



Submitted : 9 October 2023

Revised : 16 April 2024

Accepted : 21 May 2024

PERANCANGAN DAN SIMULASI PROSES LIMBAH PENGOLAHAN SAWIT DENGAN ANAEROBIC DIGESTER DAN AEROBIC BIO-OXIDATION

Giovanno Macario Purnomo¹, Abraham Zefanya¹, Yansen Hartanto^{1*}, Herry Santoso¹, Antonius Indarto²

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 40141, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, 40132, Indonesia

*Email: yansen_hartanto@unpar.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Kebutuhan akan produk olahan minyak kelapa sawit meningkat setiap tahunnya dan limbah yang dihasilkan juga akan semakin besar. Limbah dari industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi dan berpotensi untuk merusak lingkungan. Pengolahan yang biasa dilakukan untuk mengolah limbah minyak kelapa sawit yaitu sistem kolam (*ponding*). Sistem ini sederhana tetapi membutuhkan waktu pengolahan yang cukup lama. Penelitian ini mengkaji penggunaan *anaerobic digester* dan *aerobic bio-oxidation* untuk menurunkan kadar pencemaran di limbah seperti BOD, COD, TSS, dan kandungan minyak/lemak. Penelitian ini mencakup proses perancangan dan simulasi proses pengolahan limbah kelapa sawit. Perancangan dilakukan berdasarkan debit limbah 18 m³/jam, suhu 70°C, pH 4,3, TSS 4000 mg/l, BOD 22500 mg/l, COD 30500 mg/l, total nitrogen 550 mg/l, serta kandungan minyak/lemak 900 mg/l. Simulasi dilakukan dengan variasi kenaikan kandungan limbah seperti BOD dan COD, TSS, serta minyak/lemak untuk melihat kinerja pengolahan limbah yang telah dirancang. Dari penelitian ini diperoleh desain pengolahan limbah minyak kelapa sawit yang mampu memenuhi baku mutu limbah dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan proses konvensional. Proses yang dirancang mampu mengolah limbah dengan kenaikan COD, TSS, serta minyak dan lemak hingga mencapai 2 kali dari nilai semula. Sedangkan untuk kenaikan BOD, proses yang telah dirancang hanya dapat menangani kenaikan 1,5 kali dari BOD semula.

Kata Kunci: Anaerobik digester; Biooksidasi aerobik; Kelapa sawit; Limbah

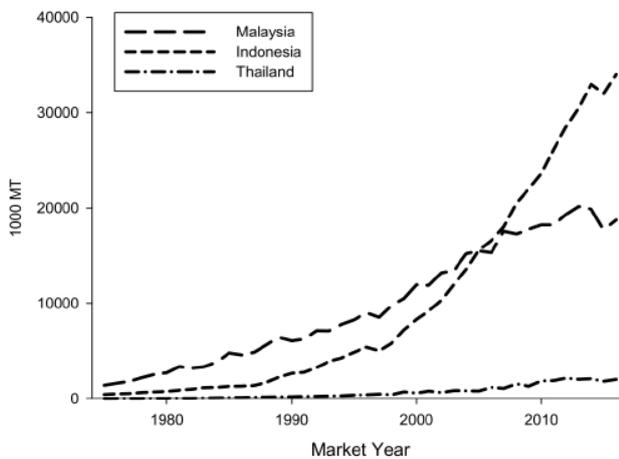
Abstract

Indonesia is the largest palm oil-producing country in the world. The need for processed palm oil products increases every year, and the waste produced will also increase. Waste from the palm oil industry contains high levels of organic matter and has the potential to damage the environment. The usual processing method for processing palm oil waste is a pond system. This system is simple but requires quite a long processing time. This research will examine the use of *anaerobic digesters* and *aerobic bio-oxidation* to reduce pollution levels in waste such as BOD, COD, TSS, and oil/fat content. This research includes the design and simulation process of palm oil waste processing. The design was carried out based on waste discharge of 18 m³/hour, temperature 70°C, pH 4.3, TSS 4000 mg/l, BOD 22,500 mg/l, COD 30,500 mg/l, total nitrogen 550 mg/l, and oil/fat content of 900 mg/l. Simulations were carried out with variations in increasing waste content such as BOD and COD, TSS, and oil/fat to see the performance of the waste processing that had been designed. From this research, a palm oil waste processing design was obtained that was able to meet waste quality standards in a shorter time compared to conventional processes. The designed process is capable of processing waste with increases in COD, TSS, and oil and fat up to 2 times the original value. Meanwhile, for the rise in BOD, the process that has been designed can only handle an increase of 1.5 times the original BOD.

Keywords: Aerobic bio-oxidation; Anaerobic digester; Palm oil; Waste

1. PENDAHULUAN

Indonesia menghasilkan 36 juta ton *crude palm oil* (CPO) pada tahun 2017 (Iskandar et al., 2018) dan produksi ini akan terus berkembang setiap tahunnya. Pada tahun 2020, Indonesia memiliki 640 pabrik kelapa sawit dengan total 13 juta hektar yang dialokasikan untuk lahan perkebunan sawit (Said et al., 2019). Kebutuhan produk kelapa sawit terus meningkat di mana sebagian besar digunakan sebagai produk pangan, dan sisanya digunakan untuk kosmetik, sabun, cat, dan sebagainya. Program pemerintah Indonesia untuk mengoptimalkan penggunaan biodiesel juga akan semakin meningkatkan kebutuhan akan minyak kelapa sawit. Setiap ton CPO yang diproduksi akan menghasilkan 3,5 ton limbah minyak sawit atau *palm oil mill effluent* (POME) (Wan Sharifudin et al., 2015).



Gambar 1. Tren produksi CPO di ASEAN (Iskandar et al., 2018)

Limbah cair dari industri minyak sawit merupakan limbah berbau yang dikategorikan tidak beracun. Tetapi dengan tingginya kandungan organik pada limbah tersebut dapat menimbulkan pencemaran, dan dapat merusak lingkungan pada tempat limbah tersebut dibuang (Paramitadevi, 2017). Kandungan organik yang tinggi ini dapat dikuantifikasi dengan kadar BOD dan COD yang nilainya sangat besar (Lok et al., 2020). Selain nilai BOD dan COD yang tinggi, POME juga mengandung kadar minyak/lemak yang tinggi (Wan Sharifudin et al., 2015).

Pengolahan limbah minyak kelapa sawit konvensional menggunakan sistem kolam (*ponding*). Metode ini membutuhkan waktu lama sehingga tidak efisien. Penelitian tentang pengolahan limbah sawit ini sudah dilakukan oleh peneliti lain. Penelitian oleh Yacob et al., (2006) dan Adela et al., (2014) mengkaji penggunaan proses anaerobik dalam mengolah sawit. Produksi biogas juga diteliti pada studi tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Lok et al., (2020) menggunakan kombinasi antara proses aerobik dan anaerobik untuk menurunkan kandungan COD pada limbah. Penelitian Bakar et al., (2022) mengkaji penggunaan fermentasi untuk menurunkan kandungan BOD, COD, dan TSS pada limbah. Penelitian ini mempelajari penggunaan proses anaerobik dan

aerobik untuk menurunkan parameter limbah seperti BOD, COD, TSS, dan kandungan minyak/lemak pada limbah kelapa sawit yang dijumpai di Indonesia dengan memanfaatkan perangkat lunak. Penelitian ini meliputi desain proses pengolahan limbah untuk mendapatkan spesifikasi limbah yang memenuhi baku mutu. Simulasi juga dilakukan untuk melihat kinerja proses pengolahan limbah akibat adanya kenaikan parameter limbah.

2. BAHAN DAN METODE

Limbah minyak kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data dari PT Perkebunan Nasional VIII, Pandeglang (Rahardjo, 2005). Komposisi limbah ini juga memiliki kemiripan dengan komposisi limbah yang dipaparkan oleh Paramitadevi (2017). Parameter uji limbah ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter uji limbah kelapa sawit (Paramitadevi, 2017)

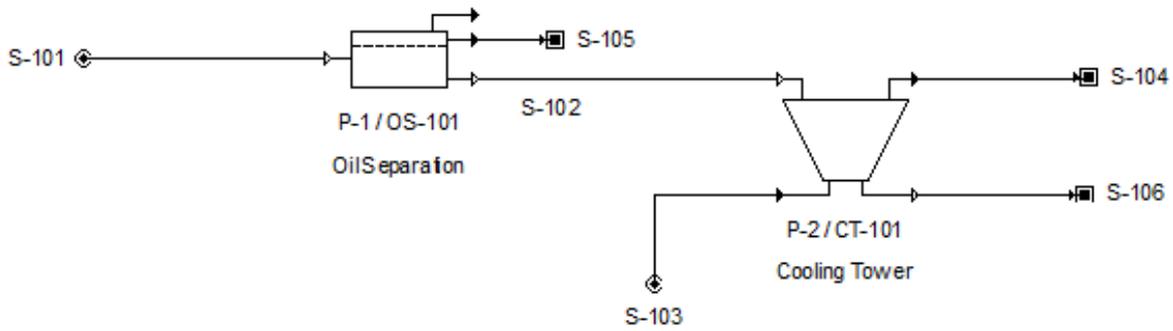
Parameter	Nilai
Debit limbah (m ³ /jam)	18
Temperatur (°C)	70
pH	4,3
TSS (mg/l)	4.000
BOD(mg/l)	22.500
COD (mg/l)	30.500
Nitrogen (mg/l)	550
Minyak/lemak (mg/l)	900

Penelitian ini terdiri dari 3 tahap yaitu desain proses pengolahan limbah, validasi, dan simulasi. Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak SuperPro Designer v.13

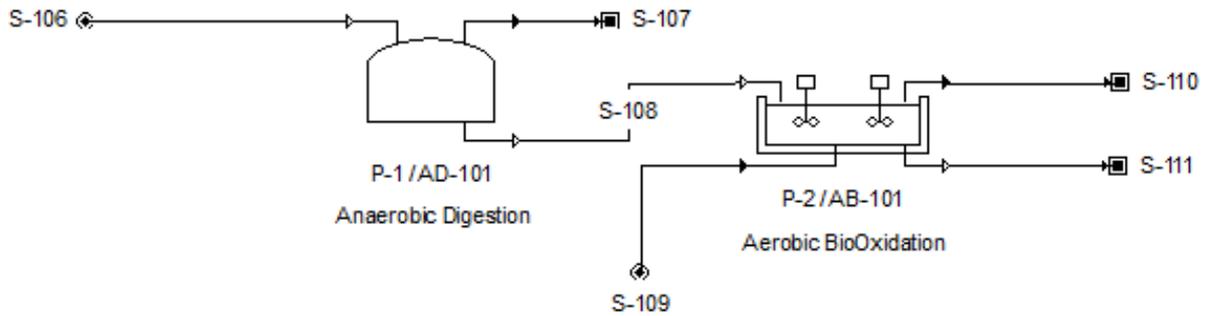
2.1 Desain Proses Pengolahan Limbah

Proses pengolahan limbah terdiri dari *pretreatment* dan pengolahan utama. Pada *pretreatment* terdiri dari tangki pemisahan minyak dan pendinginan (Gambar 2). Sedangkan pada pengolahan utama terdiri dari *anaerobic digestion* dan *aerobic bio-oxidation* (Gambar 3).

Pada tangki pemisahan minyak (*oil separation tank*) terjadi proses penghilangan minyak yang terdapat dalam limbah. Kedalaman tangki yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 ft sesuai rekomendasi dari API. Pendinginan limbah menggunakan menara pendingin dengan bantuan udara. Udara yang digunakan berada pada temperatur 30°C dengan kelembapan relatif 60%. Rasio laju alir gas dengan cairan (L/G) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,45 dengan *water loading* sebesar 5 gal/min.ft². Target pendinginan yang dicapai yaitu 38°C. Pada simulasi ini, reaksi yang terjadi dalam *anaerobic digester* disajikan dalam Tabel 2 sedangkan reaksi pada *aerobic bio-oxidation* disajikan dalam Tabel



Gambar 2 Proses Pretreatment



Gambar 3 Anaerobic digestion dan aerobic bio-oxidation

3. Jenis inokulum pada *anaerobic digester* menggunakan *database* simulator yang digunakan.

Tabel 2. Reaksi dalam *anaerobic digester*

Komponen	Reaksi
Karbohidrat	$C_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$ (1)
Protein	$C_{16}H_{24}O_5N_4 + 14,5H_2O \rightarrow 8,25CH_4 + 3,75CO_2 + 4NH_4^+ + 4HCO_3^-$ (2)
Lemak	$C_{50}H_{90}O_6 + 24,5H_2O \rightarrow 34,75CH_4 + 15,25CO_2$ (3)

Tabel 3. Reaksi dalam *aerobic bio-oxidation*

Komponen	Reaksi
Karbohidrat	$C_6H_{10}O_5 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 5H_2O$ (4)
Protein	$C_{16}H_{24}O_5N_4 + 16,5O_2 \rightarrow 16CO_2 + 6H_2O + 4NH_3$ (5)
Lemak	$C_{50}H_{90}O_6 + 69,5O_2 \rightarrow 50CO_2 + 45H_2O$ (6)

2.2 Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh penelitian ini dengan hasil literatur. Validasi dilakukan pada *anaerobic digester* dan *aerobic bio-oxidation*. Variabel yang diamati adalah persentase pemisahan yang dihasilkan (%-removal) untuk nilai beban organik, waktu tinggal dan dimensi alat yang sama.

2.3 Simulasi

Simulasi dilakukan dengan memvariasikan parameter limbah yang digunakan. Variabel yang diubah yaitu BOD, COD, TSS, dan kandungan minyak/lemak. Simulasi dilakukan dengan kenaikan 25, 50, 75, dan 100% menggunakan sistem pengolahan limbah yang telah dirancang. Limbah yang diolah akan

dibandingkan dengan baku mutu limbah yang ditetapkan oleh Permen LH No. 5 tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah bagi industri minyak sawit (Tabel 4).

Tabel 4. Baku mutu limbah cair minyak kelapa sawit

Parameter	Kadar Maksimum
TSS (mg/l)	250
BOD(mg/l)	100
COD (mg/l)	350
Minyak/lemak (mg/l)	25
Nitrogen (mg/l)	50

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan dan Validasi

Berdasarkan proses pengolahan limbah yang dirancang, pemisahan minyak/lemak pada tangki pemisah (*oil separation tank*) bisa mencapai 89,12%. Rasio laju alir limbah dan udara pengering dijaga sebesar 0,455 untuk menghindari adanya pembentukan kabut yang bisa mempengaruhi suhu sebelum memasuki proses anaerob dan aerob.

Pada unit *aerobic bio-oxidation* dan *anaerobic digester* dilakukan validasi untuk membandingkan hasil penelitian ini dengan literatur. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah perancangan yang dilakukan pada penelitian ini sudah valid atau belum. Pada *aerobic bio-oxidation* dilakukan perbandingan %-removal COD untuk beberapa variasi laju beban organik (OLR) dan waktu tinggal (HRT). Perbandingan hasil perancangan *aerobic bio-oxidation* pada penelitian ini dengan literatur disajikan dalam Tabel 5.

Dari Tabel 5 terlihat jika untuk laju beban organik dan waktu tinggal yang sama, %-removal yang diperoleh penelitian ini sudah menyerupai hasil yang diperoleh oleh literatur. Demikian juga pada unit *anaerobic digester*. Pada penelitian ini diperoleh

penghilangan sebesar 84,14% sedangkan (Chan et al., 2020) memperoleh penghilangan sebesar 85%. Berdasarkan perbandingan hasil pada kedua unit tersebut bisa disimpulkan bahwa perancangan pada penelitian ini telah valid karena telah mendapatkan %-removal yang sudah menyerupai hasil dari literatur.

Tabel 5. Validasi unit *aerobic bio-oxidation*

OLR (COD/m ³ hari)	HRT (hari)	%removal	
		Penelitian Ini	Literatur
5,09	10	67,04	68 (Chotwattanasak & Puetpaiboon, 2011)
5,45	11	71,66	71,6 (Chan et al., 2020)
13,25	10	66,21	67,5 (Pechsuth et al., 2001)

Setelah proses desain selesai dilakukan, maka parameter baku mutu limbah dibandingkan dengan peraturan yang berlaku. Perbandingan antara efluen limbah akhir pada penelitian ini dengan standar baku mutu yang berlaku di Indonesia untuk limbah kelapa sawit tersaji pada Tabel 6. Pada penelitian ini menggunakan HRT sebesar 4,1 hari dan OLR sebesar 9,5 COD/m³ hari.

Tabel 6. Perbandingan efluen limbah dengan baku mutu limbah

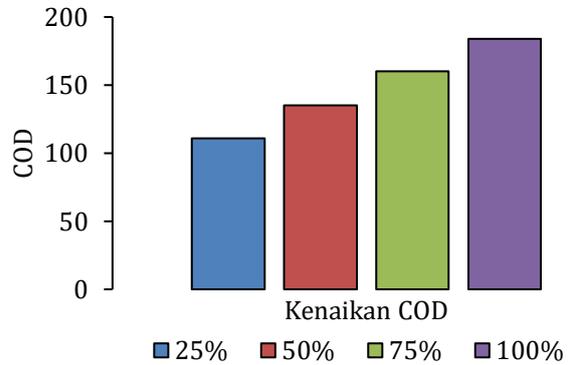
Parameter	Efluen Limbah (Penelitian Ini)	Baku Mutu
TSS (mg/l)	181,61	250
BOD(mg/l)	63,86	100
COD (mg/l)	86,56	350
Minyak/lemak (mg/l)	11,66	25
Nitrogen (mg/l)	1,02	50

Pada Tabel 6 di atas dapat dilihat bahwa setiap parameter uji pada limbah telah berada di bawah nilai baku mutu yang ditetapkan oleh Permen LH No. 5 Tahun 2014, maka proses pengolahan limbah yang telah dirancang mampu menghasilkan efluen limbah yang aman untuk dibuang ke lingkungan.

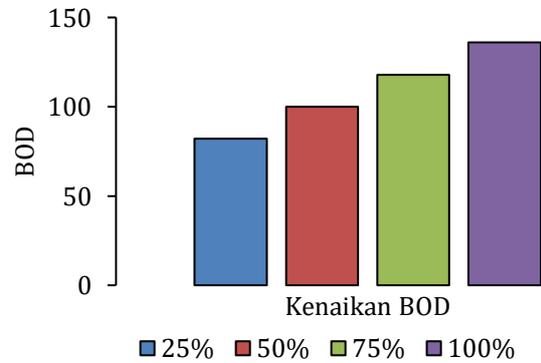
3.2 Simulasi

Setelah proses desain unit-unit proses pada pengolahan limbah kelapa sawit ini dilakukan, penelitian ini dilanjutkan dengan memvariasikan parameter limbah seperti kadar BOD, COD, TSS, serta kadar minyak/lemak. Simulasi ini dilakukan dengan pertimbangan kandungan limbah yang bisa mengalami fluktuatif, sehingga serangkaian unit yang telah didesain perlu ditinjau kinerjanya apakah masih dapat mengolah limbah yang mengalami fluktuasi ini hingga mencapai baku mutu yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini, variabel akan dinaikkan sebesar 25, 50,

75, dan 100%. Efluen limbah yang dihasilkan pada setiap kenaikan parameter tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu limbah. Hasil simulasi untuk variasi keempat parameter disajikan dalam Gambar 4 sampai 7.

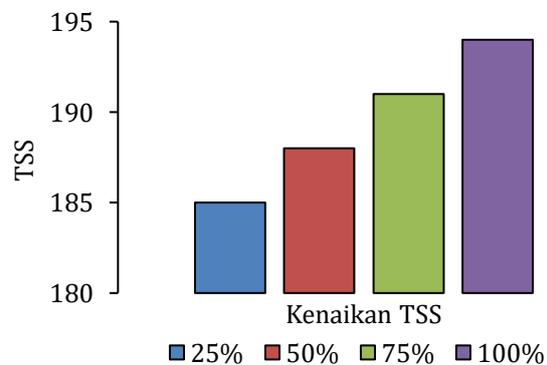


Gambar 4. Hasil simulasi kenaikan COD

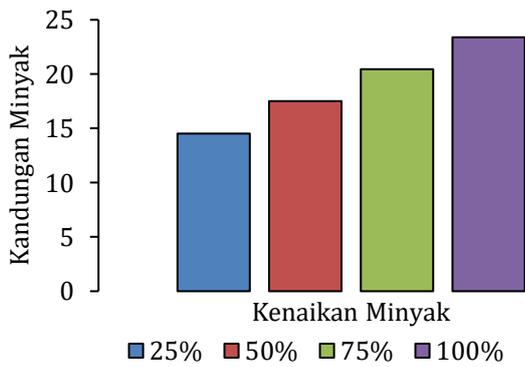


Gambar 5. Hasil simulasi kenaikan BOD

Dari ke-empat simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat dengan kenaikan parameter limbah maka kandungan yang terdapat dalam efluen limbah juga akan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh ukuran alat dan waktu tinggal yang digunakan konstan. Dengan waktu tinggal yang konstan maka kenaikan parameter limbah akan meningkatkan efluen limbah yang dihasilkan.

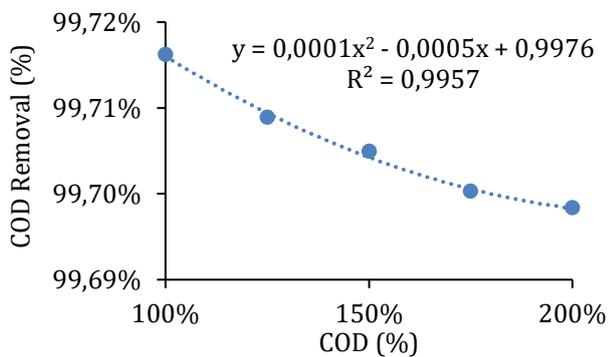


Gambar 6. Hasil simulasi kenaikan TSS



Gambar 7. Hasil simulasi kenaikan kandungan minyak

Hubungan antara COD awal dengan persentase penghilangan COD (COD *removal*) disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara COD mula-mula dengan COD *removal*

Pada simulasi kenaikan COD, TSS dan kandungan minyak/lemak, sistem pengolahan limbah yang telah dirancang mampu menangani kenaikan parameter hingga 2× lipat. Hal ini terlihat dari COD efluen limbah yang masih di bawah 350 mg/l, nilai TSS di bawah 250 mg/l dan kandungan minyak/lemak di bawah 25 mg/l. Untuk kenaikan BOD, sistem ini hanya mampu menangani kenaikan hingga 50%. Hal ini disebabkan nilai BOD yang sudah mendekati baku mutu limbah bahkan sebelum dilakukan variasi kenaikan BOD. Jika sistem pengolahan limbah ini ingin ditingkatkan agar mampu menangani limbah hingga 2 kali lipat maka perancangan unit *aerobic bio-oxidation* dan *anaerobic digester* harus dilakukan perubahan seperti peningkatan dimensi alat dan waktu tinggal serta meningkatkan pasokan oksigen pada *aerobic bio-oxidation*.

4. KESIMPULAN

Sistem pengolahan limbah kelapa sawit untuk menghasilkan efluen limbah yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan pemerintah telah dirancang. Pengolahan limbah terdiri dari proses pemisahan minyak, pendinginan, *anerobic digester*, dan *aerobic bio-oxidation*. Desain yang telah dilakukan mampu menghasilkan efluen limbah yang memenuhi baku mutu limbah. Studi tentang kapabilitas sistem pengolahan limbah dalam menangani kenaikan parameter limbah juga telah dilakukan. Kenaikan parameter COD, TSS, dan kandungan minyak/lemak

hingga 100% masih bisa ditangani oleh sistem yang dirancang. Sedangkan untuk kenaikan BOD hanya mampu ditangani hingga kenaikan 50%. Pengolahan limbah ini akan menghasilkan biogas dengan jumlah cukup besar. Pada studi ini, biogas tersebut belum menjadi bahan kajian. Penelitian lebih lanjut tentang pengolahan biogas yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah ini sangat diperlukan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adela, B. N., Muzzammil, N., Loh, S. K., & Choo, Y. M. (2014). Characteristics of palm oil mill effluent (POME) in an anaerobic biogas digester. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences Paper*, 16(1), 225–231.
- Bakar, N. A. S. A., Khuzaini, N. A., & Baidurah, S. (2022). Co-fermentation involving *Lysinibacillus* sp. and *Aspergillus flavus* for simultaneous palm oil waste treatment and renewable biomass fuel production. *AIMS Microbiology*, 8(3), 357.
- Chan, Y. J., Hue, F. S., Chong, M. F., Ng, D. K. S., & Lim, D. L. K. (2020). Pre-commercialized integrated anaerobic-aerobic bioreactor (IAAB) for palm oil mill effluent (POME) treatment & biogas generation. *Journal of Oil Palm, Environment and Health (JOPEH)*, 11.
- Chotwattanasak, J., & Puetpaiboon, U. (2011). Full scale anaerobic digester for treating palm oil mill wastewater. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 2, 133–136.
- Iskandar, M. J., Baharum, A., Anuar, F. H., & Othaman, R. (2018). Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review. *Environmental Technology & Innovation*, 9, 169–185.
- Lok, X., Chan, Y. J., & Foo, D. C. Y. (2020). Simulation and optimisation of full-scale palm oil mill effluent (POME) treatment plant with biogas production. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101558.
- Paramitadevi, Y. V. (2017). Technical problems of wastewater treatment plant in crude palm oil industry A case study in PT Socfin Indonesia-Kebun Sungai Liput, Nang groe Aceh Darussalam Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1), 12048.
- Pechsuth, M., Prasertsan, P., & Ukita, M. (2001). High rate anaerobic treatment of palm oil mill effluent. *Songklanakarinn J. Sci. Technol*, 23, 779–787.
- Rahardjo, P. N. (2005). Permasalahan Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Air Indonesia*, 1(1).
- Said, M., Rayahu, R. M., Yuliani, A. Dela, & Faizal, M. (2019). Aerobic treatment of POME with indigeneous individual and consortium bacteria. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620(1), 12021.
- Wan Sharifudin, W. S. S. A., Sulaiman, A., Mokhtar, N., Baharuddin, A. S., Tabatabaei, M., Busu, Z., & Subbian, K. (2015). Presence of Residual Oil in Relation to Solid Particle Distribution in Palm Oil Mill Effluent. *BioResources*, 10(4).
- Yacob, S., Hassan, M. A., Shirai, Y., Wakisaka, M., &

Subash, S. (2006). Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Science of the Total Environment*, 366(1), 187-196.