BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam menghadapi kebutuhan mendesak untuk solusi energi yang berkelanjutan dan netral karbon, beberapa negara menekankan pentingnya peningkatan riset dan penerapan metode ramah lingkungan untuk menghasilkan energi tanpa emisi karbon, terutama di tengah semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Hal ini dianggap krusial untuk mengatasi tantangan perubahan iklim sekaligus memastikan ketersediaan energi yang berkelanjutan bagi masa depan (Lv, 2023). Berdasarkan data Badan Energi Internasional, bahan bakar fosil berperan utama sekitar 84% dalam konsumsi energi pokok global pada tahun 2020. Sebaliknya, energi terbarukan hanya menyumbang sekitar 11% dari campuran energi global dengan energi nuklir dan biomassa atau sampah tradisional masing-masing menyumbang 4% dan 1%. Dampak negatif dari emisi gas rumah kaca yang sebagian besar didorong oleh penggunaan bahan bakar fosil, mengakibatkan perubahan iklim, polusi udara dan air, serta degradasi lingkungan (Holechek, dkk., 2022). Menurut *Renewable* Indonesia kebutuhan energi terbarukan di Indonesia sangat besar dan terus meningkat. Pada tahun 2023, kapasitas pembangkit listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) sudah mencapai 13.155 MW dengan target meningkat menjadi 13.886 MW di tahun 2024.

Indonesia memegang peran dominan dalam industri kelapa sawit global sebagai produsen dan eksportir terbesar, dengan volume produksi yang jauh melampaui minyak nabati lain selain minyak biji rape dan minyak bunga matahari (Ostfeld dan Reiner, 2024). Dengan semakin meningkatnya permintaan akan minyak kelapa sawit juga berdampak terhadap pada peningkatan produksi limbah, salah satunya adalah limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME memiliki temperatur di atas temperatur ruang, berwarna cokelat, kental, dan memiliki bau yang khas.

POME jika tidak ditangani dengan baik akan berdampak negatif bagi lingkungan, yaitu mencemari air dan tanah akibat senyawa kimia yang terkandung

dalam limbah tersebut dikarenakan akibat penggunaan pestisida dan bahan kimia lainnya dalam pengolahan kelapa sawit. POME dapat mencemari udara karena dapat menghasilkan gas rumah kaca berupa gas metana (CH_4). Namun apabila ditangani dengan baik, POME dapat menjadi salah satu sumber energi terbarukan berupa biogas sekaligus dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (Nasution, dkk., 2020). Menggunakan POME untuk menghasilkan biogas merupakan cara alternatif yang konsisten untuk mengontrol emisi GRK dari POME, dan dapat memberikan manfaat ekonomi. *Digestate* sebagai produk sampingan dari proses biogas, juga dapat digunakan untuk bioremediasi, sebagai aditif untuk pakan ternak, sebagai substrat untuk produksi alga skala besar, atau sebagai pupuk (Lamolinara, dkk., 2023).

POME dapat digunakan sebagai bahan utama untuk memproduksi biogas melalui prosedur proses biogas *anaerobic* (tanpa oksigen). Mikroorganisme pada proses ini bahan organik yang terdapat pada POME tanpa adanya unsur oksigen, yang kemudian menghasilkan gas metana (CH_4) sebagai produk utamanya. POME mengandung bahan organik konsentrat yang tinggi, memiliki suhu 70 – 90^oC setelah proses pengolahan dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang kemudian dialirkan ke kolam penampungan limbah pabrik yang bersifat terbuka sehingga temperatur POME berangsur turun sampai setara dengan temperatur lingkungan, mengandung pH 4 – 5,5 yang bersifat asam dan mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) tinggi yaitu 80.000 – 120.000 mg/L, dan *Total Soluble Solids* (TSS) dalam kadar yang tinggi. Proses ini tidak hanya membantu mengelola dampak negatif limbah cair PKS, tetapi juga dapat menghasilkan produk berupa biogas yang dapat dijadikan sebagai sumber energi yang dapat digunakan berbagai keperluan, seperti pemanasan atau pembangkit listrik (Sagala, dkk., 2023).

Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme serta laju reaksi biokimia dalam proses produksi biogas. Suhu optimal dapat meningkatkan aktivitas mikroba penghasil metana sehingga mempercepat proses pencernaan anaerob dan meningkatkan hasil biogas (Wang, dkk., 2019). Ada dua rentang suhu yang dapat terjadi dalam proses produksi biogas, yaitu mesofilik (20 – 45^oC) dan termofilik (45 – 80^oC). Mikroba tidak dapat tumbuh

apabila suhu terlalu dingin ataupun terlalu panas, hal itu dikarenakan mikroba umumnya dapat bertahan hidup pada kisaran suhu tertentu. Berdasarkan hasil penelitian yang telah melakukan proses fermentasi biogas sebelumnya, mikroba dapat tumbuh dan berkembang pada kisaran suhu 27 – 55^{o}C. Selain itu, pH juga dapat mempengaruhi proses fermentasi dalam proses produksi biogas. Derajat keasaman (pH) berfungsi saat proses produksi biogas waktu di dalam digester. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanasan digester biogas penting untuk menjaga suhu fermentasi anaerobik agar produksi biogas optimal.

Terdapat berbagai teknologi yang dapat diterapkan untuk mengatur suhu dalam proses produksi biogas. Dalam studi yang telah dilakukan sebelumnya, kolektor pasif telah digunakan sebagai alat untuk mengontrol suhu di dalam digester. Teknologi ini memanfaatkan energi matahari secara langsung dengan biaya yang relatif rendah, menjadikannya pilihan yang ekonomis. Meskipun demikian, kolektor pasif memiliki kekurangan, yakni kurangnya fleksibilitas dalam merespons perubahan suhu lingkungan dan ketergantungan yang tinggi terhadap kondisi cuaca, terutama sinar matahari, sehingga tidak berfungsi secara optimal dalam kondisi mendung dan sepenuhnya tidak beroperasi pada malam hari. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang lebih fleksibe dalam menyediakan energi untuk mengatasi keterbatasan kolektor pasif akibat perubahan kondisi cuaca. Salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan energi matahari melalui sistem yang dapat menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan. Energi listrik tersebut dapat digunakan untuk mendukung pengoperasian komponen pengendali suhu pada digester. Salah satu teknologi yang berpotensi diterapkan adalah panel surya *Photovoltaic* (PV).

Panel surya *Photovoltaic* (PV) merupakan perangkat yang mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik melalui eket PV. Panel ini terdiri dari sejumlah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, biasanya silikon, yang ketika terkena sinar matahari akan menghasilkan arus listrik searah (DC). Sistem PV yang dikombinasikan dengan penukar panas telah dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu mesofilik (30 sampai 40^{o}C) pada instalasi produksi biogas. Pendekatan ini secara signifikan meningkatkan efisiensi fermentasi anaerobik serta

kandungan gas metana (CH_4). Integrasi proses anaerobik digester dengan sistem energi surya dapat meningkatkan efisiensi produksi dan pemurnian biogas. Suplai energi listrik dari panel surya dapat digunakan untuk mengoperasikan unit *upgrading* (pemanas, pengaduk, dll), sehingga proses menjadi lebih efisien dan mengurangi ketergantungan pada listrik jaringan (Darwesh dan Ghoname, 2021).

Berdasarkan latar belakang di atas yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah POME dari industri pabrik kelapa sawit sebagai bahan baku proses pembuatan biogas dan memaksimalkan laju produksinya, maka penulis tertarik untuk melakukan variasi temperatur pada proses fermentasinya dengan memanfaatkan panel surya PV sebagai sumber energi listrik *heater* yang digunakan. Oleh karena itu perlu penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi efisiensi panel surya PV terhadap temperatur optimal yang menciptakan efisiensi dalam menghasilkan biogas. Adapun yang menjadi judul untuk penelitian yang penulis ingin lakukan adalah "Integrasi Energi Surya Untuk Rekayasa Temperatur Digester Terhadap Efisiensi Laju Produksi Biogas Berbahan Baku *Palm Oil Mill Effluent* (POME)". Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis efisiensi sistem energi surya dalam merekayasa temperatur digester guna meningkatkan laju produksi biogas berbahan baku POME.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana efisiensi sistem energi surya dalam merekayasa temperatur digester terhadap laju produksi biogas berbahan baku POME?
2. Bagaimana pengaruh rekayasa temperatur berbasis energi surya terhadap pH dan tekanan biogas?
3. Bagaimana perubahan karakteristik POME (COD, BOD, TSS) akibat integrasi energi surya?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan-batasan tertentu untuk memastikan fokus dan kedalaman analisis yang tepat. Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan baku POME dalam skala laboratorium.
2. Proses fermentasi selama 3 minggu.
3. Variasi temperatur pada digester yaitu temperatur lingkungan (tanpa perlakuan) dan di atas temperatur lingkungan (maksimal sampai 47^{o}C dengan menggunakan *heater*).
4. Proses pengambilan data dilakukan sehari empat kali yaitu pagi, siang, sore, dan malam hari selama penelitian.
5. Menggunakan EM4 (*Effective Mikroorganisme* 4) untuk mempercepat proses fermentasi digester biogas pada penelitian ini.
6. Menggunakan kolektor termal plat datar dan panel surya PV sebagai sumber energi untuk merekayasa temperatur fermentasi.
7. Kapasitas digester anaerobik 30 liter.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengevaluasi efisiensi sistem energi surya dalam merekayasa temperatur digester terhadap laju produksi biogas berbahan baku POME .
2. Untuk mengetahui pengaruh rekayasa temperatur berbasis energi surya terhadap pH dan tekanan biogas.
3. Untuk mengetahui perubahan karakteristik POME (COD, BOD, dan TSS) akibat integrasi energi surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan evaluasi efisiensi sistem produksi biogas berbasis energi surya sebagai alternatif teknologi ramah lingkungan.
2. Memanfaatkan dan mengoptimalkan limbah kelapa sawit sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas, guna untuk mengurangi pencemaran lingkungan industri pada pabrik kelapa sawit.
3. Memberikan rancangan sistem biogas bahan baku POME berbasis teknologi energi matahari yang efisien dan efektif.
4. Memanfaatkan energi matahari untuk menciptakan energi terbarukan yang lebih bersih dan ramah lingkungan.