

ABSTRAK

PENINGKATAN BIOGAS DAN PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA MELALUI PERENDAMAN TKKS (TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT) DALAM POME (PALM OIL MILL EFFLUENT)

Oleh

Afid Fitro Setiawan

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar berupa Palm Oil Mill Effluent (POME) serta limbah padat berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS atau Empty Fruit Bunches, EFB). Kedua jenis limbah tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya metana (CH_4) dari sistem pengolahan limbah cair terbuka. Salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah fermentasi anaerob melalui sistem co-digestion POME dan EFB, yang tidak hanya berfungsi sebagai teknologi pengolahan limbah, tetapi juga sebagai sumber energi terbarukan berupa biogas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perendaman EFB dalam POME sebagai tahap pra-perlakuan sebelum fermentasi anaerob, dengan mempertimbangkan bentuk fisik EFB (cabik/shredded dan giling/crushed) serta waktu perendaman (4 dan 8 jam). Evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja reduksi parameter pencemar POME, stabilitas proses fermentasi, produksi dan kualitas biogas, serta potensi mitigasi emisi gas rumah kaca.

Percobaan dilakukan menggunakan reaktor anaerob sistem batch berkapasitas 1 L selama 40 hari fermentasi. Perlakuan substrat yang diuji meliputi POME tanpa penambahan EFB sebagai kontrol, serta kombinasi POME dengan EFB cabik (EFB) dan EFB giling (EFBC) yang direndam selama 4 dan 8 jam. Parameter yang diamati meliputi soluble chemical oxygen demand (S-COD), total solids (TS), volatile solids (VS), total volatile acid (TVA), pH, volume biogas harian dan kumulatif, komposisi gas (CH_4 , CO_2 , dan N_2), serta estimasi potensi penurunan emisi GRK. Analisis statistik dilakukan menggunakan uji ANOVA yang dilanjutkan dengan uji BNT (LSD) pada taraf kepercayaan 95%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan co-digestion mampu meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik dibandingkan dengan kontrol. Efisiensi reduksi S-COD berada pada kisaran 85–93%, yang mengindikasikan aktivitas mikroorganisme anaerob yang efektif selama proses fermentasi. Reduksi TS dan VS berkisar antara 13–39%, sementara nilai TVA menurun lebih dari 70% pada seluruh perlakuan, menunjukkan tidak terjadinya akumulasi asam yang

berpotensi menghambat proses metanogenesis. Nilai pH akhir fermentasi berada di atas 8, yang mencerminkan kondisi lingkungan reaktor yang stabil dan mendukung pembentukan metana.

Produksi biogas meningkat pada seluruh perlakuan co-digestion, dengan puncak produksi harian terjadi pada rentang hari ke-10 hingga ke-18. Kandungan metana dalam biogas mencapai 60–69%, yang menunjukkan kualitas biogas yang baik. Hasil penelitian ini juga mengungkapkan bahwa efisiensi reduksi substrat berbanding lurus dengan efisiensi konversi menjadi CH_4 . Pada perlakuan kontrol, meskipun efisiensi reduksi S-COD relatif lebih rendah, efisiensi konversi CH_4 tetap tinggi, yang diduga disebabkan oleh dominasi senyawa organik sederhana dalam POME yang lebih mudah dikonversi langsung menjadi metana. Sebaliknya, pada sistem co-digestion POME–EFB, sebagian COD yang tereduksi diduga digunakan untuk pertumbuhan biomassa mikroba dan pembentukan senyawa antara, sehingga tidak seluruhnya terkonversi menjadi CH_4 dalam periode fermentasi yang diamati.

Berdasarkan indikator reduksi pencemar, stabilitas proses, produksi biogas kumulatif, fraksi metana, serta kemudahan penanganan substrat, perlakuan EFB cabik yang direndam selama 4 jam (EFB 4) ditetapkan sebagai perlakuan paling optimal. Perlakuan ini menghasilkan produksi biogas yang konsisten, mencegah akumulasi asam, serta memiliki tahapan pra-perlakuan yang relatif sederhana dan berpotensi diaplikasikan pada skala industri.

Dari sisi mitigasi emisi gas rumah kaca, sistem co-digestion POME–EFB menunjukkan potensi yang signifikan. Berdasarkan perhitungan emisi, sistem ini mampu menghasilkan reduksi emisi bersih sebesar sekitar 34,6 kg CO_2e setiap 1 m^3 POME yang diolah. Ketika diekstrapolasi ke skala industri pengolahan kelapa sawit, potensi reduksi emisi mencapai sekitar 24,9 ton CO_2e per hari pada pabrik dengan kapasitas 60 ton TBS per jam, dengan asumsi waktu operasi 20 jam per hari. Selain itu, pemanfaatan biogas yang dihasilkan berpotensi menggantikan sebagian konsumsi bahan bakar fosil, sehingga memberikan manfaat tambahan berupa penghematan energi dan biaya operasional.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi sistem fermentasi anaerob berbasis co-digestion POME dan EFB merupakan strategi yang efektif dalam menurunkan beban pencemar limbah, meningkatkan produksi energi terbarukan, serta memberikan kontribusi nyata terhadap mitigasi emisi gas rumah kaca. Penerapan teknologi ini berpotensi mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan dan percepatan transisi menuju industri kelapa sawit rendah karbon di Indonesia.

Kata kunci

Palm Oil Mill Effluent (POME); Tandan Kosong Kelapa Sawit (EFB); Co-digestion

ABSTRACT

ENHANCEMENT OF BIOGAS PRODUCTION AND REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS THROUGH SOAKING OF EMPTY FRUIT BUNCHES (EFB) IN PALM OIL MILL EFFLUENT (POME)

By

Afid Fitro Setiawan

The palm oil industry generates substantial quantities of liquid waste in the form of Palm Oil Mill Effluent (POME) and solid waste such as Empty Fruit Bunches (EFB), both of which pose significant environmental risks and contribute to greenhouse gas (GHG) emissions. Anaerobic co-digestion of POME with EFB represents a promising waste-to-energy strategy that can enhance biogas production while mitigating GHG emissions. This study evaluated the effect of soaking shredded EFB (EFB) and ground EFB (EFBC) in POME for 4 and 8 hours prior to anaerobic fermentation.

Experiments were conducted using 1-L batch anaerobic digesters operated for 40 days. Parameters observed included soluble chemical oxygen demand (S-COD), total solids (TS), volatile solids (VS), total volatile acids (TVA), pH, biogas volume, $\text{CH}_4\text{--CO}_2\text{--N}_2$ composition, and estimated GHG emission reduction. POME without EFB addition served as the control. Statistical analyses were performed using ANOVA followed by LSD tests at a 95% confidence level.

The results showed that all co-digestion treatments enhanced organic matter degradation compared to the control. S-COD reduction ranged from 85 to 93%, indicating effective microbial activity during fermentation. TS and VS reductions ranged from 13 to 39%, while TVA decreased by more than 70%, suggesting the absence of acid accumulation. Final pH values above 8 indicated conditions favorable for methanogenesis. Biogas production increased in all co-digestion treatments, with peak daily production occurring between days 10 and 18. Methane content reached 60–69%, indicating good biogas quality.

Notably, high substrate removal efficiency was directly proportional to methane conversion efficiency to some extent. Although the control exhibited lower S-

COD reduction, it showed relatively high CH₄ conversion efficiency, likely due to the predominance of readily biodegradable organic compounds in POME. In contrast, part of the removed COD in co-digestion treatments was presumed to be utilized for microbial biomass growth and intermediate metabolites. Based on overall pollutant reduction, process stability, cumulative biogas production, methane concentration, and operational simplicity, the shredded EFB soaked for 4 hours (EFB 4) treatment was identified as the most optimal option.

GHG emission analysis indicated that the POME–EFB co-digestion system could achieve a net emission reduction of approximately 34.6 kg CO₂e per m³ of POME treated. When extrapolated to industrial scales, this corresponds to potential emission reductions of approximately 24.9 tons CO₂e per day for palm oil mills with processing capacities of 60 tons of fresh fruit bunches (FFB) per hour operated for 20 hours per day, respectively. These reductions are accompanied by substantial fossil fuel substitution potential through biogas utilization. Overall, anaerobic co-digestion of POME and EFB demonstrates strong potential for GHG mitigation, renewable energy generation, and supporting the transition toward sustainable and low-carbon palm oil production.

Keywords

Palm Oil Mill Effluent (POME); Empty Fruit Bunches (EFB); Greenhouse gas emissions