

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia terus dilakukan untuk mendukung transisi energi yang berkelanjutan. Salah satu dasar hukum adalah Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), yang menetapkan target bauran energi baru dan terbarukan sebesar minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Namun, berdasarkan data terbaru dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), realisasi bauran energi terbarukan di Indonesia hingga tahun 2025 baru mencapai sekitar 15,75%, yang menunjukkan bahwa pencapaian tersebut masih berada di bawah target yang telah ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, sehingga diperlukan upaya optimal dalam pemanfaatannya. Dalam hal ini, biogas sebagai salah satu sumber energi terbarukan memiliki potensi besar untuk dikembangkan, terutama di daerah pedesaan yang kaya akan limbah organik.

Desa Suco, yang terletak di Kecamatan Mumbulsari, Kabupaten Jember, memiliki potensi biogas yang cukup besar. Berdasarkan survei di lokasi peternakan mitra pengabdian, terdapat dua kelompok ternak, King Farm dan Productive Farm, yang masing-masing menampung setidaknya 50 ekor kambing atau domba (Susmiati dkk., 2025). Asumsinya adalah satu domba dapat menghasilkan sekitar 0,5 kg kotoran padat per hari (Wijaksono dkk., 2016), setiap kandang dapat menghasilkan kotoran kurang lebih 25 kg per hari. Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan. Akumulasi limbah kotoran yang dihasilkan secara berkelanjutan dari kedua kelompok ternak tersebut membutuhkan penanganan yang tepat agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan teknologi konversi kotoran domba menjadi biogas menjadi solusi strategis untuk menyediakan energi mandiri sekaligus meningkatkan nilai guna dari limbah peternakan setempat.

Biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik dapat ditingkatkan kualitasnya melalui proses purifikasi menggunakan teknologi *Pressure Swing*

Adsorption (PSA). PSA merupakan teknologi pemisahan gas yang bekerja berdasarkan perbedaan kemampuan adsorpsi suatu adsorben terhadap komponen gas tertentu pada kondisi tekanan yang berbeda. Pada proses PSA, gas dialirkan ke dalam kolom adsorben sehingga komponen tertentu akan teradsorpsi pada tekanan tinggi, sedangkan regenerasi adsorben dilakukan melalui proses desorpsi pada tekanan yang lebih rendah. Teknologi PSA bekerja secara siklik melalui tahapan adsorpsi dan desorpsi yang berlangsung secara bergantian sehingga memerlukan pengaturan aliran gas yang terjadwal dan berkesinambungan (Jalaluddin dkk., 2024). Dalam hal ini, diperlukan suatu sistem yang mampu mengatur distribusi gas secara otomatis agar proses PSA dapat berlangsung sesuai dengan siklus operasi yang telah ditentukan.

Keberhasilan proses purifikasi menggunakan teknologi PSA sangat dipengaruhi oleh keteraturan distribusi biogas menuju bed adsorben. Distribusi gas yang tidak teratur dapat menyebabkan proses adsorpsi dan regenerasi berlangsung kurang optimal sehingga menurunkan efektivitas pemurnian gas. Selain itu, pengoperasian keran buka tutup gas secara manual berpotensi menimbulkan ketidakteraturan waktu distribusi gas yang mengakibatkan siklus adsorpsi dan regenerasi tidak berjalan sesuai kebutuhan. Dalam hal ini, diperlukan sistem kontrol yang mampu mengatur siklus distribusi biogas secara otomatis berdasarkan waktu operasi yang telah ditentukan. Pengendalian berbasis waktu dapat digunakan untuk mengatur proses buka dan tutup katup solenoid secara bergantian sehingga setiap bed adsorben dapat menjalankan tahapan adsorpsi dan regenerasi sesuai urutan operasi yang direncanakan.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Roja dkk. (2024) menunjukkan bahwa sistem kontrol proses produksi biogas berbasis sensor tekanan mampu mengatur distribusi biogas secara efektif pada skala prototipe menggunakan metode kontrol tertutup (close-loop). Penelitian tersebut berfokus pada pengendalian proses produksi biogas secara keseluruhan dengan memanfaatkan sensor tekanan sebagai variabel kendali utama. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem kontrol distribusi biogas untuk mendukung proses purifikasi menggunakan teknologi PSA. Pengaturan distribusi gas dilakukan

melalui siklus buka dan tutup katup solenoid berbasis waktu yang diprogram pada mikrokontroler Arduino Uno, sehingga setiap tahapan operasi PSA dapat berlangsung secara otomatis. Sensor tekanan digunakan sebagai pembaca tekanan sistem, sedangkan sensor MQ-4 digunakan untuk memantau tren konsentrasi gas metana pada keluaran sistem purifikasi sebagai indikator hasil proses *Pressure Swing Adsorption* (PSA).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem kontrol distribusi biogas berbasis waktu menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang diterapkan pada proses purifikasi dengan metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Sistem yang dirancang dilengkapi dengan sensor tekanan sebagai pembaca nilai tekanan dari sistem, serta sensor gas digunakan untuk memantau tren konsentrasi gas metana pada keluaran sistem purifikasi sebagai indikator hasil proses *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Pengendalian sistem dilakukan secara otomatis melalui pengaturan siklus buka dan tutup katup solenoid berdasarkan waktu operasi yang telah ditentukan sehingga setiap tahapan proses purifikasi dapat berlangsung secara teratur dan berkesinambungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kestabilan distribusi biogas, mendukung efektivitas analisis proses purifikasi, serta memudahkan monitoring kondisi operasi sistem selama proses operasi berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis menentukan beberapa rumusan masalah yaitu.

1. Bagaimana merancang sistem kontrol distribusi biogas yang dapat mengatur siklus aliran gas secara otomatis pada proses purifikasi menggunakan metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA)?
2. Bagaimana kinerja sistem kontrol dalam mengatur siklus adsorpsi dan desorpsi pada dua bed adsorben melalui pengendalian katup solenoid secara otomatis?
3. Bagaimana hasil monitoring tekanan pada sistem distribusi biogas serta konsentrasi gas metana (CH_4) pada keluaran sistem *Pressure Swing Adsorption* (PSA)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah penulis tentukan, maka tujuan penelitian ini yaitu.

1. Merancang sistem kontrol distribusi biogas yang dapat mengatur siklus aliran gas secara otomatis pada proses purifikasi menggunakan metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA).
2. Menguji kinerja sistem kontrol dalam mengatur siklus adsorpsi dan desorpsi pada dua bed adsorben melalui pengendalian katup solenoid secara otomatis.
3. Menganalisis hasil monitoring tekanan pada sistem distribusi biogas serta konsentrasi gas metana (CH_4) pada keluaran sistem *Pressure Swing Adsorption* (PSA).

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi beberapa aspek sebagai berikut.

1. Bagi Penulis

Penulis dapat menerapkan ilmu terkait sistem kontrol sehingga memberikan kontribusi kepada masyarakat terhadap perkembangan teknologi saat ini. Selain itu, penelitian ini menjadi sarana untuk meningkatkan kemampuan dalam merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem kontrol distribusi biogas berbasis mikrokontroler pada proses *Pressure Swing Adsorption* (PSA).

2. Bagi Pembaca

Bagi pembaca, khususnya masyarakat dan peternak di Desa Suco, Jember, dapat digunakan sebagai referensi dalam memberikan gambaran teknis bagi pihak yang tertarik mengembangkan energi terbarukan melalui teknologi sistem kontrol biogas dari limbah kotoran kambing sebagai sumber energi alternatif yang dapat ditingkatkan.

3. Bagi Politeknik Negeri Jember

Dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi terbarukan dan sistem kontrol distribusi biogas untuk menjadi referensi akademik bagi mahasiswa dan peneliti yang tertarik dalam kajian serupa.

1.5 Batasan Masalah

Supaya penelitian ini lebih terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka batasan masalah penelitian ini sebagai berikut.

1. Penelitian difokuskan pada proses distribusi biogas menuju unit purifikasi, bukan pada proses pembentukan biogas (fermentasi anaerobik).
2. Pengaturan siklus aliran gas pada katup solenoid murni dikendalikan oleh instruksi waktu (timer) internal program, bukan berdasarkan umpan balik dari sensor.
3. Sensor gas digunakan sebagai alat monitoring konsentrasi gas metana, bukan sebagai input pengendali sistem.
4. Sensor tekanan tidak digunakan sebagai input pengendali sistem, karena tekanan biogas keluaran kompresor sudah stabil lewat pengaturan regulator tekanan.