

## **Evaluasi Stabilitas Sistem Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit *Single Feeding* Melalui Pemantauan Suhu, VFA, dan Alkalinitas**

### ***Stability Evaluation of Palm Oil Mill Effluent Treatment in a Single Feeding Systems Through Temperature, VFA, and Alkalinity Monitoring***

**Rengga Arnalis Renjani, Sisca Ramadhani, Nuraeni Dwi Dharmawati<sup>a</sup>**

**Prodi Teknik Pertanian, Institut Pertanian Stiper (INSTIPER), Jl. Nangka II Maguwoharjo, Depok, Sleman Yogyakarta 55281, Indonesia**

**<sup>a</sup>Korespondensi: Nuraeni Dwi Dharmawati; Telp/Hp: 081392623070; E-mail: nuraenidharmawati@yahoo.com**

#### **ABSTRACT**

*Palm Oil Mill Effluent (POME) is one of the most critical environmental concerns in the palm oil industry due to its high organic load and strongly acidic nature. Improper management of POME poses significant risks to aquatic ecosystems and soil quality. This study aimed to evaluate the biological stability of a single feeding POME treatment system by monitoring temperature, pH, volatile fatty acids (VFA), and total alkalinity (TA) across a 21-day observation period at each treatment pond. Parameters were measured sequentially from the effluent outlet to the final sedimentation pond. The results showed a gradual decrease in temperature from 63°C to 27–30°C, with a corresponding increase in pH from 4.23 to 7.86, indicating successful neutralization. VFA concentrations ranged from 458–474 mg/L, while TA remained within 2.40–2.57, resulting in a VFA/TA ratio consistently below 0.4. These values confirmed that the system operated under biologically stable conditions. The study concluded that monitoring these parameters offers a simple, cost-effective method for assessing the operational performance of open-lagoon POME treatment systems. Scientifically, this research contributes to the development of practical tools for real-time wastewater monitoring in agro-industrial applications. Environmentally, it supports safer and more sustainable land application of treated POME, reducing the risk of pollution and promoting better resource recovery practices.*

**Keywords:** Alkalinity, land application, pH, POME, temperature, VFA

#### **ABSTRAK**

Limah cair kelapa sawit atau POME merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan terbesar dari industri kelapa sawit. Kandungan bahan organik tinggi dan sifat asam yang kuat menjadikan POME berisiko merusak ekosistem jika tidak ditangani secara tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan sistem pengolahan POME tipe *single feeding* melalui pemantauan parameter suhu, pH, *volatile fatty acids* (VFA), dan *total alkalinity* (TA) selama 21 hari di setiap kolam pengolahan berjenjang. Pengukuran dilakukan secara langsung pada titik effluent awal hingga kolam sedimentasi. Hasil penelitian menunjukkan penurunan suhu dari 63°C menjadi 27–30°C serta peningkatan pH dari 4,23 menjadi 7,86, menandakan keberhasilan proses netralisasi. Nilai VFA berkisar antara 458–474 mg/L, dan TA antara 2,40–2,57, dengan rasio VFA/TA < 0,4 yang menunjukkan kestabilan biologis sistem. Hasil ini membuktikan bahwa pendekatan pemantauan parameter biologis mampu memberikan informasi akurat dan efisien tentang performa IPAL. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pemantauan suhu, pH, VFA, dan TA dapat digunakan sebagai metode alternatif yang ekonomis untuk menilai kualitas proses pengolahan POME. Secara ilmiah, pendekatan ini memperkaya strategi pemantauan sistem IPAL terbuka di sektor agroindustri. Secara lingkungan, hasil penelitian ini mendukung pengelolaan limbah yang lebih aman, efisien, dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan bagi masa depan yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

**Kata kunci:** Alkalinitas, land application, pH, POME, suhu, VFA

## PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor unggulan yang berkontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Namun, kegiatan industri ini juga tidak lepas dari berbagai isu lingkungan yang kompleks. Beberapa permasalahan yang sering disoroti secara global terkait kelapa sawit meliputi deforestasi, peningkatan emisi gas rumah kaca (*greenhouse gas emissions*), pencemaran udara, pencemaran air, hingga kerusakan kualitas tanah akibat aktivitas pengolahan dan pembuangan limbah (Ng et al., 2020; Appels et al., 2008).

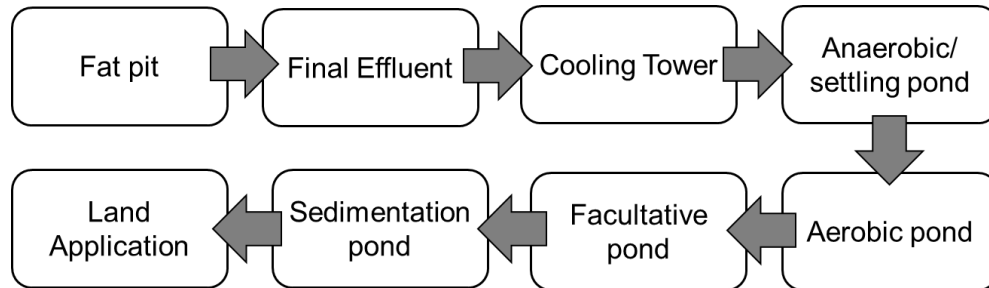
Salah satu limbah utama yang dihasilkan dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (*Fresh Fruit Bunches–FFB*) menjadi minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil–CPO*) adalah limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah ini tergolong sebagai limbah organik dengan beban pencemar tinggi yang dapat merusak lingkungan apabila tidak ditangani secara tepat. Setiap unit *palm oil mill* (POM) dengan kapasitas 45 Ton TBS per jam dapat menghasilkan POME sebanyak 50–60% dari berat bahan baku yang diproses, atau setara dengan  $\pm$  22–27 Ton POME per jam (Wu et al., 2010). Volume ini merupakan beban limbah yang sangat besar dan memerlukan sistem pengolahan yang andal serta pengawasan berkelanjutan.

Tantangan utama dalam pengelolaan POME adalah kebutuhan biaya tinggi untuk pemantauan kualitas limbah, terutama parameter utama seperti *chemical oxygen demand* (COD) dan *biochemical oxygen demand* (BOD). Pengujian kedua parameter ini memerlukan proses laboratorium yang kompleks, waktu yang lama, dan biaya yang cukup tinggi, terutama jika dilakukan secara berkala dan dalam jumlah sampel yang besar (Hamzah et al., 2020). Sebagai solusi, pendekatan pemantauan alternatif berbasis parameter indikator seperti suhu, pH, *volatile fatty acids* (VFA), dan *total alkalinity* (TA) menjadi penting untuk dikembangkan. Parameter-parameter ini bersifat lebih mudah diukur, tidak membutuhkan biaya tinggi, dan dapat merepresentasikan stabilitas proses pengolahan secara biologis (Gerardi, 2003).

Sistem pengolahan POME dengan pendekatan *single feeding* memiliki keunggulan karena limbah dialirkan secara berurutan melalui tahapan: *fat pit* (pemulihan kembali *light phase*), *cooling tower*, kolam anaerobik, aerobik, fakultatif, kolam sedimentasi, dan akhirnya ke lahan (*land application*) seperti yang tersaji pada Gambar 1. Model ini memberikan peluang untuk dilakukan pemantauan berjenjang pada tiap tahap pengolahan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengolahan POME menggunakan sistem reaktor anaerobik dua tahap, teknologi membran, pemanfaatan biogas, dan model *photocatalytic polishing* (Ahmad et al., 2003; Zakarya et al., 2016; Ng et al., 2020). Namun,

studi-studi tersebut lebih banyak berfokus pada optimalisasi sistem reaktor tertutup dan belum banyak membahas dinamika kualitas limbah pada sistem kolam terbuka dengan aliran kontinu seperti *single feeding*. Selain itu, keterkaitan antara indikator mutu seperti VFA dan TA dengan kelayakan *land application* masih terbatas dalam konteks aplikatif di lapangan.



Gambar 1. Pengolahan POME *single feeding*

Penelitian ini menghadirkan kebaruan dalam bentuk evaluasi mutu limbah cair POME pada sistem *single feeding* berdasarkan parameter suhu, pH, VFA, dan TA secara bertahap di setiap kolam pengolahan. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai stabilitas proses pengolahan limbah secara menyeluruh, serta memastikan bahwa limbah yang dikirimkan ke lahan memenuhi standar mutu minimum, khususnya terkait pH dan rasio VFA/TA, sesuai prinsip keberlanjutan (*sustainability*) yang diadopsi oleh industri kelapa sawit.

## MATERI DAN METODE

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) milik pabrik kelapa sawit yang berlokasi di Desa Damit Hulu, Kecamatan Batu Ampar, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu wilayah sentra industri kelapa sawit yang aktif memanfaatkan sistem kolam terbuka (*open pond system*) dengan pendekatan *single feeding* dalam pengelolaan limbah cair kelapa sawit.

### Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang di gunakan pada penelitian ini menggunakan pyrex beaker glass 100 ml, pyrexbeaker glass 250 ml, burret digital titrette, botol sampel, thermometer suhu degree glass, magnet stirrer, stirring hotplates 550°, gelas ukur 50 ml, pH meter digital Merk Orion Star tipe A211, larutan metil oren, larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan sampel POME dari kolam limbah.

## Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan system pengolahan POME berdasarkan pemantauan parameter suhu, pH, *volatile fatty acids* (VFA), dan *total alkalinity* (TA) pada sistem kolam pengolahan tipe *single feeding*. Tahapan pelaksanaan penelitian ini terdiri atas beberapa langkah berikut: Tahap awal dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan dalam sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit, khususnya terkait tingginya beban pencemar (COD dan BOD), fluktuasi pH, serta kebutuhan *monitoring* efisien tanpa bergantung pada uji laboratorium mahal (Hamzah et al., 2020). Selain itu, identifikasi dilakukan untuk menentukan titik-titik pengambilan sampel dalam sistem kolam bertingkat: mulai dari *final effluent*, *cooling tower*, *settling pond*, kolam *aerobic*, kolam fakultatif, hingga kolam *sedimentasi*.

Suhu diukur secara langsung di setiap kolam selama 21 hari berturut-turut menggunakan termometer digital pada waktu yang sama setiap harinya. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui dinamika temperatur yang memengaruhi aktivitas mikroorganisme, khususnya dalam fase fermentasi dan metanogenesis (Gerardi, 2003; Choorit & Wisarnwan, 2007). Suhu optimal penting dijaga untuk mendukung pertumbuhan mikroba mesofilik yang bekerja pada rentang 30–38°C (Appels et al., 2008).

Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter portable pada titik sampling yang sama dan periode yang sama dengan pengukuran suhu. Parameter pH mencerminkan kondisi keasaman atau kebasaan limbah dan memengaruhi aktivitas mikroba seperti asidogenik, asetogenik, dan metanogenik. Bakteri metanogen, misalnya, membutuhkan pH netral (6.8–7.5) untuk berfungsi secara optimal (Gerardi, 2003). Sampel limbah dari setiap kolam dianalisis untuk menentukan kadar VFA menggunakan metode titrasi atau spektrofotometri sesuai standar APHA. VFA merupakan produk antara dari fase asidogenesis dan menjadi sumber substrat utama bagi bakteri metanogenik. Fluktuasi kadar VFA mencerminkan kestabilan proses fermentasi dan keberhasilan konversi substrat organik (Issah & Kabera, 2020; Sitama Lewar & Kahar, 2020).

TA diukur menggunakan metode titrasi standar (mg CaCO<sub>3</sub>/L) untuk mengetahui kapasitas buffer dari sistem terhadap akumulasi asam organik. TA sangat penting dalam mempertahankan kestabilan pH, terutama saat terjadi akumulasi VFA. Sistem yang stabil umumnya memiliki rasio VFA/TA < 0,4 sebagai indikator kesehatan proses anaerobik (Gerardi, 2003; Hamzah et al., 2020).

## Analisis Data

Data yang diperoleh dari setiap parameter dianalisis secara deskriptif dan grafis untuk menilai pola perubahan dan keterkaitannya antar parameter. Fokus utama analisis adalah menentukan hubungan antara suhu, pH, VFA, dan TA terhadap kestabilan sistem, serta mengevaluasi apakah limbah memenuhi syarat untuk diaplikasikan ke lahan berdasarkan rasio VFA/TA dan pH akhir (Ng et al., 2020; Fadhilah et al., 2024).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

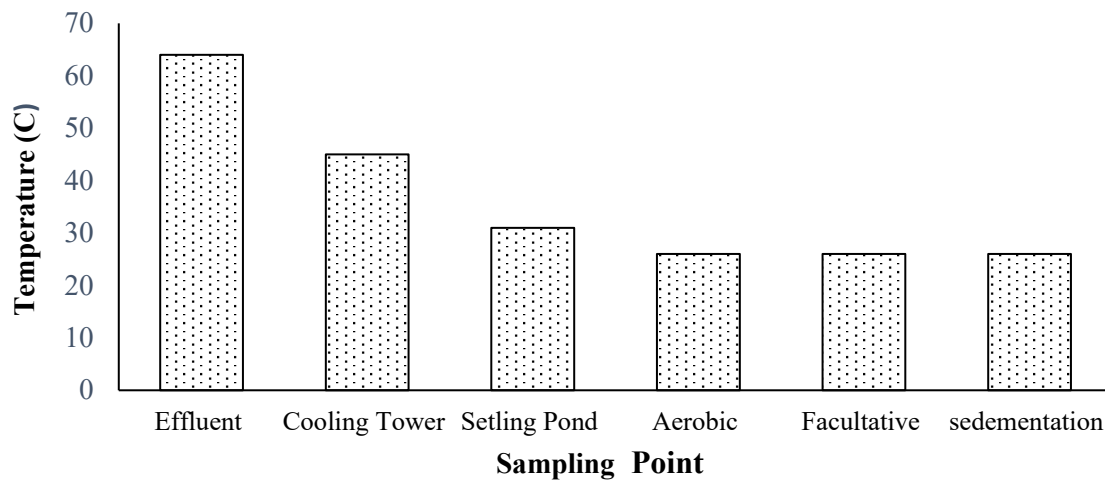
### Suhu Tiap Kolam Effluent

Gambar 1 menunjukkan tren penurunan suhu yang konsisten pada setiap titik pengambilan sampel di sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit. Suhu *effluent* awal tercatat sekitar 63°C, mencerminkan sisa panas dari proses sterilisasi dan ekstraksi buah sawit (Hamzah et al., 2020; Wu et al., 2010). Setelah melewati *cooling tower*, suhu menurun signifikan menjadi sekitar 45°C. Proses ini berfungsi untuk menurunkan temperatur ke tingkat yang lebih ramah bagi mikroorganisme pengurai (Ng et al., 2020).

Limbah kemudian dialirkan secara bertahap melalui kolam *settling*, *aerobic*, *facultative*, hingga kolam sedimentasi. Grafik memperlihatkan suhu stabil di kisaran 27–30°C sejak memasuki kolam aerobik hingga sedimentasi. Kisaran suhu ini sangat ideal untuk menunjang pertumbuhan mikroorganisme mesofilik, yang berperan penting dalam proses dekomposisi senyawa organik dalam sistem IPAL kolam terbuka (Appels et al., 2008; Yacob et al., 2006).

Suhu yang stabil di fase akhir pengolahan memainkan peran penting dalam menjaga kestabilan pH dan mencegah akumulasi asam lemak volatil (VFA). Akumulasi VFA akibat gangguan suhu dapat menurunkan efisiensi konversi substrat menjadi metana serta menyebabkan penurunan performa sistem (Gerardi, 2003; Hamzah et al., 2020). Ketidaksesuaian suhu juga dapat menghambat aktivitas mikroba metanogenik seperti *Methanosaeta* dan *Methanosarcina* (Angelidaki & Ahring, 1994).

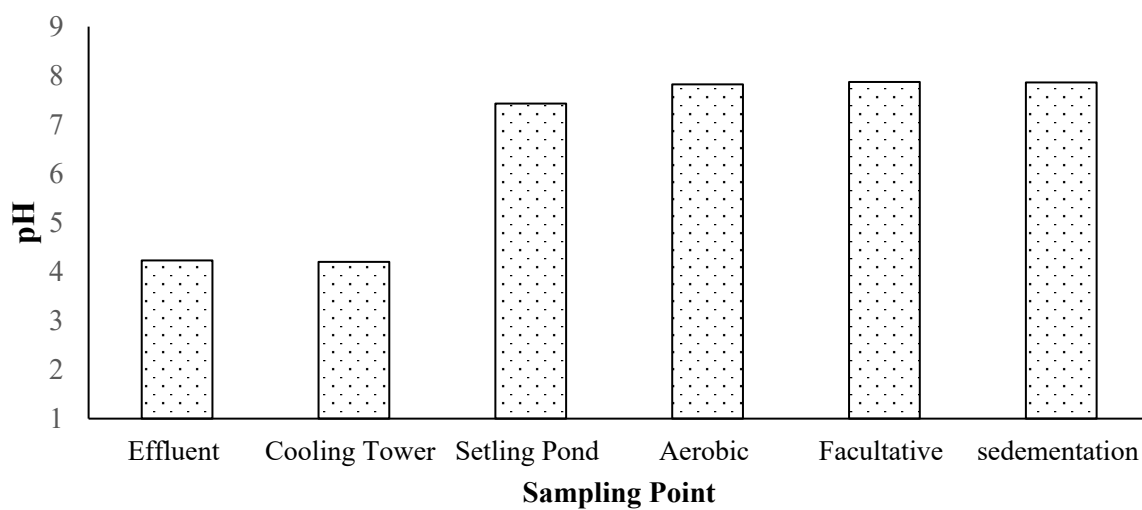
Penurunan suhu yang bertahap dan pencapaian suhu stabil di kolam akhir menunjukkan bahwa sistem pendinginan dan aliran sirkulasi limbah dalam IPAL berfungsi secara efektif. Pemantauan suhu secara berkala dapat digunakan sebagai indikator operasional untuk menjaga kestabilan proses biologis dan meningkatkan efisiensi pengolahan limbah secara menyeluruh.



Gambar.1 Perubahan suhu pada tiap kolam

### pH Kolam Effluent

Dari gambar. 2 yaitu rata-rata pH pada tiap kolam. Hasil pengukuran rata-rata pH pada setiap titik pengolahan menunjukkan adanya perubahan signifikan sepanjang proses pengolahan limbah cair kelapa sawit (Widyowanti et al., 2021). Berdasarkan data, nilai pH di kolam effluent awal tercatat sebesar 4,23 dan sedikit menurun di cooling tower menjadi 4,20. Nilai ini menunjukkan kondisi asam yang kuat, yang merupakan karakteristik umum dari POME mentah akibat tingginya kandungan asam lemak volatil (VFA) seperti asam asetat, propionat, dan butirat. Nilai pH masih berada di bawah standar baku mutu pH yang ditetapkan (5–9), sehingga memerlukan proses penyesuaian (Widyowanti et al., 2019; Ng et al., 2020).



Gambar. 2 Perubahan pH pada tiap kolam

Setelah melalui cooling tower, peningkatan pH mulai terlihat secara bertahap. Pada kolam settling pond, pH meningkat drastis menjadi 7.43, kemudian naik lagi pada kolam aerobic (7.82), kolam fakultatif (7.87), dan sedikit menurun menjadi 7.86 pada kolam sedimentasi. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem IPAL telah berhasil menetralkan limbah dari kondisi asam menjadi netral hingga sedikit basa, sesuai dengan kondisi optimal pertumbuhan mikroorganisme dalam proses biologis.

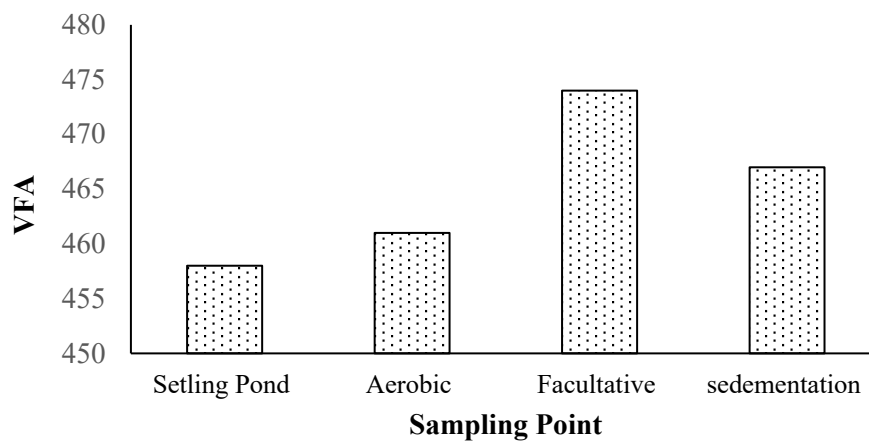
Menurut teori mikrobiologi pengolahan limbah, bakteri asidogen tumbuh baik pada pH sekitar 6, sementara bakteri asetogenik dan metanogenik memerlukan kondisi pH yang lebih netral, yakni antara 6.8 hingga 7.5 (Gerardi, 2003). Oleh karena itu, kondisi pH yang awalnya rendah pada POME harus disesuaikan agar aktivitas biologis dalam reaktor atau kolam pengolahan dapat berjalan optimal. Proses ini biasanya didukung dengan mekanisme buffering, misalnya dengan penambahan sodium bikarbonat, kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), atau sodium hidroksida (NaOH) (Nabilah & Putri, 2022).

Kenaikan pH yang terjadi secara bertahap di tiap kolam menunjukkan keberhasilan proses biologis dalam mengonsumsi asam organik, khususnya pada tahapan anaerobik dan fakultatif. Konversi VFA menjadi metana oleh metanogen ikut berkontribusi dalam menurunkan keasaman dan meningkatkan pH akhir limbah (Hamzah et al., 2020). Nilai pH akhir yang stabil di kisaran 7,8 pada kolam sedimentasi menunjukkan bahwa limbah telah mengalami proses stabilisasi dan siap untuk tahap akhir pembuangan atau aplikasi lahan (land application) sesuai standar lingkungan (Gunawan et al., 2024).

### ***Volatile Fatty Acid (VFA)***

Gambar 3 menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi VFA pada sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit mengalami fluktuasi antar kolam. Kolam *settling pond* memiliki kadar VFA sebesar 458 mg/L, meningkat menjadi 461 mg/L pada kolam *aerobic*, dan mencapai puncak 474 mg/L di kolam *fakultatif*. Konsentrasi ini kemudian menurun menjadi 467 mg/L pada kolam *sedimentasi*. Pola tersebut mencerminkan adanya aktivitas fermentatif yang aktif dan dinamis sepanjang jalur pengolahan. Mikroorganisme memanfaatkan substrat organik seperti COD dan BOD untuk menghasilkan senyawa antara berupa asam asetat, butirat, dan propionat (Gerardi, 2003; Hamzah et al., 2020). Semakin tinggi kandungan substrat organik, semakin besar pula konsentrasi VFA yang terbentuk (Sitama Lewar & Kahar, 2020). Penurunan kadar VFA pada tahap akhir menunjukkan bahwa proses asetogenesis dan metanogenesis mulai berperan dalam mengkonversi VFA menjadi metana (Appels et al., 2008).

Nilai VFA yang masih berada di bawah 500 mg/L menunjukkan bahwa sistem masih berada dalam kondisi stabil dan tidak mengalami akumulasi asam yang dapat mengganggu aktivitas mikroorganisme metanogenik (Choorit & Wisarnwan, 2007). Hasil ini sesuai dengan temuan Issah dan Kabera (2020) yang menjelaskan bahwa rasio VFA/TA < 0,4 menandakan sistem masih dalam zona aman. Mohammad et al. (2021) menegaskan bahwa sistem kolam terbuka pada pengolahan POME cenderung mengalami fluktuasi VFA, namun tetap stabil apabila kapasitas buffer sistem masih mencukupi. Sistem pengolahan IPAL yang diamati pada penelitian ini menunjukkan kestabilan biologis yang baik dan keberhasilan dalam mengelola fermentasi, sehingga limbah hasil akhir berpotensi aman untuk diaplikasikan ke lahan pertanian (*land application*). Monitoring VFA menjadi salah satu indikator penting untuk menilai performa sistem secara berkelanjutan.



Gambar. 3 Perubahan VFA pada tiap kolam

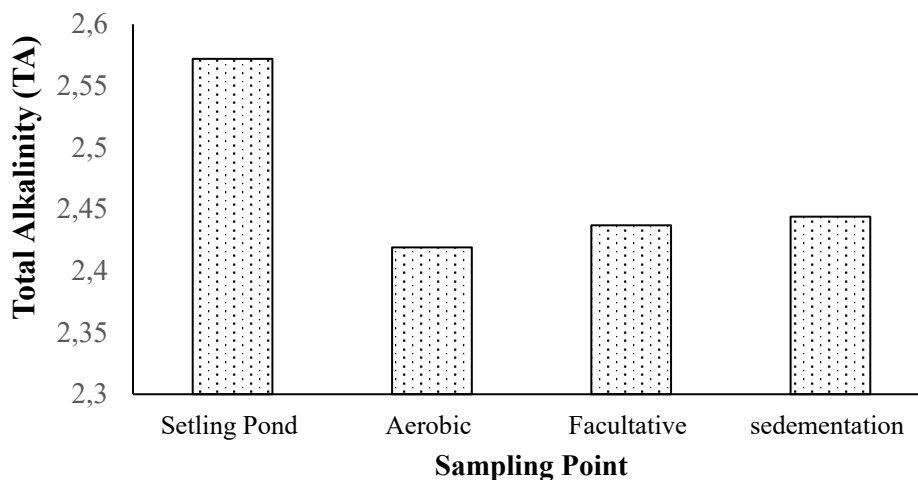
### **Total Alkalinity (TA)**

Grafik menunjukkan bahwa nilai TA mengalami penurunan dari kolam settling pond menuju kolam aerobik, kemudian stabil di kolam fakultatif dan sedimentasi. Rata-rata TA pada kolam settling pond tercatat sebesar 2,57, menurun menjadi 2,40 pada kolam aerobik, lalu sedikit meningkat menjadi 2,43 pada kolam fakultatif dan 2,44 pada kolam sedimentasi. Nilai TA mencerminkan kapasitas sistem dalam menetralkan asam yang terbentuk selama proses fermentasi senyawa organik dalam limbah cair. TA yang tinggi pada tahap awal menunjukkan kapasitas penyangga (*buffering capacity*) yang kuat terhadap akumulasi VFA yang dihasilkan selama dekomposisi anaerobik (Gerardi, 2003; Wu et al., 2010).

Penurunan TA pada kolam aerobik mengindikasikan meningkatnya aktivitas biologis yang menghasilkan VFA dalam jumlah cukup besar, sehingga sistem memanfaatkan alkalinitas untuk mempertahankan kestabilan pH (Ng et al., 2020). Fenomena ini konsisten dengan temuan Appels et al. (2008) dan Choorit & Wisarnwan (2007), yang menyatakan bahwa VFA cenderung terakumulasi pada fase transisi dari fermentasi ke metanogenesis, khususnya saat buffering system tidak sebanding dengan laju pembentukan asam.

Stabilitas TA pada kolam fakultatif dan sedimentasi menunjukkan sistem telah mencapai keseimbangan antara produksi VFA dan konversi oleh mikroorganisme asetogenik dan metanogenik (Yacob et al., 2006). Keberadaan TA dalam jumlah cukup memungkinkan pH tetap berada dalam kisaran optimum 6.5–7.5, yang penting untuk kelangsungan aktivitas mikroba pengurai (Angelidaki & Ahring, 1994; Hamzah et al., 2020). Sistem yang mampu menjaga TA pada kisaran tersebut cenderung lebih tahan terhadap guncangan asam dan memiliki performa stabil untuk pengolahan jangka panjang (Gerardi, 2003; Lam & Lee, 2011).

Rasio VFA/TA yang tetap berada di bawah ambang kritis ( $\leq 0,30$ ) sepanjang aliran sistem memperkuat kesimpulan bahwa sistem IPAL yang diamati beroperasi dalam kondisi stabil dan efisien. Penurunan rasio pada kolam sedimentasi menunjukkan proses pemulihan dan penetralan yang efektif setelah fermentasi maksimum terjadi pada kolam sebelumnya (Nta et al., 2020). Stabilitas rasio ini juga menunjukkan kesiapan limbah untuk diarahkan ke *land application* tanpa menimbulkan risiko lingkungan akibat fluktuasi pH atau akumulasi asam organik (Jaikaona et al., 2014; Ng et al., 2020). Pemantauan rasio VFA/TA secara berkala menjadi indikator strategis untuk memastikan bahwa pengolahan limbah berjalan dalam kondisi optimum dan berkelanjutan.



Gambar. 4 Perubahan TA pada tiap kolam

## KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Penelitian ini membuktikan bahwa pemantauan parameter suhu, pH, VFA, dan TA secara bertahap pada sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit tipe single feeding dapat memberikan gambaran menyeluruh terhadap kestabilan proses biologis. Hasil pengamatan menunjukkan penurunan suhu dari 63°C menjadi 27°C dan peningkatan pH dari 4,23 menjadi 7,86, yang mencerminkan kondisi ideal bagi aktivitas mikroorganisme pengurai. Rasio VFA/TA yang konsisten di bawah 0,4 menandakan sistem berjalan stabil tanpa akumulasi asam berlebih. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis indikator biologis dapat digunakan sebagai metode pemantauan teknis yang efisien dan lebih ekonomis dibandingkan metode laboratorium konvensional.

Secara ilmiah, pendekatan ini menawarkan kebaruan dalam sistem pemantauan kualitas IPAL terbuka, yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam praktik pengelolaan limbah. Hasil penelitian ini tidak hanya memperkaya kajian dalam bidang teknologi pengolahan limbah cair agroindustri, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam upaya pengurangan pencemaran dan perlindungan lingkungan. Implikasi praktisnya, pendekatan ini dapat diterapkan sebagai acuan teknis dalam memastikan keamanan *land application* limbah cair serta mendukung sistem pertanian yang berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Pertanian Stiper (INSTIPER) bekerja sama dengan PT. Gawi Makmur Kalimantan, yang telah memberikan dana, dukungan, dan fasilitas penelitian melalui program Magang Industri tahun 2024

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L., Ismail, S., & Bhatia, S. (2003). Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157(1-3), 87-95. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00382-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00382-0).
- Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (1994). Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: Effect of temperature. *Water Research*, 28(3), 727-731.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreè, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755-781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
- Choorit, W., & Wisarnwan, P. (2007). Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), 376-385.
- Fadhilah, N. N., Safitri, L., Alfian, U. A., Dharmawati, N. D., & Renjani, R. A. (2024). Minimize oil losses in palm oil mill through optimization of sludge separator

- performance. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 13(1), 123–131. <http://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i1.123-131>.
- Gerardi, M. H. (2003). *The microbiology of anaerobic digesters*. John Wiley & Sons.
- Gunawan, S., Hidayat, W., Purwoto, H., Wirianata, H., & Renjani, R. A. (2024). Aplikasi limbah cair pabrik terhadap keharaan tanah dan tanaman serta pengaruhnya terhadap produksi kelapa sawit di tanah pasiran. *Agrotechnology Research Journal*, 8(1), 43–48. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i1.91881>.
- Hamzah, M., Wira, D., & Suraya, N. (2020). Anaerobic digestion performance of acidified POME at different OLRs and temperatures. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 10(4), 1427–1433.
- Issah, A., & Kabera, T. (2020). Effects of VFA/alkalinity ratio and VS/TS on anaerobic digestion process: A case of brewery wastewater. *Waste Management & Research*, 38(12), 1335–1343. <https://doi.org/10.1177/0734242X20957395>.
- Jaikaona, S., Watanabe, M., Takeda, K., & Sasaki, K. (2014). Effect of volatile fatty acids on the performance of anaerobic treatment of POME. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 3, 39–44.
- Lam, M. K., & Lee, K. T. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win–win strategies toward better environmental protection. *Biotechnology Advances*, 29(1), 124–141. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.10.001>.
- Mohammad, F. K., Aminah, S., Faizal, A., Nuradibah, M. N., & Mohammad, M. A. (2021). Palm oil mill effluent treatment processes—A review. *Processes*, 9(5), 739. <https://doi.org/10.3390/pr9050739>.
- Nabilah, Y., & Putri, T. N. (2022). Produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit dengan penambahan kapur dan sodium bikarbonat sebagai zat penyangga pH. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 42–50.
- Ng, C. A., Cheah, W. Y., Chew, K. W., Lim, J. W., Show, P. L., & Ling, T. C. (2020). Strategies for POME treatment and utilization: A review. *Bioresource Technology*, 312, 123575. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123575>.
- Ng, K. H., Gan, Y. S., Cheng, C. K., Liu, K. H., & Liong, S. T. (2020). Integration of machine learning-based prediction for enhanced model's generalization: Application in photocatalytic polishing of palm oil mill effluent (POME). *Environmental Pollution*, 267, 115500. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115500>.
- Nta, S. A., Yusoff, M. Z. M., Basri, N. E. A., & Sulaiman, A. (2020). Performance of anaerobic digestion of palm oil mill effluent for biogas production. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 13(2), 45–55. <https://doi.org/10.9734/ajee/2020/v13i230180>.
- Sitama Lewar, & Kahar. (2020). Pengaruh konsentrasi COD terhadap pembentukan asam lemak volatil pada proses fermentasi limbah cair. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 19(1), 42–48. <https://doi.org/10.22146/jrl.55602>.
- Widyowanti, R. A., Dharmawati, N. D., Hertini, E. S., & Renjani, R. A. (2019). Karakterisasi pelet pupuk organik berbahan slurry limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk slow release. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 8(3), 187–197. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v8i3.187-197>.
- Widyowanti, R. A., Ginting, C., & Renjani, R. A. (2021). The potential of biogas slurry and palm oil mill effluent slurry as slow-release fertilizer pellet through densification. *Planta Tropika: Jurnal Agrosains*, 9(2), 90–99. <https://doi.org/10.18196/pt.v9i2.9588>.
- Wu, T. Y., Mohammad, A. W., Jahim, J. M., & Anuar, N. (2010). Bio-methane production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent (POME): A review. *Journal of Biotechnology*, 150(1), 6–9. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2010.08.012>.

- Yacob, S., Hassan, M. A., Shirai, Y., Wakisaka, M., & Subash, S. (2006). Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. *Chemosphere*, 59(11), 1575–1581. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.012>.
- Zakarya, I., Putri, T. N., & Yuliani, N. (2016). Pengaruh pH, alkalinitas, dan rasio C/N terhadap performa reaktor dua tahap dalam mencerna limbah cair kelapa sawit. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 45–52.