

Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis Berbasis IoT Pada Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Design and Development of an IoT-Based Automatic Control System for Waste-to-Energy Power Plant Boilers

Eman Sulaeman¹, Saharudin²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Puspittek, Setu, Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314

Abstrak

Boiler merupakan komponen vital dalam operasional Pemnagkit Listriik Tenaga Sampah, Dimana sampah menjadi bahan bakar Utama yang diolah menjadi panas yang dipergunakan untuk mendidihkan air didalam boiler. Operasional boiler memerlukan pengawasan ketat terhadap parameter suhu, tekanan, dan level air untuk mencegah risiko kecelakaan kerja dan inefisiensi energi. Namun, sistem pemantauan konvensional seringkali masih bergantung pada pengecekan manual yang berisiko terjadi kesalahan manusia (human error). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis boiler berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama. Sistem ini dilengkapi dengan sensor suhu, sensor tekanan, dan Level Switch untuk mendeteksi level air secara real-time. Data dari sensor dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi, yang memungkinkan operator melakukan pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui smartphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengotomatisasi pengisian air dan pengeluaran uap dengan tingkat akurasi yang tinggi serta latensi pengiriman data yang minimal. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan standar keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan memperpanjang usia pakai komponen boiler melalui pemeliharaan preventif yang lebih akurat.

Kata Kunci: Boiler, IoT, ESP32, Sistem Kontrol Otomatis, Monitoring Real-time.

Abstract

Boilers are a vital component in the operation of Waste-to-Energy Power Plants, where waste is the primary fuel converted into heat to boil water in the boiler. Boiler operation requires strict monitoring of temperature, pressure, and water level parameters to prevent the risk of workplace accidents and energy inefficiency. However, conventional monitoring systems often rely on manual checks, which are prone to human error. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based automatic boiler control system using an ESP32 microcontroller as the main processing unit. The system is equipped with temperature sensors, pressure sensors, and a level switch to detect water levels in real time. Data from the sensors is sent to the Blynk platform via a Wi-Fi network, allowing operators to monitor and control remotely via smartphone. Test results show that the system is capable of automating water filling and steam release with a high level of accuracy and minimal data transmission latency. The implementation of this system is expected to improve occupational safety standards, operational efficiency, and extend the lifespan of boiler components through more accurate preventative maintenance.

Keywords: Boiler, IoT, ESP32, Automatic Control System, Real-time Monitoring

*Penulis Korespondensi. Alamat Email: eman.trumpf@gmail.com (Eman Sulaeman)

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Masalah sampah menjadi salah satu tantangan besar di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas konsumsi yang tinggi menyebabkan volume sampah terus meningkat dari waktu ke waktu. Sayangnya, pengelolaan sampah di berbagai wilayah masih belum optimal, sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, dan estetika kota.

Dengan produksi sampah harian yang yang mencapai 7.543 ton, menjadi beban yang sangat berat untuk Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang yang kapasitasnya semakin terbatas.

Di sisi lain, perkembangan teknologi menawarkan berbagai solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya

dengan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi. Konsep waste to energy telah banyak dikembangkan dalam skala besar, namun implementasinya dalam skala kecil atau miniatur masih sangat terbatas, terutama dalam bidang edukasi dan penelitian.

Komponen utama dalam sistem PLTSA adalah *boiler*, yang berfungsi mengubah air menjadi uap untuk memutar turbin. Namun, pengaturan suhu, tekanan, dan debit air dalam *boiler* sangat krusial agar proses konversi energi berjalan optimal dan aman.

Penelitian ini akan membahas pembuatan dan pengujian sistem kontrol otomatis pada *boiler* miniatur, yang dapat digunakan sebagai model pengujian awal sistem PLTSA dalam skala laboratorium. Sistem kontrol ini akan dirancang untuk menjaga parameter suhu dan tekanan uap dalam batas yang diinginkan secara otomatis menggunakan sensor dan mikrokontroler.

2. Teori Dasar

Tinjauan Pustaka

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dengan Teknologi Pembakaran Langsung

Pemanfaatan sampah untuk menjadi energi (Waste to Energy) sudah banyak dilakukan, salah satunya untuk pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga sampah dikenal sebagai PLTSA. Teknologi pemanfaatan sampah untuk menghasilkan energi listrik sudah banyak dikembangkan. Secara prinsip, proses sampah diubah menjadi energi listrik dilakukan melalui proses pembakaran langsung (direct combustion)

Konversi Sampah Menjadi Energi: Melalui Thermo Chemical Teknologi yang

menggunakan proses konversi thermochemical antara lain: Torrefaction (torefaksi), Plasma treatment, Gasification (gasifikasi), Pyrolysis (pemanasan), dan Liquefaction (pelarutan) yang akan menghasilkan bahan bakar dalam bentuk padat atau cair.

Contoh pemakaian dari Teknologi Torefaksi Adalah :

PLTSA Benowo, Surabaya dengan Gasifikasi dan Landfill Gas), yang menggunakan metode Gasification Power Plant, yang mengubah sampah organik menjadi syngas melalui pemanasan suhu tinggi, menghasilkan Listrik mencapai 9 MW.

Konversi Sampah Menjadi Energi yang Menggunakan Proses Physicochemical (ekstraksi dan Pirolisis)

Contoh penggunaan teknologi Pirolisis (Gambar 2.3) Adalah : Henan Mingjie Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Yang membuat pabrik pirolisis untuk dijual umum.

Konversi sampah menjadi energi melalui proses biochemical

Sementara itu, teknologi yang menggunakan proses biochemical, antara lain: fermentation (fermentasi) dan Anaerobic Digestion (AD atau Biodigester) yang menghasilkan bahan bakar dalam bentuk gas . Bahan bakar inilah yang nantinya digunakan untuk menghasilkan energi panas yang akan menggerakkan turbin generator yang menghasilkan listrik (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997, dalam Bosmans & Helsen, 2010:)

Landasan Teori

Jenis – Jenis Boiler

Boiler adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air menjadi uap dengan menggunakan sumber panas eksternal. Dalam konteks PLTSA, sumber panas berasal dari proses pembakaran sampah. *Boiler* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain:

Fire Tube Boiler

Uap dihasilkan dari pemanasan air yang mengelilingi pipa-pipa api. *Boiler* jenis *Fire Tube* Adalah *boiler* dengan prinsip kerja sebagai berikut, panas dari api pembakaran di tungku dialirkan ke pipa , Dimana pipa tersebut akan melewati tangki berisi air. Sehingga perpindahan panas akan terjadi dari pipa panas ke air didalam tangki yang merendam pipa. Air yang dipanaskan

ini akan berubah menjadi uap yang bertekanan.

Water Tube Boiler

Air dialirkan melalui pipa yang dipanaskan oleh api dari luar. *Boiler jenis water tube* adalah boiler dengan prinsip kerja sebagai berikut, Air dialirkan ke pipa, dimana pipa tersebut akan melewati tungku api. Sehingga perpindahan panas akan terjadi dari api di tungku ke air didalam pipa. Air yang dipanaskan ini akan berubah menjadi uap yang bertekanan.

Parameter Penting pada Boiler

Beberapa parameter penting dalam pengoperasian boiler antara lain:

- Tekanan uap bersatuan bar (symbol P)
- Suhu uap bersatuan derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- Level air dalam Boiler, diatur levelnya oleh level switch
- Supply bahan bakar
- Laju aliran udara pembakaran

Sistem Kontrol Otomatis

Sistem kontrol otomatis digunakan untuk mengatur dan menjaga variabel-variabel proses dalam kondisi stabil sesuai nilai yang diinginkan (set point). Dalam sistem boiler, kontrol otomatis sangat penting untuk menjaga keselamatan dan efisiensi.

Jenis Kontrol

Kontrol On/Off

Sistem kontrol paling sederhana yang hanya mengenal dua kondisi (hidup/mati). Sistem kontrol jenis On / Off difungsikan oleh push button On dan Off yang mengontrol relay M0, dimana PB On untuk mengaktifkan relay M0 dan PB Off untuk menonaktifkan relay M0.

Kontrol Proporsional-Integral- Derivatif (PID)

Kontrol yang menggunakan gabungan dari aksi proporsional, integral, dan derivatif untuk menghasilkan respon yang lebih stabil.

Sistem kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) bekerja dengan mekanisme umpan balik (*feedback*) untuk menjaga variabel proses (seperti suhu, kecepatan, tekanan) mendekati nilai target (*setpoint*). PID menghitung nilai error ($e(t)$) sebagai selisih *setpoint* dan nilai aktual, lalu menghasilkan sinyal koreksi berdasarkan tiga komponen: Proporsional (P) merespons kesalahan saat ini, Integral (I) mengatasi akumulasi kesalahan masa lalu, dan Derivatif (D) memprediksi kesalahan masa depan.

Kontrol Logika Fuzzy / PLC

Digunakan untuk sistem non-linear atau kompleks. Sistem kontrol logika fuzzy bekerja

dengan memodelkan penalaran manusia menggunakan himpunan fuzzy (nilai antara 0-1) dan aturan linguistik (IF-THEN) untuk menangani ketidakpastian. Prinsip utamanya melibatkan fuzzifikasi (mengubah data tegas menjadi fuzzy), inference engine (pemrosesan aturan pakar), dan defuzzifikasi (mengubah kembali hasil fuzzy menjadi nilai kontrol numerik/tegas).

Teori Hubungan Antara Suhu, Tekanan dan Level Air Dalam Boiler

Hubungan Antara Suhu dan Tekanan dalam Boiler

Dalam sistem boiler, suhu dan tekanan saling berkaitan secara langsung karena:

- Boiler memanaskan air hingga menjadi uap jenuh (saturated steam).
- Ketika air dipanaskan dan berubah menjadi uap, tekanan uap meningkat seiring dengan peningkatan suhu.
- Hubungan ini bersifat eksponensial dan dapat dijelaskan melalui kurva tekanan-uap air (steam table).
- Persamaan Umum (Hukum Termodinamika)

Hubungan Level Air dengan Tekanan dan Suhu

Level air (water level) dalam boiler juga berpengaruh secara tidak langsung terhadap suhu dan tekanan:

Jika level air terlalu rendah:

- Bisa terjadi overheating, karena tidak terendam air.
- Dapat terjadi kegagalan sistem atau ledakan akibat tekanan tinggi dan tidak adanya pendinginan dari air.
- Uap yang dihasilkan sangat sedikit, sehingga tekanan bisa menurun tiba-tiba (jika tidak ada kontrol).

Jika level air terlalu tinggi:

- Uap yang terbentuk membawa partikel air (wet steam) → menurunkan efisiensi.
- Tidak cukup ruang untuk akumulasi uap → tekanan tidak optimal.
- Berisiko kontaminasi turbin atau peralatan hilir karena entrainment (ikutnya air dalam uap).

Internet of Things (IoT)

Secara terminologi, **Internet of Things (IoT)** terdiri dari dua kata utama: *Internet* (jaringan komputer global) dan *Things* (objek fisik). Menurut AWS, IoT adalah jaringan kolektif perangkat yang terhubung dan teknologi yang memfasilitasi komunikasi antara perangkat dengan *cloud*, serta antar perangkat itu sendiri.

Board ESP32

ESP32 adalah seri mikrokontroler berbasis *System in a Chip* (SoC) berbiaya rendah dan rendah daya yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Chip ini merupakan penerus dari ESP8266 dengan peningkatan signifikan pada kecepatan pemrosesan dan fitur konektivitas. ESP32 dirancang khusus untuk aplikasi Internet of Things (IoT) karena kemampuannya untuk terhubung langsung ke jaringan nirkabel tanpa memerlukan modul tambahan.

Board Relay

Relay adalah sakelar (switch) elektronik yang dioperasikan menggunakan arus listrik untuk mengontrol sirkuit yang memiliki daya lebih besar. Menurut Omron, *relay* berfungsi sebagai jembatan yang mengisolasi rangkaian kontrol bertegangan rendah (seperti mikrokontroler) dengan rangkaian beban bertegangan tinggi (seperti lampu AC atau motor).

Sensor Suhu Termokopel Tipe K

Termokopel Tipe K adalah jenis sensor suhu termoelektrik yang terdiri dari dua logam berbeda, yaitu Kromel (90% nikel, 10% kromium) dan Alumel (95% nikel, 2% aluminium, 2% mangan, dan 1% silikon).

Sensor ini bekerja berdasarkan Efek Seebeck ketika dua logam berbeda disambungkan pada satu ujung (titik ukur) dan terdapat perbedaan suhu antara ujung tersebut dengan ujung referensi, sehingga menghasilkan tegangan listrik mikro (*milivolt*) yang sebanding dengan suhu.

Pressure Transducer

Pressure transducer adalah perangkat elektronik yang mengubah gaya mekanis dari tekanan (cair atau gas) menjadi sinyal listrik analog. Menurut Omega Engineering, istilah ini sering digunakan secara bergantian dengan *pressure transmitter*, meskipun transducer umumnya mengacu pada perangkat dengan output tegangan (V) atau milivolt (mV).

Solenoid Valve

Solenoid valve adalah katup yang

dikendalikan secara elektromekanis untuk mengatur aliran fluida (cair atau gas). Menurut ASCO (Emerson), perangkat ini berfungsi sebagai sakelar aliran yang bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis linear.

Level Switch

Level switch tipe L adalah sensor ketinggian cairan yang dirancang untuk dipasang secara horizontal pada dinding samping tangki atau wadah. Dinamakan "Tipe L" karena bentuk fisiknya yang menyiku atau memiliki batang pelampung yang bergerak tegak lurus terhadap sumbu pemasangan. Menurut Thomasnet, sensor ini berfungsi sebagai sakelar otomatis untuk mendeteksi titik batas atas (*high level*) atau batas bawah (*low level*) air.

Aplikasi Blynk

Blynk adalah platform sistem operasi untuk IoT yang dirancang untuk menghubungkan perangkat keras (seperti ESP32, Arduino, atau Raspberry Pi) ke *cloud*, mengelola data, dan mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui aplikasi seluler. Menurut dokumentasi resmi Blynk.io, platform ini bukan sekadar aplikasi kontrol, melainkan ekosistem lengkap yang mencakup penyimpanan data, visualisasi, dan manajemen perangkat.

3. Perancangan Alat Dan Sistem Pendekatan Fungsional

Dalam pendekatan awal yaitu dilakukan secara fungsional, yang dimaksud pendekatan fungsional yaitu penjelasan mengenai fungsi dan cara kerja dari komponen pembentuk alat. Pada bagian ini akan ditampilkan diagram blok, daftar peralatan dan bahan yang dipergunakan serta prinsip kerja dari rancangan yang dibuat.

Diagram Blok

Diagram blok merupakan diagram yang berisi informasi mengenai input, control dan output dari sebuah rancangan. Pada rancangan ini terdapat tiga input dan dua output yang terkoneksi dengan internet dan dapat dimonitor melalui aplikasi Blynk.

Prinsip Kerja

• Inisialisasi Sistem:

Saat ESP32 dinyalakan, sistem melakukan inisialisasi GPIO *relay*, sensor suhu (MAX6675), sensor tekanan analog, dan sensor level air (float switch).

EEPROM dibaca untuk mengambil data WiFi terakhir dan setpoint suhu serta tekanan.

- Koneksi Blynk:
Jika WiFi berhasil terhubung, sistem akan menghubungkan diri ke server Blynk menggunakan BLYNK_AUTH_TOKEN. Status *relay* dan setpoint dikirim ke aplikasi Blynk.
- Pembacaan Sensor (*Task Sensor*), Setiap 1 detik, sistem membaca:
 - Suhu dari MAX6675
 - Tekanan dari sensor analog (dikonversi ke bar)
 - Level air dari float switchSemua data dikirim ke Blynk sebagai monitoring real-time.
- Mode Manual:
Pada mode manual, *relay* Solenoid Air dan Solenoid Uap sepenuhnya dikendalikan oleh tombol di aplikasi Blynk tanpa intervensi logika otomatis.
- Mode Otomatis:
Pada mode otomatis, sistem menggunakan validasi waktu 10 detik untuk menghindari noise: Solenoid Air: 1. Akan ON jika level air terdeteksi RENDAH secara terus-menerus selama 10 detik. 2. Akan OFF langsung ketika level air kembali PENUH. Solenoid Uap: 1. Akan ON jika suhu dan tekanan mencapai atau melebihi setpoint selama 10 detik. 2. Akan OFF jika suhu dan tekanan berada di bawah setpoint selama 10 detik.

Perancangan Alat

Perancangan Boiler

Pada rancangan ini, akan didesain sebuah *boiler* dengan bahan *stainless steel* dengan tebal 1.5 mm dan akan disambungkan antar bagian dengan proses pengelasan dengan mesin las argon. *Boiler* yang didesain berjenis *Fire Tube Boiler* dengan penyalur panasnya Adalah pipa *stainless steel* berdiameter ½ inch sebanyak 4 buah. Dimensi dari *boiler* adalah: Panjang 20 cm, lebar 20 cm dan tinggi 40 cm.

Jenis *boiler* yang dipilih adalah jenis *Fire Tube Boiler* dengan posisi vertikal, jenis ini dipilih dikarenakan lebih sederhana, untuk penyaluran panas dari tungku dibawah ke pipa tidak memerlukan peniup, cukup mengandalkan proses konveksi, dimana udara yang dipanaskan akan berkurang kepadatannya dan lebih ringan sehingga akan naik.

Perancangan Tungku

Tungku dirancang dengan bahan *Stainless Steel* dengan tebal 1,5 mm. Dimensi dari tungku Adalah:

Panjang 20 cm, Lebar 20 sm, Tinggi 20 cm Tungku dilengkapi dengan lubang ventilasi di kiri dan kanan tungku, dengan tujuan sebagai saluran udara yang dibutuhkan

untuk pembakaran. Di bagian depan tungku dilengkapi dengan pintu yang terbuat dari bahan yang sama yaitu *Stainless Steel* 1,5 mm. Pintu ini berfungsi untuk memasukan sampah yang menjadi bahan bakar *boiler*. Dan di bagian bawah juga dilengkapi lubang yang berfungsi untuk pembuangan debu sisa pembakaran yang akan jatuh ke penampung karena gaya gravitasi.

Perancangan Penampung Debu

Penampung debu diranvcang menjadi dua bagian, yaitu rangka dan kotak penampung debu. Pengoperasian dari penampung debu ini dengan cara manual yaitu seperti laci yang keluar masuknya dengan ditarik dan didorong. Kotak penampung akan bergerak di rel yang tersedia di rangka bagian bawah.

a. Rangka Penampung Debu

Rangka penampung debu dibuat dari *hollow stainless steel* berukuran 2mm x 2mm. Ukuran dari rangka adalah : Rangka luar : 40 cm x 22 cm x 25 cm Rangka dalam : 22 cm x 22 cm x 22 cm

Di bagian bawah rangka dalam, dilengkapi rel sebagai alur untuk keluar masuknya kotak penampung debu.

b. Kotak Penampung Debu

Kotak penampung debu dirancang untuk menampung debu sisa pembakaran dari tungku yang akan jatuh karena gaya gravitasi kedalam kotak penampung. Dibuat dari bahan *stainless steel* dengan tebal 1,5 mm. Ukuran dari kotak penampung debu ini Adalah: Panjang 20 cm, Lebar 20 cm, Tinggi 20 cm Kotak penampung debu ini dilengkapi juga dengan pegangan dari pipa *stainless steel* diameter ½ inchi dengan Panjang 10 cm, pegangan ini berfungsi untuk pegangan Ketika mengeluarkan dan memasukan kotak penampung debu kedalam rangka.

Perancangan Sistem Kontrol

Rancangan Pengaturan Level Air

Level switch akan memutus dan menyambungkan tegangan dari sumber tegangan ESP 32 dan akan meneruskan ke pin nomor 27 di ESP 32 sebagai *trigger* pada program di ESP32 dalam mengontrol pin 25 yang menuju *relay* K1 yang akan mengatur aktivasi dari solenoid air.

Rancangan Pengaturan Tekanan dan Suhu

Rancangan pengaturan tekanan dan suhu ini bertujuan untuk mengatur kapan uap bertekanan harus dikeluarkan dari *boiler*. Di sistem control ini, uap dirancang akan keluar jika tekanan dan suhu sudah mencapai nilai tertentu, disini diatur supaya uap bisa keluar jika tekanan sudah mencapai 2 bar dan suhu sudah mencapai 100 °C. Ketika kedua parameter tersebut tercapai maka solenoid uap akan aktif dan membuka.

Perancangan Software

- a. **Konfigurasi Tampilan dan WiFi** Tampilan di Blynk adalah *BOILER PLTS*, dan untuk koneksi WiFi ke hotspot “iphone eman “ dengan password trumpf123. Jika koneksi WiFi berubah, maka bisa disesuaikan di pengkodean ini.
- b. **Konfigurasi EEPROM** (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) adalah jenis memori non-volatil yang digunakan dalam perangkat elektronik untuk menyimpan data kecil (konfigurasi, kalibrasi) secara permanen, bahkan saat daya dimatikan. Dari pengkodean diatas, Blynk diajari mengenai mode operasi manual dan otomatis, juga mengenai pengaturan seting suhu dan tekanan.
- c. **Perancangan Tampilan Aplikasi Blynk** Dengan pengkodean seperti dibahas sebelumnya, tampilan dari aplikasi Blynk seperti berikut : Didalam tampilan aplikasi Blynk dirancang untuk tampil nama program yaitu *BOILER PLTS*, kemudian ada mode operasi (Manual dan Otomatis), ada kondisi *solenoid* air dan *solenoid* uap, ada setingan suhu dan tekanan, ada data *real time* suhu dan tekanan dan juga ada kondisi level air.

Pengujian Alat dan Sistem

Pengujian Sensor Suhu

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran 17 kali dengan suhu berbeda-beda. *Thermogun* diarahkan untuk mengukur suhu di sekitar kedudukan sensor suhu.

Pengujian Sensor Tekanan

Mekanisme Pengujian

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran 17 kali dengan tekanan berbeda-beda. Sebagai pembandingan

Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian Mode Manual Mekanisme Pengujian

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengaktifan mode manual di aplikasi Blynk (sesuai dengan pemrograman, mode standard Ketika Blynk dihidupkan, mode yang aktif Adalah mode manual). Kemudian di display

Blynk untuk *solenoid* air di On dan Off, kemudian dilihat untuk *Relay* aktif atau tidak, ini harus sesuai dengan status di Blynk. Untuk *solenoid* air juga sama, diuji bagaimana respons *relay* dan *solenoid* air terhadap perintah Blynk.

Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian sistem kontrol mode manual terlihat bahwa Ketika perintah di Blynk untuk solenoid air On, maka *relay* dan *solenoid* status menjadi On keduanya, dan Ketika di Blynk perintahnya Off, maka *relay* dan *solenoid* air pun keduanya berubah menjadi Off.

Untuk uap Ketika perintah di Blynk On, maka *relay* dan *solenoid* uap berubah status menjadi On, dan Ketika di Blynk perintahnya menjadi Off, maka *relay* dan *solenoid* pun keduanya berubah menjadi Off.

Hal ini memberikan Kesimpulan bahwa sistem kontrol mode manual, berjalan dengan baik sesuai dengan rancangan.

Pengujian Mode Otomatis

Mekanisme Pengujian

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengaktifan mode Otomatis di aplikasi Blynk (sesuai dengan pemrograman, ketika Blynk dihidupkan, mode yang aktif Adalah mode manual, sehingga untuk mode otomatis, harus diaktifkan dahulu display Blynk). Kemudian system control diaktifkan, dan *boiler* dimulai proses pembuatan uap air. Selama proses pendidihan air , semua kondisi parameter dicatat dan dibandingkan kondisinya dengan display di aplikasi Blynk.

Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian sistem kontrol mode otomatis terlihat bahwa ketika parameter level air di posisi *Low* dengan apapun kondisi suhu dan tekanan, untuk status *relay* dan *solenoid* air selalu On, dan Ketika level air di posisi *High* dengan apapun kondisi suhu dan tekanan untuk status *relay* dan *solenoid* air selalu Off keduanya, Jadi *relay* dan solenoid air hanya tergantung dengan kondisi level air, ini sesuai dengan pemrograman pada rancangan ini.

Sedangkan untuk *relay* dan *solenoid* uap bekerjanya diatur oleh kondisi parameter suhu dan tekanan, Ketika suhu sama dengan atau melebihi 100 °C dan tekanan sama dengan atau melebihi 2 bar, maka *relay* dan solenoid

uap akan On dan uap akan keluar dari *boiler*. Dan Ketika tekanan uap kurang dari 2 bar, maka *relay* dan solenoid uap akan Off. Hal ini sudah sesuai dengan pemrograman yang dirancang untuk rancangan alat.

Pengujian Rancangan Alat Keseluruhan Mekanisme Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasukan air kedalam *boiler* secara otomatis, sumber air dari keran air rumah yang bertekanan, kemudian bahan bakar yang digunakan Adalah sampah limbah kayu kering yang dimasukan ke tungku secara manual. Sistem kontrol diaktifkan mode otomatis, dan pencatatan data dilakukan setiap 5 menit sekali sebanyak 17 kali. Data diambil dari display aplikasi Blynk yang pembacaannya secara *real time* .

Analisa Hasil Pengujian

- Ketika tekanan mencapai setting di 2 bar (200 Kpa) sepuluh detik kemudian Solenoid Valve Uap ON (Membuka)
- Ketika tekanan berkurang menjadi dibawah 2 bar (200 Kpa) sepuluh detik kemudian, Solenoid Valve Uap akan OFF (Menutup), sesudah Valve Uap menutup, Tekanan kembali naik ke 2 bar (200 Kpa). Hal ini berulang
- Pada Rentang Data 14 sampai data ke 17, Ada Kondisi Solenoid Valve uap ON (Buka) tetapi tidak tercatat.
- Dari data ini, terlihat bahwa Sistem Kontrol Otomatis untuk Boiler ini berfungsi dengan baik

Daftar Pustaka

- [1] Azwin,S & Kirom, R.,(2017) “Simulasi profil gas dan potensi energi dari pembakaran sampah padat kota pada medel bed dari incinerator moving grate,” <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/3598/3412>
- [2] Jurnal Teknik Lingkungan Vol.16 No.2, <https://doi.org/10.5614/jtl.2010.16.2.1>
- [3] Dermanto,Trikueni (2013), “ Blog Desain Sistem Kontrol”,. <http://trikueni-desainsistem.blogspot.co.id/2013/08/Solenoid-Valve.html>
- [4] Fauzan, Mohd Faizal (Jan 2009), “ Water Tube Boiler VS Fire Tube Boiler : Which one should you choose?” ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-fire-tube-and-water-tube-boiler-13_tbl2_309487066
- [5] Gondokusumo, Gandatmadi (Desember 2019),”Kumpulan Studi Aspirasi, Cara mengolah sampah plastic menjadi BBM layak jual”, <https://kumpulanstudi-aspirasi.com/cara-mengolah-sampah-plastik-jadi-bbm-layak-jual-bensin-solar-dan-minyak-tanah/>
- [6] Hendrawan, (2012) “ Pembangkit Listrik Tenaga Sampah “ <http://hendratetro.blogspot.co.id> ,
- [7] Hidayat, A. (2017). “Desain Miniatur Sistem Energi Terbarukan untuk Pendidikan.” Jurnal Teknik Elektro.
- [8] Kaltschmitt & Reinhardt, 1997, dalam Bosmans & Helsen, 2010, “ Waste to Energy “
- [9] Koretsky, Milo D , “ Engineering and Chemical Thermodynamics”, published by Wiley, John & Sons (2004)
- [10] Meirano, Aldi (Desember 2024), “Data Structures: Fondasi Penting dalam Dunia Pemrograman Modern “, INCA University, <https://inca.ac.id/data-structures-fondasi>
- [11] Nizami et al., (2017), “Waste biorefineries : Enabling circular economies in developing countries “: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417307526>