ppm), COD (> 150 ppm) dan Amoniak bebas (> 1,0 ppm).

Gambar 1 : Unit kolam aerobik yang sudah penuh dengan lumpur endapan dan mulai terbentuknya *channelling*.

1.2 Unit Inti Pengolahan Limbah Cair PKS

Unit-unit pengolahan limbah cair yang umum digunakan adalah :

- Unit *Fatpit*, yaitu kolam penampung limbah cair dari unit proses *sludge separator* dan unit pencucian. Kolam ini dimaksudkan untuk memperoleh kembali minyak sawit yang masih dapat diambil dan dimanfaatkan kembali untuk dialirkan ke unit proses pengolahan minyak mentah sawit.
- Unit Anaerobik, yaitu kolam penampungan limbah cair yang berasal dari *Fatpit*, dan unit-unit proses yang lain, seperti unit sterilisator kondensat, unit *hydrocyclone* dan unit demineralisasi. Unit anaerobik ini hanya berupa kolam-kolam (dapat berjumlah 4 buah kolam atau lebih) yang kedalamannya sekitar 3 sampai 4 meter.
- Unit Aerobik, yaitu unit proses pengolahan limbah cair setelah unit anaerobik. Unit ini juga berupa kolam-kolam (dapat berjumlah 4 buah kolam atau lebih) yang mempunyai kedalaman sekitar 1,5 meter saja. Pada unit aerobik ini tidak dilakukan pengadukan dipermukaan dan juga tidak dilakukan suplai udara dari dasar kolam. Jadi proses pengolahan dibiarkan berjalan secara alamiah saja.

1.3 Tidak Berjalannya SOP (standard operation-procedure)

Pengoperasian dan pemeliharaan unit-unit pengolahan limbah cair, seperti yang telah diuraikan di atas, masih belum dilakukan secara benar. Hal tersebut dapat dilihat pada:

- Pengoperasian Unit *Fatpit* yang sangat tidak optimal, yaitu masih banyak minyak yang terapung dan teremulsi dalam air dan tidak diambil kembali untuk diproses pada unit pengolahan minyak mentah sawit. Juga terlihat masih terlalu banyak lumpur yang mengendap pada bagian akhir *Fat Pit* dan hal ini menyebabkan proses pengolahan tidak berjalan optimal. Selain itu bagian-bagian peralatan *Fat Pit* juga menjadi terbebani, sehingga menjadi mudah rusak.
- Pengoperasian kolam Anaerobik juga tidak dilakukan dengan benar. Misalnya tidak adanya jadwal rutin (minimal sebulan sekali) pengerukan endapan lumpur pada dasar kolam. Dengan demikian kedalaman kolam sudah tidak sesuai lagi dengan desain semula. Demikian pula dengan kapasitas penampungan limbah cair yang sudah tidak sesuai dengan kemampuan optimal (volume awal), sehingga waktu tinggal limbah cair dalam unit anaerobik sudah tidak mencapai 40 hari lagi dan pasti jauh lebih kecil.
- Pengoperasian kolam aerobik sangat tidak sesuai dengan prosedur. Pengadukan dipermukaan dan suplai udara dari dasar

kolam tidak dilakukan. Akibatnya proses pengolahan aerobik hanya berlangsung pada permukaan kolam saja. Jadi pada bagian bawah kolam tetap saja terjadi proses anaerobik. Dengan demikian proses pengolahan pada unit ini tidak dapat berjalan optimal. Pengerukan endapan lumpur juga tidak dijadwalkan dengan disiplin, sehingga waktu tinggal limbah cair dalam unit aerobik juga tidak mencapai 60 hari.

2. SISTEM TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH CAIR YANG IDEAL

2.1 Pengolahan Limbah Cair Berdasarkan Pusat Penelitian Perkebunan

Pusat Penelitian Perkebunan (RISPA), Medan bersama dengan Dirjen. Perkebunan telah lama melakukan penelitian dan pengkajian tentang sistem pengolahan limbah cair yang paling baik untuk mengolah limbah cair dari suatu pabrik kelapa sawit. Limbah cair industri kelapa sawit didominasi oleh bahan organik, baik yang terlarut dan tidak terlarut ataupun yang berupa minyak. Dengan demikian, maka limbah cair ini lebih sesuai jika diproses secara biologi. Banyaknya kandungan minyak dalam limbah cair tersebut mengharuskan dilakukannya pemanfaatan kembali, yaitu dengan mengambil (mengutip) minyak seoptimal mungkin. Proses pengutipan minyak ini dilaksanakan dalam kolam khusus yang disebut *Fat Pit*. Selanjutnya proses pengolahan yang disarankan oleh Pusat Penelitian Perkebunan dan Dirjen Perkebunan adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.

a) Kolam Pemiakan

Kolam ini digunakan untuk mengaktifkan bakteri. Karena limbah cair dari *fat pit* masih bersuasana asam, maka dibutuhkan penetralan dengan penambahan Kaustik Soda. Pemiakan bakteri dapat juga dilakukan dengan proses *seeding* dan lamanya pemiakan antara 3 sampai 7 hari. Bila bakteri sudah cukup tersedia pada kolam pemiakan, maka proses pengolahan selanjutnya dapat berlangsung tanpa melalui kolam pemiakan, yaitu dari *Fat Pit* ke kolam pengasaman.

b) Kolam Pengasaman

Limbah cair dari *Fat Pit* mempunyai suhu yang masih relatif tinggi, yaitu sekitar 60 sampai 70 °C. Karena itu kolam pengasaman dapat pula berfungsi sebagai kolam pendingin. Namun yang diutamakan dalam kolam pengasaman adalah proses pengasaman itu sendiri, dimana terjadi kenaikan kadar asam dari komponen-komponen asam yang mudah menguap, yaitu dari 1000 mg/l

menjadi 5000 mg/l. Lamanya limbah cair dalam kolam pengasaman ini adalah sekitar 5 hari.

c) Kolam Netralisasi

Suhu limbah cair akan semakin turun lagi dalam kolam netralisasi menjadi sekitar 40°C. Dalam kolam netralisasi ini pH dinaikkan dari 4,0 menjadi 7,0, yaitu dengan melakukan penambahan Kaustik Soda sebanyak 5 – 6 kg / ton limbah cair.

d) Kolam Perombakan Anaerob Primer I

Limbah cair dari kolam penetralan dialirkan ke kolam perombakan pertama bersamaan dengan dialirkannya lumpur aktif dari kolam

pembiakan dengan perbandingan jumlah yang sama. Reaksi mikrobiologis segera berlangsung, dimana penguraian bahan-bahan organik majemuk dalam limbah cair menjadi asam-asam organik yang mudah menguap (*Volatile Fatty Acids*). Dengan terbentuknya asam-asam antara ini, maka pH akan kembali menurun. Namun dengan melakukan resirkulasi cairan yang mempunyai pH lebih tinggi, maka proses penurunan pH dapat dinetralisasi. Waktu penahanan hidrolis pada kolam ini adalah sekitar 40 hari

Gambar 2 : Skema proses pengolahan limbah cair industri kelapa sawit

e) Kolam Perombakan Anaerob Primer II

Proses penguraian atau perombakan dari bahan-bahan organik majemuk menjadi asam-

asam organik terus berlangsung pada kolam perombakan yang kedua ini. Waktu penahanan hidrolis juga selama 40 hari. Jadi pada kedua kolam perombakan mempunyai waktu

penahanan hidrolis total selama 80 hari. Umumnya dalam kurun waktu tersebut proses perombakan sudah berlangsung secara optimal dan BOD dapat diturunkan dari 25.000 mg/l menjadi sekitar 5.000 mg/l (penguraian 80%).

f) Kolam Pematangan Anaerob Sekunder I

Reaksi mikrobiologis tahap berikutnya adalah pengubahan asam yang mudah menguap menjadi gas-gas seperti metana, karbon dioksida, hidrogen sulfida dan lain-lain. Waktu penahanan hidrolis selama 20 hari.

g) Kolam Pematangan Anaerob Sekunder II

Proses pengubahan asam-asam yang mudah menguap dilanjutkan dalam kolam kedua. Apabila terjadi penurunan pH, maka dapat dilakukan resirkulasi. Waktu penahanan hidrolis dalam kolam kedua ini juga 20 hari. Jadi total waktu penahanan hidrolis dalam kolam anaerob sekunder adalah 40 hari. Pertumbuhan bakteri penghasil metana lebih lambat jika dibandingkan dengan pertumbuhan bakteri penghasil asam, karena berkurangnya energi yang diperoleh dari substrat/limbah. Pengurangan beban BOD dari 5000 mg/l menjadi sekitar 1.750 mg/l, dengan efisiensi penguraian sebesar 65%.

h) Kolam Aerob

Proses penguraian berikutnya terjadi secara aerobik, yaitu proses yang berlangsung dengan membutuhkan oksigen melalui udara. Oksigen diperlukan untuk pertumbuhan maupun untuk respirasi. Waktu penahanan hidrolis selama 15 hari. Dengan menggunakan aerator dan suplai oksigen yang cukup, maka angka BOD dapat ditekan dari 1750 mg/l menjadi di bawah 100 mg/l. Efisiensi penguraian dengan cara oksidasi dapat mencapai > 95%. Effluent dari kolam aerob ini sudah memenuhi baku mutu limbah, sehingga boleh dibuang langsung ke badan air penerima, seperti sungai atau lainnya.

i) Kolam Sedimentasi

Kolam pengendapan berfungsi untuk memisahkan cairan dari lumpur yang mengalir secara kontinyu dari kolam aerob. Waktu penahanan hidrolis selama 4 hari dan apabila dirasakan masih kurang maka proses pengendapan yang kedua dapat dilakukan pada kolam sedimentasi yang kedua.

j) Kolam Fakultatif dan Bak Pengontrol

Kolam Fakultatif dan Bak Pengontrol merupakan pelengkap saja, walaupun sebenarnya hasil pengolahan limbah cair yang

keluar dari kolam sedimentasi sudah memenuhi baku mutu limbah untuk dibuang langsung ke sungai atau badan air penerima. Kolam Fakultatif dapat berfungsi sebagai tempat untuk proses stabilisasi akhir dan Bak Pengontrol berfungsi untuk pencegahan-pencegahan darurat bila terjadi kegagalan operasi pengendalian limbah cair.

k) Kualitas Effluen

Berdasarkan penelitian yang telah lama dilakukan oleh Pusat Penelitian Perkebunan, kualitas dari effluen akhir yang keluar dari sistem pengolahan limbah cair industri kelapa sawit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 : Kualitas effluent sistem pengolahan limbah cair PKS dari RISPA.

NO	PARAMETER	SATUAN	NILAI
1	pH		7,9 – 8,5
2	BOD	Mg/l	50 – 60
3	COD	Mg/l	500 – 600
4	TS	Mg/l	< 5.000
5	SS	Mg/l	< 300
6	Minyak	Mg/l	< 30
7	N-NH ₃	Mg/l	< 20

2.2 Land Application

Land Application atau aplikasi lahan adalah pemanfaatan limbah cair dari industri kelapa sawit untuk digunakan sebagai bahan penyubur atau pemupukan tanaman kelapa sawit dalam areal perkebunan kelapa sawit itu sendiri. Dasar dari *land application* ini adalah bahwa dalam limbah cair pabrik kelapa sawit mengandung unsur-unsur yang dapat menyuburkan tanah. Unsur-unsur tersebut adalah Nitrogen, phosphor dan Kalium. Jumlah Nitrogen dan Kalium dalam limbah cair pabrik kelapa sawit sangat besar, sehingga dapat bertindak sebagai nutrisi untuk tumbuh-tumbuhan.

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang dapat digunakan untuk *land application* adalah limbah cair yang sudah diolah sedemikian rupa sehingga kadar BOD-nya berkisar antara 3.500 mg/l sampai 5.000 mg/l. Dengan komposisi yang cukup kaya akan unsur hara (N, P dan K), maka limbah cair tersebut mempunyai potensi yang baik untuk menggantikan peran pupuk anorganik. Dengan pemanfaatan limbah cair tersebut untuk keperluan pemupukan, maka dengan sendirinya jumlah limbah cair yang masih harus diolah juga akan berkurang. Jadi *land application* akan mengurangi beban biaya dan waktu untuk pengolahan limbah. Pemanfaatan limbah cair dengan *land application* dapat menurunkan biaya pengolahan limbah sekitar 50% – 60%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli perkebunan sawit di Indonesia, limbah cair pabrik kelapa sawit yang sudah diolah (BOD maksimal 5.000 mg/l) merupakan sumber air dan nutrisi bagi tanaman. Disamping itu limbah cair tersebut juga mampu memperbaiki sifat dan struktur fisik tanah, meningkatkan infiltrasi tanah, meningkatkan kelembaban tanah, menambah kandungan senyawa organik, menaikkan pH tanah, meningkatkan aktivitas mikro flora dan fauna tanah dan dapat meningkatkan produksi tanaman kelapa sawit.

Sudah banyak PKS (Pabrik Kelapa Sawit) yang melakukan *land application*, misalnya 4 PKS di PTPN IV Bah Jambi, yaitu PKS Pulu Raja, Adolina, Sosa dan Bah Jambi yang keempatnya mempunyai luas *land application* sebesar sekitar 600 Ha. Memang belum ada standar yang baku dalam pemanfaatan limbah cair PKS melalui *land application*, namun Pemerintah Indonesia (KLH) sudah memberikan izin untuk *land application* dengan persyaratan-persyaratan yang ketat. Pabrik Kelapa Sawit PT. Smart Tbk adalah salah satu PKS yang sudah mendapatkan izin dan melaksanakan *land application*.

Sejauh ini telah dikenal dua sistem *land application*, yaitu *long bed* untuk lahan yang rata dan *flat bed* untuk lahan yang landai. Penggunaan *land application* ini harus disesuaikan dengan sifat tanah dan kondisi curah hujan di lokasi perkebunannya. Aplikasi L lahan di PTPN IV Bah Jambi adalah sebagai berikut :

- **Long Bed** : Ukuran Bed = panjang x lebar x dalam = 100 m x 0,5 m x 0,5 m.
- **Flat Bed** : Ukuran Bed = panjang x lebar x dalam = 2,5 m x 1,5 m x 0,3 m. Dalam sistem *flat bed* setiap bed dihubungkan dengan suatu parit kecil dengan dimensi = panjang x lebar x dalam = 1,0 m x 0,4 m x 1,0 m.

3. PERTIMBANGAN DALAM PERANCANGAN UNIT PENGOLAH LIMBAH CAIR PKS

Apabila kapasitas maksimum pengolahan TBS adalah 10 ton per jam, maka limbah cair yang akan dihasilkan sebesar 6 M³ per jam. Bila dalam sehari pabrik beroperasi selama 16 jam (2 shift), maka dalam satu hari jumlah air limbah mencapai 96 M³. Untuk dasar perancangan unit-unit operasi ditentukan kapasitas pengolahan sebesar 100 M³ per hari. Dalam tabel berikut terlihat perkiraan volume unit-unit operasi dalam IPAL.

Tabel 2 : Perancangan kapasitas unit-unit proses pengolahan.

NO	Unit Proses	Waktu Tinggal	Volume (M ³)
1	Oil Separation Tank	8 jam	36
2	Anaerobic Reactor	5 hari	500
3	Aerobic Reactor	2 hari	200
4	Settling Tank	6 jam	28
5	Receiving Tank	6 jam	28

a) Oil Separator

Oil Separator serupa dengan *Fat Pit*. Pada unit ini minyak sawit yang masih dapat diambil akan diperoleh secara maksimal. Dengan waktu tinggal minimal selama 10 jam, maka proses perolehan minyak sawit yang berada pada bagian lapisan atas akan dapat dilakukan dengan baik dan mudah.

b) Feeding Tank

Unit ini berfungsi untuk menampung sementara limbah cair dan menurunkan temperaturnya. Pada unit ini pula dilakukan sekaligus penetralan limbah cair, yaitu menaikkan pH dari sekitar 4 menjadi sekitar 7,0. Penetralan dilakukan dengan pembubuhan Kaustik Soda. Waktu tinggal limbah cair dalam unit ini adalah sekitar 4 – 6 jam.

c) Anaerobic Bioreactor

Bio reaktor yang beroperasi secara anaerobik akan mendegradasi limbah cair, sehingga akan menurunkan beban BOD dari sekitar 20.000 – 30.000 mg/l akan menjadi lebih kecil dari 3.000 mg/l. Waktu penahanan hidrolis adalah maksimal sekitar 10 hari. Unit ini dilengkapi dengan motor pengaduk lambat dan pompa untuk sirkulasi.

d) Gas Holder

Gas Holder adalah tempat untuk menampung gas bio yang terbentuk selama proses anaerobic. Unit ini harus dilengkapi dengan gas meter, yaitu untuk mengetahui berapa jumlah gas yang sudah dapat ditampung. Unit ini juga dilengkapi dengan pengukur tekanan pressure gauge. Waktu tinggal gas yang terperangkap disini diharapkan sekitar 8 jam.

e) Settling Tank I

Pada unit ini hanya akan dilakukan pemisahan bakteri anaerobik melalui proses pengendapan. Sebagian lumpur endapan disini adalah lumpur aktif dan disirkulasikan ke reaktor anaerobik. Unit ini mempunyai waktu penahanan hidrolis selama sedikitnya 4 jam. Unit

ini dilengkapi oleh sistem *Weir* yang dapat mengatur air limpasan ke unit berikutnya.

f) Aerobic Bioreactor

Bioreaktor Aerobik merupakan tempat berlangsungnya proses penguraian secara biologis zat-zat organik yang tersisa pada kondisi aerob (membutuhkan oksigen atau udara). Pada bagian dasar reaktor ini terdapat pipa distributor untuk mengalirkan udara secara homogen. Dengan sistem ini proses penguraian akan berlangsung dengan cepat. Namun peralatan pendukung unit ini adalah sebuah kompressor. Waktu penahanan hidrolis dalam unit ini adalah selama 5 hari.

g) Settling Tank II

Unit ini berfungsi untuk mengendapkan lumpur aktif dari bioreaktor aerobik. Sebagian dari lumpur aktif ini disirkulasikan ke dalam unit bioreaktor aerobik. Waktu tinggal dalam unit ini adalah sekitar 6 jam.

h) Receiving Tank

Receiving Tank berfungsi sebagai bak kontrol dan bermanfaat untuk penampungan sementara limbah terolah sebelum dibuang ke lingkungan atau ke badan air penerima. Waktu penampungan hanya selama 2 sampai 5 jam saja.

Pengelolaan limbah cair dengan sistem seperti yang telah diuraikan tersebut dapat juga dipadukan dengan *land application*. Penggunaan sistem *land application* tentu saja dimaksudkan selain untuk meningkatkan produksi tanaman kelapa sawit, juga dimaksudkan untuk mengurangi biaya investasi dan operasi untuk pengolahan limbah cair PKS.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. PKS Di Indonesia umumnya berlokasi di bagian tengah lahan perkebunan kelapa sawit, sehingga mereka beranggapan bahwa limbah cair PKS tidak akan berdampak negatif terhadap orang karena PKS jauh dari daerah pemukiman penduduk. Dengan demikian mereka jarang sekali berupaya keras untuk mengolah limbah cairnya seoptimal mungkin, bahkan sampai memenuhi baku mutu lingkungan (sesuai peraturan yang ada. Demikian juga tentang sistem pengolahan limbah cair yang selama ini hanya menggunakan kolam-kolam yang berukuran besar dan berjumlah banyak. Ini juga menunjukkan bahwa mereka tidak mau

berinvestasi besar hanya untuk sekedar unit sistem pengolahan limbah cair. Luas lahan untuk unit pengolahan limbah cair seolah tidak berarti sama sekali bila dibandingkan dengan luas lahan perkebunan yang sangat luas.

2. Urut-urutan proses pengolahan limbah cair yang lengkap dan ideal untuk suatu PKS adalah pemisahan lemak, pengasaman dan pendinginan, penetralan, penguraian anaerobik, penguraian aerobik, pengendapan, stabilisasi dan sirkulasi lumpur aktif.
3. Unit-unit pengolahan limbah cair yang umum digunakan oleh sebagian besar PKS di Indonesia adalah *fat pit*, proses anaerobik dan proses aerobik.
4. *Land application* merupakan salah satu cara dalam upaya mengurangi beban limbah yang harus diolah secara aerobik. Limbah cair yang telah diolah melalui proses anaerobik dengan waktu tinggal yang cukup telah dapat memiliki beban limbah cair maksimal 5.000 ppm.
5. Dalam proses pengolahan limbah cair PKS sebaiknya dilakukan secara hemat energi, yaitu dengan memanfaatkan hasil samping proses pengolahan secara anaerobik yang menghasilkan gas Methan. Gas ini dapat dipakai untuk membangkitkan tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

1. P. Nugro Rahardjo, "Identifikasi Masalah Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Kertajaya", Majalah Analisa Sistem, Kedeputan Analisa Sistem, BPPT, April, 2003.
2. Anonymous, "Pengolahan Limbah Pabrik Kelapa Sawit", Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, 1994.
3. Anonymous, "Pengendalian dan Pengoperasian Limbah Pabrik Kelapa Sawit", 1999, Pusat Penelitian Perkebunan (RISPA), Medan, 1992.
4. P. Nugro Rahardjo, 1997, "Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Mentah Kelapa Sawit", Laporan Teknis, Jakarta, 1997.