

Pokeener: Sistem AiOT Untuk Otomatisasi Konversi Sampah Organik Menjadi Bioetanol Dalam Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan.

Hendry Dwi Jatmiko

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Lintang Buwono

Universitas Negeri Surabaya

Aditya Nikko Arya Putra

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Alamat: Jl. Raya ITS, Keputih, Surabaya, Kota SBY, Jawa Timur 60117, Indonesia.

Korespondensi penulis: hendrydwi03@gmail.com

Abstrak. Organic waste originating from food leftovers, leaves, wood, and other natural materials accounts for approximately 60–70% of the total 67.8 million tons of waste generated in Indonesia in 2020. This large proportion indicates significant potential for organic waste to be converted into bioethanol, an environmentally friendly renewable fuel that also reduces environmental pollution. Bioethanol offers a green energy solution to decrease dependence on fossil fuels. In this context, Artificial Intelligence of Things (AIoT) technology plays an important role in optimizing the bioethanol production process. The system integrates artificial intelligence and Internet of Things (IoT) devices to automatically monitor and control fermentation conditions. Key sensors used include the DS18B20 for temperature monitoring, HI1131B for pH measurement, MQ-3 for ethanol gas detection, and DHT11 for humidity monitoring. Sensor data are processed using supervised learning algorithms to automatically adjust process parameters. This study involves laboratory experiments, SolidWorks-based simulations, and literature review, resulting in an efficient bioethanol production system that supports a sustainable circular economy.

Keywords: AioT;bioetanol;Organic waste; Renewable energy.

Abstrak. Sampah organik yang berasal dari sisa makanan, daun, kayu, dan bahan alami lainnya mendominasi sekitar 60–70% dari total 67,8 juta ton sampah di Indonesia pada tahun 2020. Tingginya proporsi ini menunjukkan potensi besar sampah organik untuk dikonversi menjadi bioetanol sebagai bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan sekaligus solusi pengurangan limbah. Bioetanol berperan penting dalam mendukung transisi energi hijau dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dalam pengembangannya, teknologi Artificial Intelligence of Things (AIoT) dimanfaatkan untuk mengoptimalkan proses produksi bioetanol secara otomatis. Sistem ini mengintegrasikan kecerdasan buatan dan perangkat IoT untuk memantau serta mengendalikan proses fermentasi secara real-time menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH HI1131B, sensor gas etanol MQ-3, dan sensor kelembaban DHT11. Data dari sensor diolah menggunakan metode Supervised Learning untuk menyesuaikan parameter proses secara optimal. Penelitian ini dilakukan melalui eksperimen laboratorium, simulasi desain menggunakan SolidWorks, serta studi literatur, dengan hasil berupa sistem produksi bioetanol yang efisien dan mendukung ekonomi sirkular berkelanjutan.

Kata Kunci: AioT;bioetanol; energi terbarukan;sampah organik

PENDAHULUAN

Permasalahan tumpukan sampah di Indonesia terus menjadi isu serius yang memengaruhi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pada tahun 2020, jumlah timbunan sampah di Indonesia mencapai sekitar 67,8 juta ton (Septiani et al., 2021). Dari total sampah yang dihasilkan, sekitar 60-70% merupakan sampah organik yang berasal dari sisa makanan dan limbah rumah tangga, sementara 30-40% sisanya adalah sampah non-organik seperti plastik, kertas, dan logam (Purwaningrum, 2016). Sampah organik, meskipun tampaknya lebih ramah lingkungan karena mudah terurai, tetap menimbulkan dampak buruk jika tidak dikelola dengan baik.

Sampah organik yang dibiarkan membusuk tanpa penanganan yang tepat dapat menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam hal emisi gas rumah kaca. Ketika sampah organik terurai di tempat pembuangan tanpa adanya pengelolaan yang baik, proses pembusukan anaerobik menghasilkan gas metana (CH₄). Gas metana (CH₄) memiliki potensi pemanasan global yang sangat tinggi, sekitar 25 kali lebih kuat dibandingkan karbon dioksida (CO₂), yang menjadikannya kontributor utama terhadap perubahan iklim (Mabruroh et al., 2022). Oleh karena itu, penting untuk mengurangi pembusukan sampah organik dengan solusi yang lebih ramah lingkungan, seperti pemilahan dan pengolahan sampah menjadi energi terbarukan, seperti bioetanol. Limbah organik rumah tangga yang umumnya mengandung pati, selulosa, dan hemiselulosa dengan kadar yang cukup tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan bioetanol (Susmiati, 2018). Dengan mengubah limbah organik, terutama limbah rumah tangga, menjadi bioetanol tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga menciptakan sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan, yang sejalan dengan upaya pengelolaan sampah dan pelestarian lingkungan.

Pengolahan etanol dari sampah organik dimulai dengan proses hidrolisis, di mana selulosa diubah menjadi glukosa. Glukosa kemudian difерmentasi oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol (C₂H₅OH) dan karbon dioksida (CO₂) melalui reaksi C₆H₁₂O₆ (mikroba) → 2 C₂H₅OH + 2 CO₂ (Nuraini & JAR, 2021). Metode mengolah sampah organik menjadi bio etanol paling optimal dengan Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF), hidrolisis dan fermentasi berlangsung secara bersamaan untuk mempercepat proses produksi (Rifa'i et al., 2022a). Namun, dalam pengolahannya, kendali terhadap suhu, kelembapan, kadar oksigen, pH, dan kadar etanol menjadi sangat penting. Suhu optimal harus dijaga untuk aktivitas enzim dan mikroorganisme, sementara kelembapan harus dipertahankan agar substrat tetap mendukung proses fermentasi. Kadar oksigen harus terbatas, karena proses fermentasi berlangsung secara anaerob, dan pH harus dipantau untuk memastikan kondisi optimal bagi mikroorganisme.

Kemajuan teknologi saat ini telah membawa transformasi signifikan dalam dengan fokus pada efisiensi dan kemudahan melalui penerapan Internet of Things (IoT) (Sandi & Fatma, 2023). IoT memungkinkan proses produksi bioetanol dimonitor dan diotomatisasi secara real-time, meningkatkan efektivitas dan mengurangi kesalahan manusia. Dalam proses ini, berbagai sensor memainkan peran penting untuk memastikan parameter fermentasi yang optimal misalnya sensor DH11, sensor pH HI1131B, MQ-3, dan sensor DO. Dengan kombinasi teknologi sensor dan IoT, pengolahan sampah organik menjadi bioetanol menjadi lebih efisien, akurat, dan terintegrasi secara otomatis.

Untuk itu penulis menggagas Pokeener, sebuah alat tepat guna yang dilengkapi dengan 4 sensor, yaitu DH11 untuk suhu dan kelembaban, pH HI1131B untuk memantau keasaman, MQ-

3 untuk deteksi kadar etanol, dan DO untuk kadar oksigen terlarut. Alat ini terhubung dengan aplikasi yang menawarkan fitur-fitur inovatif seperti rewards, jemput sampah, artikel edukasi, dan event komunitas. Dengan memanfaatkan AI Supervised Learning, Pokeener dapat melakukan kontrol otomatis dan prediksi yang akurat dalam pengelolaan bioetanol, memastikan efisiensi proses dan kualitas produk yang optimal. Alat ini mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) terutama pada point 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan point 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), serta berkontribusi pada ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah organik secara berkelanjutan.

KAJIAN TEORITIS

1. Pengolahan Sampah Organik Menjadi Etanol

Limbah organik rumah tangga yang kaya akan lignoselulosa, yaitu senyawa yang terdiri dari selulosa (35-50%), hemiselulosa (20-35%), dan lignin (10-25%), memiliki potensi besar untuk diubah menjadi bioetanol, bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan (Febriasari et al., 2021). Selulosa dan hemiselulosa merupakan polimer yang dapat dipecah menjadi gula sederhana, yang kemudian difermentasi menjadi etanol. Bioetanol ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, terutama untuk menggantikan bensin dalam transportasi (Mansur, 2020). Penggunaan bioetanol dari limbah organik tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga mengurangi volume sampah yang berakhir di tempat pembuangan. Selain itu, proses ini membantu menekan emisi gas rumah kaca dan mendukung ekonomi sirkular, dengan mengubah limbah yang tidak bernilai menjadi sumber energi terbarukan yang bermanfaat.

Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar menjadi penting karena kandungan oksigen etanol yang tinggi, mencapai 99,5%, menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil (Putra et al., 2020). Etanol sebagai bahan bakar ramah lingkungan mampu mengurangi emisi gas karbon monoksida hingga 19-25% lebih rendah dibandingkan Bahan Bakar Minyak (BBM). Dengan meningkatnya konsumsi energi dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil, bioetanol menawarkan solusi berkelanjutan sebagai sumber energi alternatif. Upaya untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap BBM, seperti diamanatkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, mendorong pengembangan energi terbarukan berbasis nabati atau Bahan Bakar Nabati (BBN) (Suyatna et al., 2018). Salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan mengolah limbah organik, yang berlimpah di sekitar kita, menjadi bioetanol. Dengan mengubah limbah organik menjadi bahan bakar, kita tidak hanya mengurangi timbunan sampah, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, menciptakan energi yang lebih bersih, dan mendukung ekonomi sirkular serta keberlanjutan lingkungan.

2. AIoT (Artificial Intelligence of Things)

Artificial Intelligence of Things (AIoT) adalah suatu teknologi yang mengintegrasikan Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) yang memungkinkan perangkat IoT berinteraksi cerdas dengan manusia dan lebih efektif (Sulartopo et al., 2023). AIoT memiliki berbagai keunggulan dalam meningkatkan efisiensi di berbagai sektor melalui integrasi kemampuan analisis data yang cepat dan akurat. Selain itu, perangkat AIoT juga dapat meningkatkan keamanan dengan teknologi AI yang mampu mendeteksi dan mengantisipasi ancaman. AIoT memerlukan pemeliharaan yang rutin untuk menjaga sistem dapat berjalan

Pokeener: Sistem Aiot Untuk Otomatisasi Konversi Sampah Organik Menjadi Bioetanol Dalam Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan.

dengan baik. Sebagai contoh, implementasi AIoT dalam industri manufaktur menuntut untuk dilakukan pemeliharaan secara rutin. Meskipun demikian, AIoT dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti meningkatkan efisiensi produksi dan keamanan. Contoh penerapan AIoT termasuk penggunaannya dalam sistem keamanan rumah yang dapat mendeteksi dan mencegah ancaman potensial. Walaupun memiliki kekurangan, AIoT memiliki potensi besar untuk membantu manusia dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat, termasuk meningkatkan pengolahan energi terbarukan (Fritama & Wibawa, 2022).

3. Sistem Monitoring Bioetanol Menggunakan AIoT

Integrasi teknologi AIoT dalam pengolahan sampah organik tidak hanya mengoptimalkan proses dekomposisi, tetapi juga memungkinkan konversi limbah menjadi produk bernilai tinggi, seperti bioetanol. Dengan bantuan sensor IoT, sistem memantau parameter kritis seperti pH, suhu, dan kelembaban secara real-time, menjaga kondisi optimal untuk fermentasi, dengan suhu ideal berkisar antara 30°C-38°C dan kelembaban sekitar 50%-70% (Sukamto et al., 2023). Ketika kondisi lingkungan menyimpang dari yang dibutuhkan, sistem otomatis menyesuaikan faktor-faktor tersebut, termasuk penambahan enzim atau mikroba pengurai khusus untuk mempercepat proses fermentasi. Proses ini tidak hanya menghasilkan bioetanol berkualitas tinggi, tetapi juga meningkatkan efisiensi konversi gula dari bahan organik menjadi etanol (Nasrudin et al., 2024). Bioetanol ini kemudian dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Dengan pengelolaan yang otomatis dan cermat melalui AIoT, proses produksi bioetanol menjadi lebih efisien dan berkelanjutan, memaksimalkan nilai dari limbah organik untuk mendukung energi hijau.

4. Komponen dan Alat

Pokeener untuk pengolahan bioetanol dari limbah organik berbasis AIoT mengintegrasikan teknologi canggih untuk menciptakan sistem pengolahan yang efisien dan berkelanjutan. Sistem ini memanfaatkan AI untuk mengoptimalkan proses fermentasi dan distilasi dengan memantau dan mengelola kondisi secara otomatis. Dengan pemantauan real-time, Pokeener memastikan kualitas dan kuantitas produksi bioetanol yang konsisten serta mengurangi kebutuhan intervensi manual, menjadikannya solusi yang efektif dalam pengolahan limbah organik menjadi energi terbarukan. Berikut komponen dan alat yang diperlukan dalam sistem Pokeener:

- a. DH 11 (Humidity & Temp sensor). Sensor kombinasi suhu dan kelembaban dapat digunakan sebagai alat pengindra suhu dan kelembaban dalam aplikasi pengendali suhu dan kelembaban ruangan (Ribeiro et al., 2023; Taufik & De Wibowo, 2020). Sensor suhu dan kelembaban sering kali digunakan bersama-sama untuk memberikan pemantauan yang lebih lengkap dan akurat terhadap kondisi lingkungan.
- b. HI1131B (PH sensor). PH Sensor HI1131B adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan (pH) dari suatu larutan. Fungsi utamanya adalah untuk memberikan pengukuran pH yang akurat dan konsisten dalam berbagai aplikasi laboratorium dan industri. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan potensial listrik yang terjadi saat larutan bersentuhan dengan elektroda pH di dalamnya (Ribeiro et al., 2023).
- c. MQ-3 (Etanol sensor). Sensor MQ-3 berfungsi untuk mendeteksi kadar etanol dalam proses pembuatan bioetanol dari limbah organik. Dalam sistem berbasis AIoT, sensor ini

- memberikan pemantauan real-time terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan selama fermentasi anaerobik. Dengan sensitivitas tinggi dan waktu stabilisasi sekitar 16 detik, sensor MQ-3 memastikan akurasi data, memungkinkan penyesuaian otomatis untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari limbah organik (Cavalcante et al., 2022)
- d. DO (Dissolved Oxygen). Sensor oksigen terlarut (DO) digunakan dalam proses produksi bioetanol dari sampah organik untuk memantau kadar oksigen dalam media fermentasi. Oksigen terlarut sangat penting karena mempengaruhi aktivitas mikroorganisme seperti ragi dalam mengubah gula menjadi etanol. Pada tahap awal fermentasi, oksigen dibutuhkan untuk pertumbuhan sel ragi, namun setelah itu, proses harus berlangsung dalam kondisi anaerob agar ragi dapat menghasilkan etanol secara efisien (II, n.d.).
 - e. Arduino Uno. Arduino Uno adalah jenis suatu papan (board) dengan berisi mikrokontroler yang berukuran sebesar kartu kredit yang dilengkapi dengan sejumlah pin yang digunakan untuk berkomunikasi dengan peralatan lain (Nadziroh et al., 2021). Arduino uno berfungsi sebagai alat untuk menjalankan program berbagai tugas proyek elektronika.
 - f. Node MCU. Node MCU adalah sebuah board elektronik yang berbasis chip ESP8266 dengan kemampuan menjalankan fungsi mikrokontroler dan juga koneksi internet (WiFi) (Sulistyorini et al., 2022). Node MCU berfungsi sebagai platform pengembangan modul WiFi untuk dukungan konektivitas nirkabel.
 - g. Artificial Intelligence. Supervised learning adalah pendekatan belajar di mana siswa berfokus pada hafalan dan penyelesaian tugas tanpa memahami secara mendalam konsep-konsep yang dipelajari (Niemi, 2021). Dalam proses produksi bioetanol dari limbah organik, aplikasi surface learning dapat terjadi saat pekerja atau peneliti hanya mengikuti langkah-langkah standar tanpa memahami sepenuhnya proses biokimia yang terjadi, seperti fermentasi atau pengaruh variabel lingkungan terhadap efisiensi produksi. Pendekatan ini dapat menghasilkan bioetanol dan pemahaman mendalam melalui deep learning tentang faktor-faktor seperti suhu, pH, dan komposisi sampah organik untuk meningkatkan hasil dan efisiensi produksi.

METODE PENELITIAN

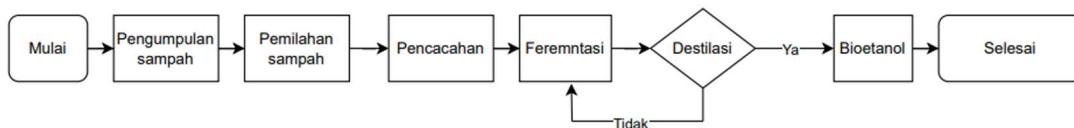
Penelitian ini menggunakan spesifikasi penelitian deskriptif analitis dengan jenis penelitian eksperimental yang didukung oleh pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk mengkaji optimalisasi serta peluang produksi bioetanol dari limbah organik. Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2024 di Laboratorium Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang dipilih secara purposive karena memiliki fasilitas dan sumber daya yang memadai. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi eksperimen fermentasi limbah organik selama 5, 7, dan 9 hari, wawancara mendalam dengan peneliti dan teknisi laboratorium sebagai informan kunci, serta studi literatur dari jurnal ilmiah, tesis, dan buku elektronik yang relevan. Data yang diperoleh terdiri atas data primer berupa hasil fermentasi dan desain mesin menggunakan perangkat lunak SolidWorks, serta data sekunder dari kajian pustaka. Metode analisis data dilakukan secara deskriptif melalui tahapan pengumpulan data, reduksi data berdasarkan relevansi dan validitas, serta penarikan kesimpulan dengan membandingkan hasil eksperimen dan desain mesin terhadap teori dan temuan penelitian terdahulu guna menilai efisiensi, manfaat ekonomis, dan keberlanjutan teknologi produksi bioetanol dari limbah organik.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengolahan bioetanol dari sampah organik berbasis Artificial Intelligence of Things (AIoT) adalah pendekatan inovatif dalam produksi energi terbarukan. Teknologi ini memanfaatkan kecerdasan buatan dan sensor IoT untuk memantau dan mengoptimalkan proses fermentasi sampah organik menjadi bioetanol secara otomatis. Bioetanol memiliki banyak keunggulan, termasuk kemampuan untuk digunakan sebagai campuran bahan bakar (25-35%) tanpa modifikasi mesin kendaraan, nilai oktan yang lebih tinggi sehingga pembakaran lebih efisien, dan emisi CO₂ yang lebih rendah 50-80% dibandingkan BBM (Rifa'i et al., 2022b). Dengan produksi masal, bioetanol berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mendukung energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Dengan integrasi AIoT dalam pengolahan bioetanol memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem secara real-time, yang meningkatkan produktivitas dan efisiensi sumber daya. (Singh et al., 2022) menjelaskan bahwa berfungsi untuk memantau suhu, kelembaban, pH, dan parameter penting lainnya secara real-time dalam proses pembuatan bioetanol dari sampah organik, serta secara otomatis menyesuaikan kondisi fermentasi untuk memastikan efisiensi optimal dan kualitas produksi. Dengan demikian, penerapan akuaponik berbasis AIoT juga mendukung SDGs 2 untuk mengakhiri kelaparan dengan memastikan ketersediaan pangan yang berkelanjutan.

1. Proses Pengolahan Etanol



Gambar 1. Flowchart proses pembuatan bioetanol

Proses pembuatan bioetanol dimulai dengan pengumpulan dan pemilihan sampah, yang memisahkan material yang dapat difерментasi yaitu pati, selulosa, dan hemiselulosa dengan kadar yang cukup tinggi. Setelah pemilihan, sampah yang layak akan dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil untuk memudahkan proses fermentasi. Pada tahap fermentasi, mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi etanol. Setelah itu, dilakukan proses destilasi untuk memisahkan etanol dari campuran lainnya. Jika hasil destilasi memadai, produk akhir berupa bioetanol akan diperoleh, tetapi jika belum optimal, material kembali ke proses fermentasi.

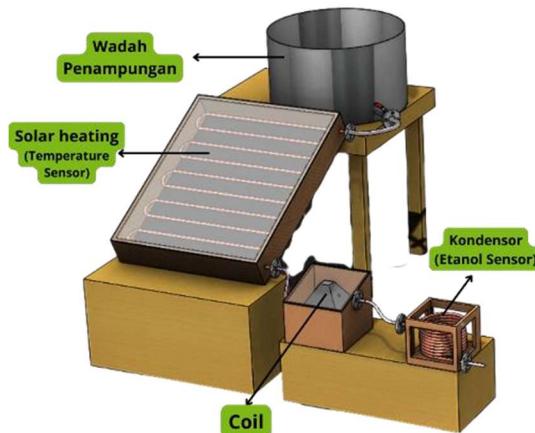
Optimalisasi proses fermentasi dan destilasi dapat dilakukan dengan AIoT (Artificial Intelligence of Things) untuk memantau kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan tingkat oksigen secara real-time. AI dapat menganalisis data tersebut dan melakukan penyesuaian otomatis guna memastikan kondisi optimal bagi aktivitas mikroorganisme dalam fermentasi. Selain itu, AIoT dapat mengontrol proses destilasi untuk memastikan efisiensi pemisahan etanol, meminimalkan energi yang digunakan, serta meningkatkan produktivitas bioetanol yang dihasilkan.

2. Desain Alat



Gambar 2. Desain Alat Fermentasi Pokeener

Desain alat fermentasi untuk pembuatan bioetanol ini memiliki kapasitas 220-liter dan dirancang untuk mengoptimalkan proses fermentasi sampah organik. Alat ini dilengkapi dengan sistem pengatur tekanan gas untuk menjaga keseimbangan tekanan selama fermentasi berlangsung, serta water spray yang berfungsi untuk menjaga kelembapan di dalam ruang fermentasi. Tempat fermentasi berada di bagian utama wadah, di mana bahan organik diletakkan untuk diproses. Pada bagian bawah alat terdapat pemisah atau pembatas yang memisahkan padatan dengan cairan hasil fermentasi, sehingga cairan yang dihasilkan bisa tertampung secara efektif di penampung cairan di bagian dasar. Desain ini bertujuan untuk menjaga efisiensi dan kontrol dalam menghasilkan bioetanol dari bahan organik secara optimal. Untuk menghasilkan bioetanol murni siap pakai perlu dilakukan destilasi dengan bantuan AIoT destilasi dapat dilakukan secara optimal.



Gambar 3. Desain alat destilasi Pokeener

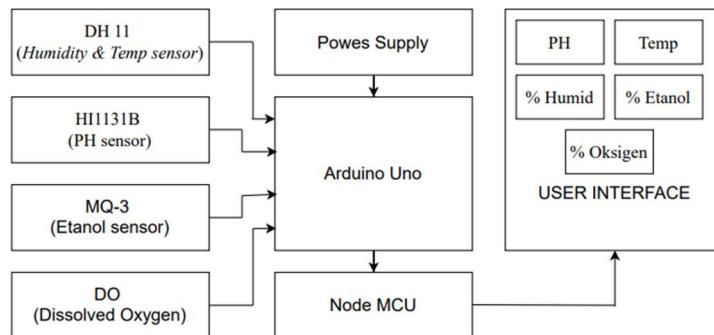
Desain alat ini merupakan sistem destilasi yang digunakan untuk memproses hasil fermentasi sampah organik menjadi bioetanol. Proses dimulai dengan penampungan cairan fermentasi di wadah utama, di mana bahan ini kemudian dialirkan menuju unit pemanas berbasis tenaga surya (solar heating). Pemanas ini berfungsi untuk meningkatkan suhu cairan hingga titik di mana komponen etanol mulai menguap. Uap etanol selanjutnya dialirkan melalui coil, yang berfungsi sebagai penukar panas untuk mendinginkan uap secara bertahap. Setelah melewati coil, uap didinginkan lebih lanjut di dalam kondensor hingga kembali ke bentuk cair. Bioetanol yang telah terkondensasi ini kemudian ditampung di wadah penampungan akhir. Dengan memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber panas, alat ini menjadi lebih ramah lingkungan dan efisien. Desain

Pokeener: Sistem Aiot Untuk Otomatisasi Konversi Sampah Organik Menjadi Bioetanol Dalam Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan.

ini bertujuan untuk mendukung pengolahan limbah organik secara berkelanjutan, menghasilkan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan energi.

3. Sistem IoT

Sistem IoT ini berfungsi untuk memantau dan mengontrol proses pembuatan bioetanol dari sampah organik melalui fermentasi dan destilasi. Arduino Uno bertindak sebagai pusat kendali, menerima data dari berbagai sensor untuk memastikan setiap tahap berjalan optimal. Node MCU memungkinkan sistem terhubung ke jaringan dan mengirimkan data secara real-time ke antarmuka pengguna, memudahkan pemantauan dari jarak jauh.

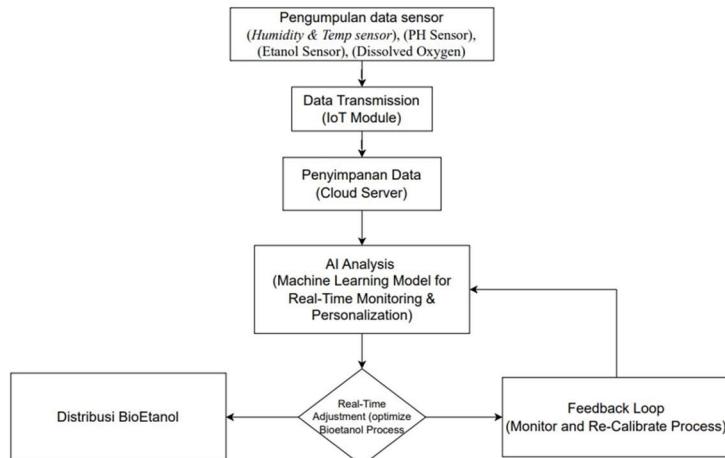


Gambar 4. Sistem IoT Pokeener

1. Sensor pH tipe HI1131B digunakan untuk memantau tingkat keasaman larutan selama proses fermentasi, di mana rentang pH ideal berada pada nilai 4,0 hingga 6,0 karena ketidakseimbangan pH dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dalam menghasilkan etanol;
2. Sensor suhu dan kelembapan DH11 berfungsi untuk memastikan kondisi lingkungan fermentasi tetap berada pada suhu optimal antara 30°C hingga 35°C, sebab suhu di luar rentang tersebut berpotensi memperlambat bahkan menghentikan proses fermentasi;
3. Sensor oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO) dimanfaatkan untuk memantau kadar oksigen dalam media fermentasi, mengingat proses produksi bioetanol membutuhkan kondisi anaerob dengan kandungan oksigen rendah, yaitu kurang dari 2 mg/L, agar mikroorganisme menghasilkan etanol dan bukan senyawa asam;
4. Sensor etanol tipe MQ-3 digunakan untuk mengukur kemurnian etanol yang dihasilkan pada tahap destilasi, di mana pengukuran optimal dilakukan saat titik didih etanol mencapai sekitar 78°C;
5. Sensor suhu pada sistem pemanas tenaga surya (solar heating) berperan dalam mengontrol proses pemanasan selama destilasi dengan menjaga suhu pada kisaran 78°C hingga 85°C guna memastikan etanol dapat terpisah dan terkondensasi secara optimal.

Seluruh data dari sensor ditampilkan melalui sistem antarmuka yang berfungsi sebagai visualisasi data secara real-time serta memberikan notifikasi apabila parameter proses berada di luar batas optimal, sekaligus memungkinkan pengguna melakukan intervensi manual jika diperlukan. Selain itu, sistem catu daya (power supply) disediakan untuk menjamin seluruh sensor dan mikrokontroler dapat beroperasi secara stabil dan berkelanjutan tanpa gangguan pasokan listrik.

4. Sistem AI Pokeener



Gambar 5. Sistem AI Pokeener

Pokeener memanfaatkan machine learning, khususnya supervised learning, untuk mengoptimalkan proses produksi bioetanol dengan cara memprediksi dan mengendalikan variabel-variabel penting secara otomatis. Algoritma machine learning yang digunakan dalam Pokeener dilatih menggunakan data historis yang dikumpulkan dari proses produksi, seperti suhu, kelembaban, keasaman, kadar etanol, dan oksigen terlarut. Dengan memanfaatkan data ini, sistem dapat membangun model prediksi yang sangat akurat untuk mengidentifikasi kondisi optimal yang dibutuhkan dalam setiap tahap produksi.

Supervised learning memungkinkan Pokeener untuk belajar dari data sebelumnya dan mengenali pola yang menentukan hasil produksi yang terbaik. Ketika sensor-sensor mengumpulkan data real-time, model machine learning kemudian membandingkan kondisi saat ini dengan pola optimal yang telah dipelajari. Jika ada penyimpangan dari kondisi ideal, sistem secara otomatis menyesuaikan parameter-parameter yang relevan, seperti suhu atau tingkat oksigen, untuk mengembalikan proses ke jalur yang optimal.

Dari segi user interface (UI), aplikasi yang terhubung dengan Pokeener dirancang dengan tampilan yang sederhana dan intuitif untuk memudahkan pengguna dalam mengontrol dan memantau proses. Fitur-fitur seperti penjemputan dan penjadwalan pengambilan sampah terintegrasi secara otomatis, memungkinkan pengguna untuk menyerahkan sampah organik dengan mudah. Selain itu, fitur reward memberikan insentif kepada mereka yang berpartisipasi dalam program daur ulang dengan menyerahkan sampah mereka. Aplikasi juga dilengkapi dengan fitur deteksi sampah yang membantu pengguna mengetahui apakah sampah dapat digunakan atau tidak dalam proses produksi bioetanol. Staff dapat memantau berbagai parameter proses, seperti suhu, kelembaban, serta informasi seputar acara komunitas lingkungan. Tak hanya itu, aplikasi ini juga menyediakan artikel-artikel edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai isu-isu lingkungan, sehingga turut berperan dalam mengedukasi dan mendorong masyarakat untuk terlibat lebih aktif dalam menjaga lingkungan.

5. Hasil Analisis Bioetanol Sampah Organik

Tabel 1. Analisis selulosa metode FTIR dari sampah organik

Jenis Sampah Organik	Absorbansi	Kadar Glukosa (mg/100mL)
----------------------	------------	--------------------------

Pokeener: Sistem Aiot Untuk Otomatisasi Konversi Sampah Organik Menjadi Bioetanol Dalam Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan.

Sampah rumah tangga	3.600	850.541
Sampah pertanian	3.200	675.498

Tabel 2. Analisis Rendemen dan Kadar Etanol dari Bioetanol (%)

Jenis sampah organik	Hari	Rendemen (%)	Kadar Etanol (%)
Sampah dapur	5	35,008	72,8871
	7	43,050	79,4749
	9	43,574	83,8126
Sampah pertanian	5	34,618	66,1588
	7	38,370	72,4101
	9	39,548	76,0024

Pada Tabel Kadar Glukosa, terlihat bahwa sampah rumah tangga memiliki kadar glukosa yang lebih tinggi, yaitu 850,541 mg/100mL dibandingkan sampah pertanian yang hanya memiliki kadar glukosa 675,498 mg/100mL. Ini menunjukkan bahwa sampah rumah tangga memiliki potensi yang lebih besar untuk diolah menjadi bioetanol, karena glukosa merupakan komponen penting dalam fermentasi menjadi etanol. Glukosa yang lebih tinggi berarti lebih banyak bahan baku yang tersedia untuk diubah menjadi bioetanol.

Selanjutnya, pada Tabel Analisis Rendemen dan Kadar Etanol, sampah rumah tangga menghasilkan etanol dengan rendemen dan kadar etanol yang lebih tinggi dibandingkan sampah pertanian pada setiap hari pengamatan. Pada hari ke- 9, misalnya, sampah rumah tangga menghasilkan 43,574% rendemen dengan kadar etanol 83,8126%, sementara sampah pertanian hanya menghasilkan 39,548% rendemen dengan kadar etanol 76,0024%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sampah rumah tangga lebih efisien dalam menghasilkan bioetanol dengan kualitas dan kuantitas yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, sampah rumah tangga lebih unggul dibandingkan sampah pertanian dalam hal potensi konversi menjadi bioetanol. Ini karena kandungan glukosa yang lebih tinggi pada sampah rumah tangga menghasilkan lebih banyak bahan yang dapat diubah menjadi etanol, serta fermentasi yang lebih efisien, yang menghasilkan rendemen dan kadar etanol yang lebih tinggi. Dengan demikian, penggunaan sampah rumah tangga sebagai bahan baku bioetanol lebih efektif dan menguntungkan dibandingkan sampah pertanian.

Potensi bioetanol dari sampah rumah tangga sangat menjanjikan sebagai alternatif bahan bakar untuk mengantikan minyak bumi yang semakin menipis. Berdasarkan data yang diperoleh, sampah rumah tangga memiliki kadar glukosa yang tinggi, yaitu 850,541 mg/100mL, dan mampu menghasilkan rendemen bioetanol hingga 43,574% dengan kadar etanol mencapai 83,8126% pada proses fermentasi selama sembilan hari. Ini menunjukkan bahwa sampah rumah tangga dapat diolah secara efisien menjadi bioetanol berkualitas tinggi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar terbarukan. Hal ini menjadi sangat penting mengingat cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan hanya cukup untuk 18 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi diperkirakan masih mencukupi untuk 61 tahun, dan cadangan batu bara baru akan habis dalam waktu 147 tahun (Hartanto & Sartini, 2019). Dengan semakin menipisnya sumber daya fosil, pengembangan bioetanol dari limbah organik seperti sampah rumah tangga dapat menjadi solusi

berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mendukung transisi menuju energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Untuk itu penulis menggagas Pokeener, sebuah alat tepat guna yang dilengkapi dengan 4 sensor, yaitu DH11 untuk suhu dan kelembaban, pH HI1131B untuk memantau keasaman, MQ-3 untuk deteksi kadar etanol, dan DO untuk kadar oksigen terlarut. Alat ini terhubung dengan aplikasi yang menawarkan fitur-fitur inovatif seperti rewards, jemput sampah, artikel edukasi, dan event komunitas. Dengan memanfaatkan AI Supervised Learning, Pokeener dapat melakukan kontrol otomatis dan prediksi yang akurat dalam pengelolaan bioetanol, memastikan efisiensi proses dan kualitas produk yang optimal. Alat ini mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) terutama pada point 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan point 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), serta berkontribusi pada ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah organik secara berkelanjutan.

6. Pengembangan dan Optimalisasi Pokeener

Pengolahan bioetanol dari sampah organik rumah tangga adalah solusi inovatif yang tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga mendukung pencapaian SDGs 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan SDGs 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab). Dalam konteks ini, analisis SWOT dapat membantu merumuskan strategi yang lebih baik untuk pengembangan bioetanol.

Faktor Internal	
Strengths	Weaknesses
Sistem ini memiliki keunggulan berupa kemampuan pemantauan kondisi proses secara akurat melalui penggunaan sensor yang terintegrasi, sehingga setiap parameter fermentasi dapat dikendalikan dengan baik. Penerapan algoritma AI supervised learning turut meningkatkan efisiensi dan ketepatan proses pengolahan bioetanol. Selain itu, aplikasi yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga menyediakan fitur edukatif dan insentif bagi pengguna. Sistem ini juga mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya dalam aspek energi bersih dan konsumsi berkelanjutan.	Kelemahan utama sistem terletak pada ketergantungan terhadap kinerja sensor, di mana kegagalan sensor dapat berdampak langsung pada akurasi data dan pengambilan keputusan. Sistem ini juga memerlukan koneksi internet yang stabil untuk mendukung operasional berbasis IoT. Selain itu, pengguna dituntut memiliki pemahaman dasar teknis agar dapat mengoperasikan dan memanfaatkan sistem secara optimal.
Faktor Eksternal	
Opportunities	Threats
Peluang pengembangan sistem ini didukung oleh meningkatnya tren pemanfaatan energi terbarukan yang mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan. Adanya potensi kolaborasi dengan komunitas, institusi, maupun sektor industri membuka ruang inovasi dan perluasan implementasi. Selain itu, teknologi	Ancaman yang dihadapi antara lain munculnya pesaing dengan teknologi serupa yang dapat memengaruhi daya saing sistem. Perubahan kebijakan dan regulasi di bidang energi dan lingkungan juga berpotensi berdampak pada operasional. Di samping itu, konektivitas IoT membawa risiko terhadap

yang digunakan memungkinkan untuk keamanan data yang perlu diantisipasi melalui dikembangkan lebih lanjut dan diterapkan sistem perlindungan yang memadai pada sektor energi serta pengelolaan limbah lainnya.

Untuk mengatasi risiko Pokeener, perlu dilakukan pemeliharaan rutin dan kalibrasi sensor agar tetap akurat, serta memastikan koneksi internet stabil dengan opsi penyimpanan data lokal sebagai cadangan. Pelatihan bagi pengguna membantu mengurangi kesalahan operasional, sementara kolaborasi dengan komunitas dan mitra strategis dapat memperluas jangkauan dan adopsi alat. Untuk menghadapi ancaman kompetisi dan perubahan kebijakan, perlu dilakukan inovasi berkelanjutan dan penyesuaian strategi bisnis. Keamanan data dapat ditingkatkan dengan enkripsi dan protokol keamanan IoT untuk melindungi informasi pengguna dan sistem.

KESIMPULAN

Pokeener merupakan sistem berbasis *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) yang dirancang untuk mengoptimalkan produksi bioetanol dari sampah organik secara efisien dan berkelanjutan melalui pemantauan parameter proses menggunakan sensor DH11, HI1131B, MQ-3, dan DO, dengan kondisi fermentasi optimal pada suhu 30°C–35°C dan kadar oksigen di bawah 2 mg/L untuk mendukung proses anaerob. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah rumah tangga memiliki potensi lebih tinggi dibandingkan sampah pertanian, ditunjukkan oleh kadar glukosa sebesar 850,541 mg/100 mL dibandingkan 675,498 mg/100 mL, yang berdampak pada peningkatan rendemen dan kadar etanol. Pada hari ke-9 fermentasi, sampah rumah tangga menghasilkan rendemen 43,574% dengan kadar etanol 83,8126%, sementara sampah pertanian hanya mencapai rendemen 39,548% dengan kadar etanol 76,0024%. Bioetanol yang dihasilkan memiliki keunggulan berupa angka oktan yang lebih tinggi serta emisi karbon 50–80% lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil dan dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar sebesar 25–35% tanpa modifikasi mesin kendaraan. Melalui penerapan *supervised learning*, Pokeener mampu memprediksi dan menyesuaikan parameter fermentasi secara otomatis guna menjaga efisiensi dan kualitas produksi, sekaligus mendukung pencapaian SDGs poin 7 dan 12. Ke depan, Pokeener disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan sensor dan peningkatan algoritma *machine learning* agar lebih adaptif terhadap berbagai jenis limbah organik, termasuk limbah industri dan pertanian, serta diperkuat melalui kolaborasi dengan pemerintah dan komunitas, penyempurnaan fitur prediksi dan kontrol real-time, serta pengembangan aplikasi yang lebih interaktif dan edukatif guna meningkatkan partisipasi masyarakat dan mendorong implementasi ekonomi sirkular secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Cavalcante, J. A., Gadotti, G. I., da Silva, A. H. M., Araújo, Á. de S., Monteiro, R. de, & Moraes, D. M. de. (2022). Development of an ethylometer with an MQ-3 sensor for measuring ethanol in soybean seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 374–380.
- Febriasari, A., Mujimi, A., Irawan, N., Candra, R., & Arlofa, N. (2021). Pengaruh perbedaan konsentrasi ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) terhadap kadar etanol dari kulit nanas madu dengan metode SHF dan SSF. *Jurnal Chemtech*, 7(1), 7–12.

- Fritama, M., & Wibawa, A. (2022). Bioinformatic & brain-computer interface: AIoT & Society 5.0 di kehidupan untuk teknologi yang singular. *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 2(3), 144–154.
- Hartanto, B., & Sartini, S. (2019). Kebijakan pemanfaatan energi dan sumber daya energi mineral kelautan Indonesia. *Jurnal Baruna Horizon*, 2(2), 90–106.
- II, B. A. B. (n.d.). Kualitas air. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Semarang.
- Mabruroh, M., Praswati, A. N., Sina, H. K., & Pangaribowo, D. M. (2022). Pengolahan sampah organik melalui budidaya maggot BSF. *Jurnal EMPATI (Edukasi Masyarakat, Pengabdian dan Bakti)*, 3(1), 34–37.
- Mansur, D. (2020). Keadaan dan prospek butanol lignoselulosa sebagai bahan bakar transportasi darat di Indonesia: Sebuah telaahan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 19(1), 29–40.
- Nadziroh, F., Syafira, F., & Nooriansyah, S. (2021). Alat deteksi intensitas cahaya berbasis Arduino Uno sebagai penanda pergantian waktu siang-malam bagi tunanetra. *Indonesian Journal of Intellectual Publication*, 1(3), 142–149.
- Nasrudin, D., Setiawan, A., & Rahmat Fadhli, E. M. (2024). *Pendidikan energi*. Indonesia Emas Group.
- Niemi, H. (2021). AI in learning: Preparing grounds for future learning. *Journal of Pacific Rim Psychology*, 15, 18344909211038104.
- Nuraini, A. I., & JAR, N. R. (2021). Pengaruh waktu dan nutrien pada proses fermentasi sampah organik menjadi bioetanol dengan metode SSF. *EnviroUS*, 1(2), 76–82.
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya mengurangi timbulan sampah plastik di lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141–147.
- Putra, D. R., Yoesgiantoro, D., & Thamrin, S. (2020). Kebijakan ketahanan energi berbasis energi listrik pada bidang transportasi guna mendukung pertahanan negara di Indonesia: Sebuah kerangka konseptual. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 7(3), 658–672.
- Ribeiro, A. I., Vieira, B., Alves, C., Silva, B., Pinto, E., Cerqueira, F., Silva, R., Remião, F., Shvalya, V., Cvelbar, U., Padrão, J., Dias, A. M., & Zille, A. (2023). Halochromic silk fabric as a reversible pH-sensor based on a novel 2-aminoimidazole azo dye. *Polymers*, 15(7), 1730. <https://doi.org/10.3390/polym15071730>
- Rifa'i, A. F., Pamungkas, W. A., Setyawati, R. B., Setiawan, C. P., & Waluyo, J. (2022). Kajian teknoekonomi bioetanol berbahan molasses sebagai alternatif substitusi BBM. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), 57–68.

Pokeener: Sistem Aiot Untuk Otomatisasi Konversi Sampah Organik Menjadi Bioetanol Dalam Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan.

- Sandi, G. H., & Fatma, Y. (2023). Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) pada bidang pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 1–5.
- Septiani, U., Najmi, N., & Oktavia, R. (2021). Eco enzyme: Pengolahan sampah rumah tangga menjadi produk serbaguna di Yayasan Khazanah Kebajikan. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1(1).
- Singh, A. S. P., Abdollah, M. F. B., Amiruddin, H., & Taha, M. M. (2022). *Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2022*. UTeM Press.
- Sukamto, K., Asnawi, I., Kusnanto, A., Ningsih, E., Azharman, Z., Kusumasari, F. C., Utubira, Y., Fitriana, W. D., & Muliawati, E. C. (2023). *Kimia dalam industri*. CV. Gita Lentera.
- Sulartopo, S., Kholifah, S., Danang, D., & Santoso, J. T. (2023). Transformasi proyek melalui keajaiban kecerdasan buatan: Mengeksplorasi potensi AI dalam project management. *Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen*, 2(2), 363–392.
- Sulistyorini, T., Sofi, N., & Sova, E. (2022). Pemanfaatan NodeMCU ESP8266 berbasis Android (Blynk) sebagai alat mematikan dan menghidupkan lampu. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(3), 40–53.
- Susmiati, Y. (2018). Prospek produksi bioetanol dari limbah pertanian dan sampah organik. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 67–80.
- Suyatna, H., Santosa, A., Ghazali, J., Naire, A., Wibowo, I. A., Seto, P. N., & Indroyono, P. (2018). *Model kerakyatan dalam pengembangan energi terbarukan*. UGM Press.
- Taufik, D. M., & De Wibowo, A. (2020). Sistem penetasan telur berbasis PLC. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7(1), 45–53.