

PEMANFAATAN TANDAN KOSONG SAWIT (TKS) UNTUK PEMBUATAN PULP DAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIRNYA

Yusup Setiawan*, Sri Purwati, Kristaufan Joko Pramono

*Peneliti Kelompok Derivat Selulosa dan Lingkungan, Balai Besar Pulp dan Kertas

UTILIZATION OF PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCHES FOR PULP MAKING AND THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS

ABSTRACT

Palm oil empty fruit bunches is one of solid waste discharges from crude palm oil industry that the amount is very abundant and it is not utilized optimally yet to be a product having added value. Investigation on the palm oil empty fruit bunches utilization to be a bleached pulp cooked by soda process and soda-anthraquinone processes have been carried out. Palm oil empty fruit bunches cooked by both soda process and soda-anthraquinone process were done by cooking chemicals varied on the concentration of 10% - 16% in the ratio of 4.0 at the temperature of 160°C for 3.5 hrs. Unbleached pulp produced was bleached with the ODEoDD bleaching sequences. Kappa number, yield and the other parameters were analyzed. Kappa number, yield and the other parameter of this bleached pulp were tested.

Wastewater discharges from soda cooking process using cooking chemicals of 16% was collected and characterized for parameters such as COD, BOD₅, TSS, and pH. This wastewater was treated by anaerobic-aerobic-chemicals treatment processes. Hydraulic Residence Time (HRT) on the anaerobic treatment and the aerobic treatment was varied of 1 to 5 days and 1 to 3 days, respectively. Alum and polyelectrolyte (PE) were used as coagulant and flocculants in chemicals treatment process.

Result revealed that the optimum cooking condition of palm oil empty fruit bunches for both soda process and soda-anthraquinone process use cooking chemicals of 16%. The pulp produced by soda process and soda-anthraquinone process have yield of 30.65% and 37.39%, kappa number of 28.89 and 16.69, and alpha-cellulose of 76.62% and 76.77%, respectively. Wastewater discharges per batch cooking process which is mainly from pulp washing process is around 20 liters or 150 m³ per ton pulp. Wastewater discharges from soda cooking process using cooking chemicals of 16% containing COD of 9,680 mg/l, BOD₅ of 5,135 mg/l, and TSS of 6,220 mg/L. This wastewater was treated by anaerobic-aerobic-chemical treatment processes which could reduce COD up to 97.18%, BOD₅ up to 99.24% and TSS up to 99.74%. The quality of treated wastewater was under effluent standard for pulp and paper industry.

Keywords: palm oil empty fruit bunches, wastewater, characteristic, anaerobic treatment, aerobic treatment, polyelectrolyte

INTISARI

Tandan kosong sawit (TKS) yang merupakan limbah padat industri pembuatan minyak kelapa mentah (CPO) ketersediaannya sangat melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal menjadi produk yang mempunyai nilai tambah. Percobaan pemanfaatan TKS menjadi pulp putih dengan pemasakan proses soda dan soda antrakinon telah dilakukan. Pemasakan TKS dengan proses soda menggunakan bahan kimia pemasak yang divariasikan pada konsentrasi 10% - 16% dengan ratio 4.0 pada suhu 160°C selama 3,5 jam. Pulp coklat yang dihasilkan diputihkan dengan urutan pemutihan ODEoDD dan dianalisa bilangan kappa, rendemen dan parameter lainnya.

Air limbah baik dari pemasakan TKS dengan proses soda maupun soda-antrakinon ditampung dan dianalisa karakteristiknya meliputi parameter COD, TSS, BOD₅, dan pH nya. Air limbah pencucian pulp TKS dengan pemasakan proses soda 16% diolah dengan proses anaerobik-aerobik-kimia. Waktu tinggal pada proses anaerobik divariasikan 1 – 5 hari, dan waktu tinggal di proses aerobik divariasikan 1 – 3 hari. Alum dan Poli Elektrolit (PE) dengan variasi dosis digunakan sebagai bahan kimia penggumpal pada pengolahan kimia.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kondisi terbaik pemasakan TKS dengan proses soda yaitu menggunakan soda 16% yang menghasilkan pulp dengan rendemen 30,65%, bilangan kappa 28,89, dan alpha selulosanya 76,62%, dan proses soda-antrakinon (Aq) dengan menggunakan soda antrakinon 16%

yang menghasilkan pulp dengan rendemen 37,39%, bilangan kappa 16,69, dan alpha selulosanya 76,70%. Jumlah air limbah yang dihasilkan untuk 1 kali pemasakan TKS dari proses pencucian pulp adalah sekitar 20 liter atau 150 m³ per ton pulp. Air limbah pencucian pulp pada pemasakan dengan proses soda 16% mengandung COD = 9.680 mg/l, BOD₅ = 5.135 mg/l, dan TSS = 6.220 mg/l. Pengolahan air limbah pencucian pulp TKS dengan proses anaerobik-aerobik-kimia dapat mereduksi COD = 97,18%, BOD₅ = 99,24%, dan TSS = 99,74% dengan kualitas air limbah telah memenuhi baku mutu.

Kata kunci: Tandan kosong sawit, air limbah, karakteristik, pengolahan anaerobik, pengolahan aerobik, poli elektrolit

PENDAHULUAN

Tandan kosong sawit (TKS) merupakan salah satu limbah minyak sawit yang jumlahnya cukup banyak dan mengandung serat yang cukup baik serta sampai saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia sampai tahun 1995 sekitar 1,950 juta Ha dan pada tahun 2000 diperkirakan menjadi 5 juta Ha, sebagian besar berada di daerah Sumatera dan Kalimantan dan sisanya tersebar di daerah Jawa Barat, Sulawesi dan Irian Jaya. Menurut hasil penelitian 1 Ha kebun kelapa sawit akan menghasilkan sekitar 1,8 ton TKS kering dengan kadar air sekitar 70 %⁽⁵⁾.

Penelitian mengenai pemanfaatan TKS sebagai bahan baku pulp telah dilakukan. Pembuatan pulp dengan bahan baku TKS dapat dilakukan dengan proses soda dan soda-antrakinon. Tahapan proses pembuatan pulp tersebut terdiri dari persiapan bahan baku TKS yaitu pembuatan serpih, pemasakan (*cooking*), pencucian (*washing*), penyarin

gan (*screening*), dan pemutihan (*bleaching*). Pemanfaatan TKS sebagai bahan baku pembuatan pulp mempunyai potensi dan prospek yang sangat baik mengingat pulp yang dihasilkan dapat dikembangkan lagi menjadi produk lain seperti untuk pembuatan kertas dan turunan selulosa⁽⁸⁾.

Pada pembuatan pulp banyak menggunakan air dalam proses pembuatannya. Oleh karena itu produk samping yang dihasilkan oleh industri ini menghasilkan limbah cair yang jumlahnya banyak. Limbah cair yang dikeluarkan dari proses pembuatan pulp bersifat sangat mencemari terutama bila tidak dilengkapi dengan unit pengambilan kembali bahan kimia (*chemical recovery plant*). Limbah cair ini mengandung bahan pencemar/polutan dari senyawa organik polimer yang bersifat kompleks dan sulit dibiodegradasi terutama senyawa lignin. Untuk mengolah limbah cair ini diperlukan kombinasi proses pengolahan secara anaerobik, aerobik, dan kimia.

Proses anaerobik diperlukan sebagai pengolahan awal karena cukup efektif untuk mendegradasi senyawa organik kompleks dalam air limbah pulp yang memiliki beban pencemaran tinggi^(4,6). Pengolahan lanjut digunakan proses aerobik-lumpur aktif untuk mendegradasi senyawa organik hasil penguraian anaerobik. Pengolahan kimia dengan proses koagulasi-flokulasi masih diperlukan untuk memisahkan pencemar yang tersuspensi agar menghasilkan kualitas air limbah yang memenuhi baku mutu dan layak dibuang ke lingkungan.

Mengingat bahwa isu lingkungan merupakan salah satu faktor penting dalam perkembangan suatu industri, maka dalam rangka mengantisipasi pertumbuhan industri pulp tandan kosong sawit perlu ditunjang dengan teknologi proses pengolahan air limbah yang efektif dan efisien. Dalam tulisan ini disampaikan hasil penelitian pemanfaatan tandan kosong sawit untuk pulp dan system pengolahan air limbahnya yang merupakan sumber utama pencemaran dari industri pulp dan kertas

BAHAN DAN METODA PENELITIAN

Penelitian pembuatan pulp TKS

Pemasakan TKS dilakukan dalam digester skala laboratorium dengan kapasitas 400 gram serpih. Bahan baku tandan kosong sawit (TKS) yang diperoleh dari pabrik *crude palm oil* (CPO) di Sumatera, digunakan dalam percobaan. Larutan pemasak yang digunakan adalah pada proses soda divariasikan 10%, 12%, 14%, dan 16. Pemasakan dilakukan pada suhu maksimal 165°C dengan waktu tuju selama 2 jam, dan waktu pada selama 1,5 jam. Pulp coklat yang dihasilkan selanjutnya diputihkan dengan urutan tahapan pemutihan ODEoDD. Pengukuran rendemen total (*total yield*), rendemen tersaring (*screened yield*), kadar alpha selulosa, kadar beta dan gamma selulosa, pentosan, derajat putih, kelarutan dalam NaOH 10% dan 18%, kadar air, dan kadar abu pulp yang dihasilkan. Pengujian yang dilakukan berdasarkan SNI^(7,8).

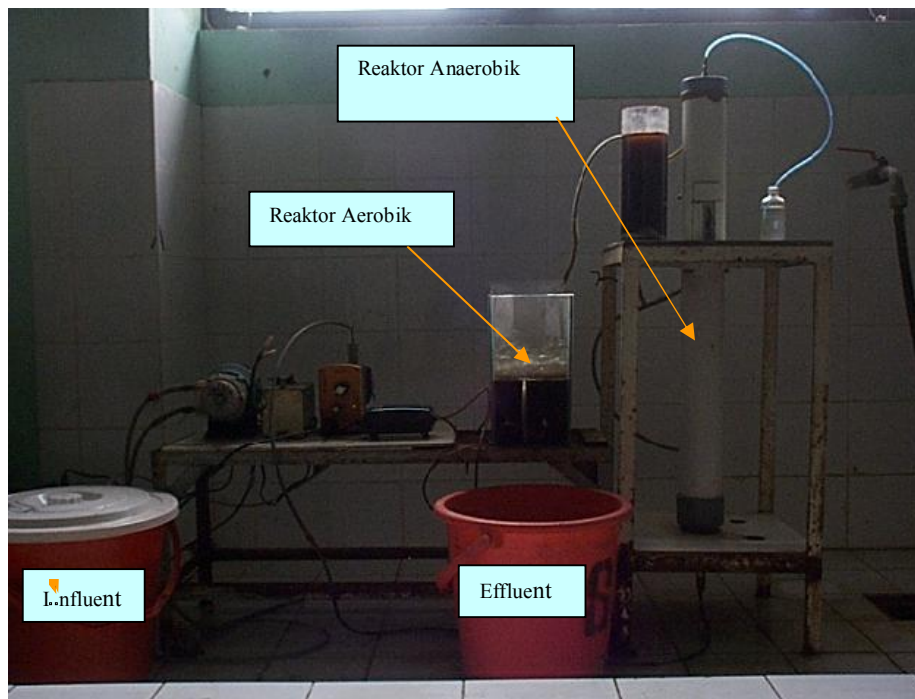
Penelitian pengolahan air limbah pencucian pulp TKS

Percobaan pengolahan air limbah dilakukan terhadap air limbah pencucian pulp dari pemasakan dengan proses soda 16%. Karakteristik air limbah ditentukan meliputi volume dan analisa pH, COD, BOD₅, dan TSS. Percobaan pengolahan air limbah dilakukan dengan proses biologi yaitu proses anaerobik jenis reaktor *upflow anaerobic sludge blanket (UASB)* yang mempunyai volume 3,6 L, dan proses lumpur aktif konvensional menggunakan reaktor yang mempunyai volume 3,0 L, yang dilanjutkan dengan proses kimia. Rangkaian alat-alat percobaan dengan proses anaerobik dan lumpur aktif konvensional dioperasikan secara kontinyu seperti pada Gambar 1.

Pada percobaan proses anaerobik, lumpur domestik digunakan sebagai bibit lumpur sebanyak 40% volume reaktor dan dimasukkan ke dalam reaktor anaerobik. Konsentrasi lumpur di dalam reaktor anaerobik dianalisa MLSS dan MLVSS. Air limbah sebelum dialirkan ke dalam reaktor dicampur dengan nutrisi dengan perbandingan COD : N : P = 350 : 7 : 1. Waktu tinggal air limbah di dalam reaktor anaerobik divariasikan secara bertahap dari 5 hari menjadi 1 hari.

Pada percobaan proses lumpur aktif konvensional, lumpur domestik dimasukkan ke dalam reaktor aerobik yang digunakan sebagai bibit lumpur sehingga konsentrasi lumpur di dalam reaktor mengandung MLSS = 3.000 mg/L dan MLVSS = 2.400 mg/L. Air limbah dialirkan ke dalam reaktor dicampur nutrisi dengan perbandingan BOD₅ : N : P = 100 : 5 : 1. Waktu tinggal air limbah di dalam reaktor aerobik divariasikan secara bertahap dari 3 hari menjadi 1 hari.

Air limbah terolah keluaran dari proses lumpur aktif dengan waktu tinggal 1 hari selanjutnya diolah dengan proses kimia dengan metoda jar test. Pada proses koagulasi, alum dengan dosis 500 – 1200 mg/l digunakan sebagai koagulan. Koagulasi dilakukan selama 1 menit dengan kecepatan putaran pengadukan 100 rpm. Pada proses flokulasi digunakan polielektrolit (PE) dengan dosis 2 mg/l. Flokulasi dilakukan dengan pengadukan pada kecepatan 40 rpm selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan proses sedimentasi lumpur selama 30 menit yaitu memisahkan air limbah terolah dari lumpurnya. Pengamatan terhadap banyaknya lumpur yang mengendap dilakukan. Analisa air limbah baik yang belum maupun yang sudah diolah dilakukan berdasarkan SNI, meliputi parameter pH, TSS, COD dan BOD₅.



Gambar 1. Percobaan dengan proses anaerobic dan lumpur aktif konvensional

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan pulp

Kondisi proses dan hasil pulp TKS dari proses soda dan proses soda Aq dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut terlihat bahwa pulp yang mempunyai bilangan kappa (KN) paling rendah untuk pemasakan dengan proses soda adalah 28,89, dan 16,69 untuk pulp yang dimasak dengan proses soda Aq. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas pulp yang dimasak dengan proses soda Aq secara keseluruhan lebih baik dibanding dengan pulp proses soda, begitu juga dengan rendemen yang dihasilkannya relative lebih tinggi. Pemakaian NaOH 16% menunjukkan kondisi pemasakan yang terbaik, dan selanjutnya dilakukan proses pemutihan.

Hasil proses pemutihan dari kedua proses pemasakan pulp TKS soda dan soda Aq yang dihasilkan seperti terlihat pada Tabel 2. Data tersebut menunjukkan bahwa baik pulp TKS yang diproses dengan proses soda maupun yang diproses soda Aq, kadar alpha selulosa dan derajat putihnya lebih rendah dari spesifikasi pulp kertas apalagi bila dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi pulp rayon biasa. Begitu juga dengan parameter lainnya umumnya tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Namun demikian kualitas pulp TKS ini masih dapat ditingkatkan melalui modifikasi didalam proses pembuatannya. Didalam pemanfaatannya pulp TKS sudah diteliti sebagai pensubstitusi pulp atau bahan pencampur dengan komposisi yang sesuai untuk jenis-jenis kertas tertentu. Sebagai limbah pertanian dari industri CPO, maka TKS cukup potensial sebagai bahan baku pulp yang mempunyai nilai ekonomi tinggi.

Tabel 1. Kondisi pemasakan pulp dan hasil analisisnya

Proses Pemasakan	Kondisi Pemasakan					Hasil Pemasakan		
	NaOH (%)	Ratio	Suhu Maks. (°C)	Waktu tuju (jam)	Waktu pada (jam)	Total yield (%)	Screened yield (%)	KN ¹⁾
Soda	10	4.0	165	2	1,5	41,92	41,32	91,85
	12	4.0	165	2	1,5	43,09	42,97	85,82
	14	4.0	165	2	1,5	34,41	34,09	43,38
	16	4.0	165	2	1,5	32,10	30,63	28,89
Soda Antrakinon (Aq)	10	4.0	165	2	1,5	40,00	38,85	63,08
	12	4.0	165	2	1,5	40,15	39,88	33,83
	14	4.0	165	2	1,5	37,34	37,14	19,03
	16	4.0	165	2	1,5	37,39	37,34	16,69

¹⁾KN = bilangan kappa

Tabel 2. Hasil analisa pulp putih TKS

Parameter :	Pulp putih		SNI 14-6107-1999 ³⁾	SNI 14-0938-1989 ²⁾
	Proses soda	Proses soda Aq		
1. Air (%)	7,03	8,05	< 12	-
2. Abu (%)	3,24	4,26	-	< 0,15
3. Sari (%)	0,19	0,33	-	< 0,30
4. α - Selulosa	76,62	76,70	-	> 90,5
5. (β + γ) Selulosa	19,63	20,70	-	-
6. Pentosan (%)	26,94	27,68	-	-
7. Kelarutan dalam				
- NaOH 10%	5,70	7,17	-	< 10,0
- NaOH 18%	9,85	10,19	-	< 6,5
8. Viskositas (mPa.s)	8,78	10,44	-	> 18
9. Derajat putih (GE)	78	78	> 80	> 90

²⁾SNI 14-0938-1989 = Spesifikasi pulp rayon biasa,

³⁾SNI 14-6107-1999 = Spesifikasi pulp kraft kayu daun (LBKP)

Pengolahan air limbah

Karakteristik air limbah

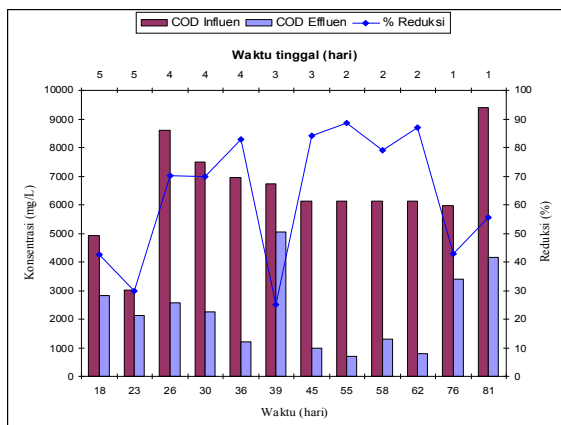
Jumlah air limbah yang dihasilkan dari proses pencucian pulp TKS skala laboratorium adalah 20 liter per batch dengan produk pulp 132 gram atau 150 m³ per ton pulp. Debit air limbah tersebut sangat besar melampaui debit air yang dipersyaratkan yaitu maksimal 80 m³ per ton pulp untuk skala industri. Kondisi ini sebagai gambaran bahwa kebutuhan air untuk pembuatan pulp sangat besar bila tidak dilakukan proses daur ulang atau sirkulasi air bekas pencucian. Pada aplikasinya dalam skala industri proses daur ulang dapat dilakukan untuk memper-kecil jumlah air limbah hingga < 50%. Hasil analisa air limbah pulp TKS yang dihasilkan dari proses skala laboratorium adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik air limbah pulp TKS

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu ⁽²⁾
1.	pH	-	7,7 – 8,5	6-9
2.	TSS	mg/L	1.400 – 6.220	100
3.	COD	mg/L	3.600 -9.680	200
4.	BOD ₅	mg/L	1.200 – 5.135	100
5.	Minyak/Lemak(M/L)	mg/L	6,6 – 10,5	-
6.	Na	mg/L	4.750 – 6.500	-

Proses pengolahan anaerobik

Proses pengolahan anaerobik dilakukan dengan sistem *up-flow anaerobic sludge blanket (UASB)*. Waktu tinggal, *hydraulic residence time (HRT)*, air limbah dalam reaktor divariasi dari 5 hari dengan beban organik rendah atau *organic loading rate (OLR)*, 0,99 kg COD/m³.hari kemudian diturunkan sampai HRT = 1 hari dengan beban organik dipertinggi mencapai OLR = 8,77 kg COD/m³.hari.



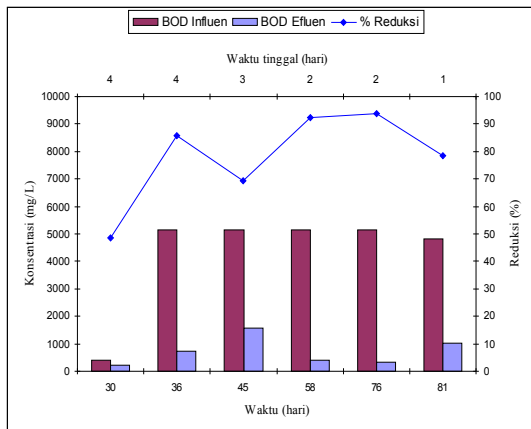
Gambar 2. Konsentrasi dan reduksi COD reaktor anaerobik

Berdasarkan data-data analisa dan dibandingkan dengan baku mutu menunjukkan bahwa karakteristik air limbah pulp TKS mengandung bahan cemaran yang sangat tinggi. Jauh di atas baku mutu yang perlu pengolahan sebelum di buang ke lingkungan. Komponen yang terkandung didalamnya dominan senyawa organik lignin yang bersifat kompleks dengan perbandingan COD/BOD₅ berkisar antara 2 – 3, dan mengandung pula minyak dan lemak yang berasal dari bahan baku. Karakteristik air limbah seperti tersebut diatas harus diolah melalui tahapan proses yang diawali dengan proses anaerobik. Dasar dari pemilihan proses ini adalah karena mikro-organisme anaerobik memiliki kemampuan melakukan degradasi senyawa organik kompleks yang berlangsung pada kondisi beban tinggi^(1,3).

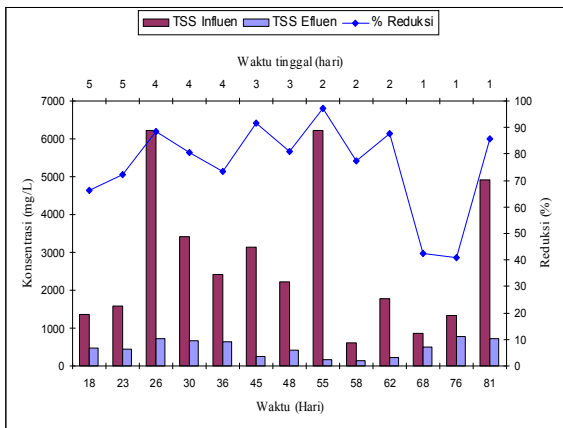
Hasil pengolahan air limbah pencucian pulp TKS dengan proses pengolahan anaerobik dapat dilihat seperti pada Gambar 2, 3, dan 4. Percobaan pengolahan air limbah pencucian pulp dengan proses anaerobik pada HRT = 2 hari dengan OLR berkisar antara 3 – 4 kg COD/m³.hari dapat memberikan reduksi COD, BOD₅, dan TSS yang cukup tinggi yaitu masing-masing dapat mencapai 87-88%, 93-94%, dan 77-97%, dengan konsentrasi air limbah olahannya mengandung COD = 709-1295 mg/L, BOD₅ = 319-393 mg/L, dan TSS = 140-220 mg/L. Kualitas effluen anaerobik demikian dapat memudahkan pada proses pengolahan aerobik dengan proses lumpur aktif. Dengan HRT dipersingkat 1 hari dan OLR mencapai 8,77 kg COD/m³.hari hanya dapat mereduksi COD sebesar 56%, BOD₅ sebesar 88 %, dan TSS sebesar 86 %. Berarti kenaikan OLR diatas 4 kg COD/m³.hari telah mengakibatkan penurunan efisiensi pengolahan. divariasiasikan melauai pengaturan debit secara kotinyu, dimulai dari HRT = 3 hari, 2 hari dan 1 hari.

Dengan proses pengolahan aerobik, lumpur aktif konvensional, kondisi HRT = 1 hari menunjukkan hasil relatif baik yaitu dapat mereduksi COD sebesar 37,30-79,61%, BOD = 60-65% dan TSS = 52,11-96 % dengan konsentrasi masing-masing COD = 226-769 mg/L, BOD₅ = 128-363 mg/l, dan TSS = 20-340 mg/L (Gambar 5,6 dan 7). Efluen dari pengolahan

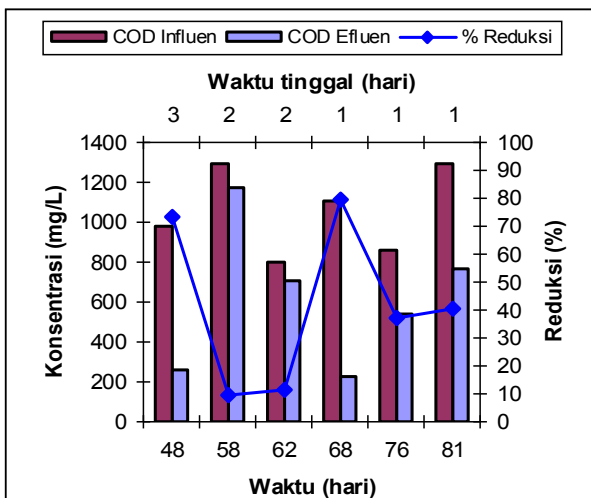
aerobik ini belum memenuhi baku mutu hingga masih harus diolah lebih lanjut dengan proses pengolahan kimia.



Gambar 3. Konsentrasi dan reduksi BOD₅ reaktor anaerobik



Gambar 4. Konsentrasi dan reduksi TSS reaktor anaerobik

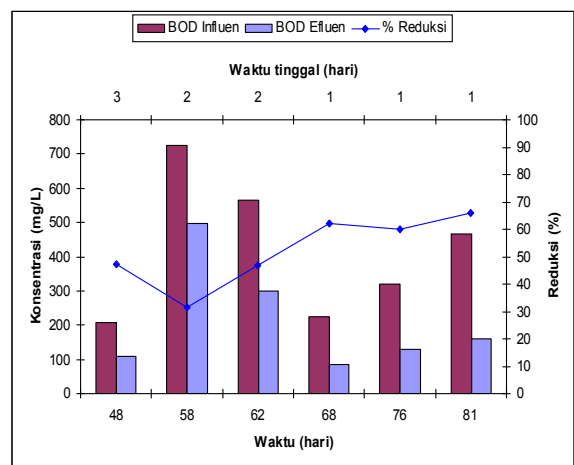


Gambar 5. Konsentrasi dan reduksi COD reaktor aerobik

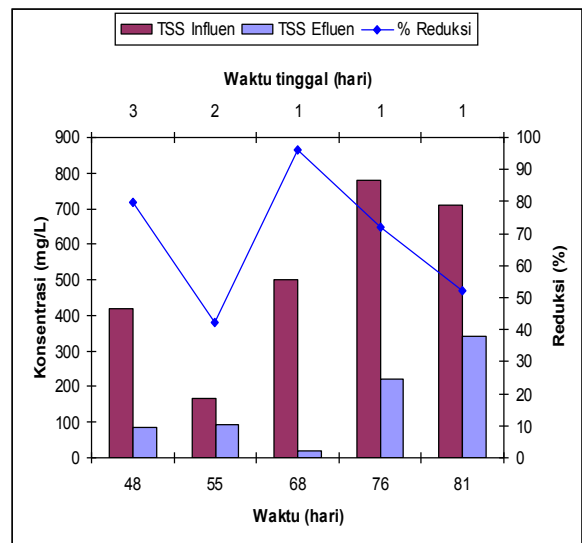
Berdasarkan atas hasil percobaan yang diperoleh maka pengolahan air limbah pulp TKS dengan proses anaerobik dioperasikan dengan pengaturan debit pada HRT = 2 hari. Hasil olahan dari proses anaerobik selanjutnya diolah dengan proses aerobik lumpur aktif.

Proses pengolahan aerobik

Efluen dari proses anaerobik diolah dengan proses aerobik, proses lumpur aktif konvensional dengan kondisi operasi diatur pada konsentrasi MLSS = 3.000 mg/L. HRT dalam reaktor



Gambar 6. Konsentrasi dan reduksi BOD₅ reaktor aerobik



Gambar 7. Konsentrasi dan reduksi TSS reaktor aerobik

Tabel 4. Karakteristik Air Limbah Pengolahan Kimia

Dosis	COD			BOD			TSS		
	In	Out	Reduksi (%)	In	Out	Reduksi (%)	In	Out	Reduksi (%)
Alum = 1200 mg/L	226	28	87,6	48	18	63	-	-	-
PE = 2 mg/L	538	150	72,1	128	15	88	220	11	95
	769	173	77,5	363	39	89	340	16	95

Pengolahan kimia

Pengolahan kimia dilakukan untuk menurunkan kadar COD, BOD₅, dan TSS lebih lanjut dari hasil pengolahan aerobik. Pengolahan kimia dilakukan dengan menggunakan “Jar Test”. Alum digunakan sebagai koagulan divariasikan dosisnya antara 500 sampai 1200 mg/L, dan Poli Elektrolit (PE) dengan dosis tetap 2 mg/L digunakan sebagai flokulan. Hasil percobaan dengan pengolahan kimia pada dosis alum 500 sampai 1.000 mg/L dengan PE = 2 mg/L menghasilkan reduksi COD antara 38,82- 88,83%, reduksi BOD₅ antara 10-84,45%, dan reduksi TSS sampai 81,18%, akan tetapi berdasarkan pengamatan visual air limbah olahannya masih keruh. Dengan peningkatan dosis alum 1.200 mg/L dan PE = 2 mg/L, air olahannya secara visual jernih dan dapat mereduksi COD sampai 87,6%, BOD₅ sampai 89%, dan TSS sampai 95% (Tabel 4).

Secara keseluruhan pengolahan air limbah pencucian pulp TKS dengan proses anaerobik-aerobik lumpur aktif, dan pengolahan kimia dapat mereduksi COD sampai 97,18%, BOD₅ sampai 99,24%, dan TSS sampai 99,74% dengan kualitas air limbah terolah yang sudah memenuhi persyaratan baku mutu yaitu COD = 28-173 mg/L, BOD₅ = 15-39 mg/L, dan TSS = 11-16 mg/L.

KESIMPULAN

1. Pemasakan TKS dengan proses soda yaitu menggunakan soda 16% dapat menghasilkan pulp dengan rendemen 30,65%, bilangan kappa 28,89, dan alpha selulosanya 76,62%, sedangkan dengan menggunakan soda antraknon 16% dapat menghasilkan pulp dengan rendemen 37,39%, bilangan kappa 16,69, dan alpha selulosanya 76,70%.
2. Jumlah air limbah yang dihasilkan dari proses pencucian pulp adalah sekitar 150 m³ per ton pulp, dengan karakteristik mengandung COD = 3.600-9.680 mg/l, BOD₅ = 1.200 – 5.135 mg/l, dan TSS = 1.400 – 6.220 mg/l.
3. Pengolahan air limbah menggunakan reaktor UASB dengan waktu tinggal 2 hari dan beban organik 3-4 kg COD/m³.hari dapat mereduksi COD = 87-88% BOD₅ = 92-94%, dan TSS = 77-97%. Pengolahan biologi lanjutan dengan proses lumpur aktif konvensional dengan waktu tinggal 1 hari dapat mereduksi COD = 37,3-79,61%, BOD₅ = 60-65%, dan TSS = 52,11-96%. Pengolahan tahap akhir dengan proses kimia dengan menggunakan alum 1.200 mg/L dan PE 2 mg/L dapat menghasilkan air limbah olahan yang memenuhi baku mutu.
4. Secara keseluruhan pengolahan air limbah pencucian pulp TKS dengan proses anaerobik-aerobik-kimia dapat mereduksi COD = 97,18%, BOD₅ = 99,24%, dan TSS = 99,74%, dengan kualitas telah memenuhi baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hulshoff, Pol.; Lettinga, G. (1987), "New Technologies for Anaerobic Wastewater Treatment", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.18, No.12, 41-53.
 2. Kep.No. 51/MENLH/10/1995, Lampiran B.V, Baku Mutu Limbah Cair Industri Pulp dan Kertas.
 3. Kosaric, N; Blaszczyk, R and Orphan, L. (1990), Factors Influencing formation and Maintenance of Granules in Anaerobic Sludge Blanket Reactors (UASBR), *Wat. Sci. Tech.*, 22, 275 - 282.
 4. Lettinga, G; JA Field; R. Sierra Alvarez; J.B. Van Lier; J.Rintala, (1991) "Future Perspectives for Anaerobic Treatment of Forest Industry Wastewater", *Wat. Sci. Tech.*, 24(3/4), 91-102.
 5. Nina Elyani et al., "pemanfaatan Pulp Tandan Kosong Sawit Pada pembuatan Kertas Cetak", Lokakarya Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku pulp dan kertas, Bandung 4-5 maret 1998.
 6. Sierra Alvarez, R ; Harbrech, J. ; Kortekaas, S. ; Lettinga, G. (1990), "The Continuous anaerobic Treatment of Pulping Wastewater", *J. Ferment. Bioeng.*, Vol. 70, No.2, 119-127.
 7. SNI 14-0938-1989 Spesifikasi pulp Rayon biasa
 8. SNI 14-6197-1999 Spesifikasi pulp kraft kayu daun (LBKP)
 9. Yusup setiawan, Yudi Tjahyono, Yuniarti P.K., Endang Ruhyat C.C. "Penggunaan pulp tandan kosong sawit untuk pembuatan karboksimetil selulosa (CMC)", *Berita Selulosa*, Vol.40, No.1, Juni 2005, 10-17.
-

