

Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Keasaman Air (pH) Pada Boiler PLTU Berbasis Arduino Uno

Design and Construction of an Arduino Uno-Based Water pH Level Monitoring System for Coal-Fired Power Plant Boilers

Fadliyani Djaki
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Kota Gorontalo, Indonesia
adindzaki@gmail

Syahrir Abdussamad*
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Kota Gorontalo, Indonesia
syahrirabdussamad@ung.ac.id*

Iskandar Zulkarnain Nasibu
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Kota Gorontalo, Indonesia
zul.nasibu@ung.ac.id

Amirudin Yunus Dako
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Kota Gorontalo, Indonesia
amirudin.dako@ung.ac.id

Diterima : Desember 2025
Disetujui : Januari 2026
Dipublikasi : Januari 2026

Abstrak— Perancangan alat monitoring kadar keasaman air (pH) pada boiler berbasis arduino uno di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pada prinsipnya sangat membantu petugas yang ada dilapangan, yang kesehariannya selalu mengecek kadar keasaman air. Saat ini proses pengambilan sampel air pada boiler pada umumnya dilakukan dengan cara manual, hal ini kurang efektif karena untuk kadar air di boiler selalu berubah-ubah sedangkan pengambilan sampelnya perdelapan jam sekali. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana merancang alat monitoring kadar keasaman air (pH) pada boiler serta menampilkan hasil pembacaan sensor ke monitor LCD. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dan perancangan untuk perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras menggunakan sensor pH dengan modul pH 4502C yaitu sebagai masukan selanjutnya diproses oleh arduino yang selanjutnya akan ditampilkan di LCD. Hasil Penelitiannya adalah sistem pembacaan sensor pH yang menggunakan modul pH 4502C Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pengukuran sebesar 95,6% berdasarkan perbandingan dengan larutan buffer standar. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem layak digunakan untuk pemantauan pH air boiler sesuai rentang operasional yang direkomendasikan. Dalam pengindraanya sensor ini akan mendeteksi kadar pH air dibawah 7,0 sampai 11,0 dan jika melebihi batas 11,0 maka buzzer akan aktif.

Kata Kunci— *Arduino; Sensor pH; Monitor LCD; Boiler.*

Abstract— *The design of an Arduino Uno-based water acidity (pH) monitoring device for boilers at Steam Power Plants (PLTU) fundamentally provides significant assistance to field technicians who monitor water acidity levels daily. Currently, the water sampling process for boilers is generally conducted manually, which is inefficient because the water quality in the boiler fluctuates constantly, while sampling is only performed every eight hours. The objective of this research is to design a pH monitoring device for boilers and display the sensor readings on an LCD monitor. The methodology used in this study involves*

experimental design for both hardware and software. The hardware utilizes a pH sensor with a pH 4502C module as the input, which is then processed by an Arduino and displayed on the LCD. The results indicate that the pH sensor system using the pH 4502C module can achieve a reading accuracy of up to 95.6%, and the device is considered to be in compliance with national standards. During detection, the sensor monitors pH levels between 7.0 and 11.0; if the level exceeds the 11.0 threshold, the buzzer will deactivate.

Keywords— *Arduino; pH Sensor; LCD Monitor; Boiler.*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Molotabu merupakan satu-satunya pembangkit listrik milik swasta yang beroperasi di Gorontalo. Sebagaimana diketahui, PLTU Molotabu berkontribusi dalam mendistribusikan listrik pada sistem interkoneksi Sulutgo sebesar 12,5 Mega Watt (MW) dari total kapasitas 25 MW. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU Molotabu dijual kepada pihak PLN per kilowatt hour (kWh). Selanjutnya, PLN mendistribusikannya kepada pelanggan, baik masyarakat maupun industri yang berada di Gorontalo.

PLTU adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Komponen utama dari pembangkit listrik ini adalah generator yang terhubung dengan turbin. Agar turbin dapat berputar, diperlukan energi kinetik dari uap panas dan kering, yang dikenal sebagai steam kering. Steam ini dihasilkan melalui proses pemanasan dalam boiler yang melewati economizer, menggunakan bahan bakar berupa batu bara (padat), minyak (cair), atau gas. Boiler pada dasarnya terdiri dari drum tertutup di ujung pangkalnya, dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api serta pipa air. Dalam perancangan boiler, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan agar boiler dapat beroperasi dengan baik sesuai kebutuhan. Selain itu, dalam pembentukan uap atau steam, konduktifitas dan kadar keasaman air juga harus diperhatikan. Standar kadar keasaman dan konduktifitas yang

harus diperhatikan antara lain (pH) air minimal 7,0-11,0 dan spesifikasi konduktifitas air sebesar 100-3500 mS/cm.

Boiler yang digunakan di PLTU Molotabu adalah *wall tube boiler*, di mana air yang berada di dalam pipa-pipa *boiler* dipanaskan dengan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran dilakukan secara kontinu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Bahan bakar yang digunakan dalam PLTU adalah batu bara berkalori rendah (*low range coal*). Batu bara dari pengeringan *coal yard* kemudian dihancurkan menjadi ukuran 10 mm untuk mempermudah proses pembakaran di boiler, dan selanjutnya diangkut ke bunker menggunakan *belt conveyor*. Di dalam PLTU terdapat alat khusus yang berfungsi untuk memproduksi *steam* (uap), yaitu *boiler*. *Boiler* merupakan alat pemanas yang digunakan untuk memanaskan air sehingga menghasilkan uap kering, yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin. *Boiler* yang digunakan di PLTU Molotabu adalah *water tube boiler*, dengan tipe CFB (*Circulating Fluidized Bed*) yang memiliki kapasitas produksi uap sebesar 55 ton/jam.

Dalam operasional PLTU Molotabu, pengambilan sampel kualitas air dalam boiler masih dilakukan secara manual, di mana operator boiler setiap enam jam melakukan pengambilan sampel air *boiler* dan membawanya ke laboratorium untuk dilakukan pengukuran. Dalam hasil pengukuran tersebut, terkadang tanpa disadari, kualitas keasaman (pH) air dalam boiler dapat meningkat, sehingga air menjadi bersifat basa dan dapat menimbulkan foaming atau berbusa. Kondisi air yang bersifat basa juga dapat menyebabkan korosi, sementara jika pH terlalu rendah, menunjukkan bahwa air bersifat asam dan sangat korosif.

Dari permasalahan tersebut, penulis berupaya merancang alat pemantau kadar keasaman air pH pada boiler berbasis Arduino Uno dengan menggunakan sensor pH 4502C untuk mendeteksi tingkat pH air.

Perkembangan teknologi mikrokontroler telah mendorong berbagai penelitian terkait sistem pemantauan kualitas air berbasis sensor, khususnya dalam pengukuran kadar keasaman (pH). Arduino merupakan salah satu platform yang banyak digunakan karena kemudahan integrasi dengan sensor analog serta efisiensi biaya implementasi.

Penelitian oleh Kurniawan dkk. [1] mengembangkan sistem pemantauan pH berbasis Arduino Uno untuk aplikasi budidaya ikan dengan tampilan LCD. Sistem tersebut menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik setelah proses kalibrasi menggunakan larutan buffer standar. Namun, sistem ini masih terbatas pada skala laboratorium dan belum dilengkapi dengan mekanisme kontrol yang sesuai dengan standar industri.

Pratama dan Nugroho [2] merancang sistem pemantauan pH dan suhu air untuk hidroponik berbasis Arduino Nano dengan fitur alarm *buzzer* ketika nilai pH berada di luar batas ideal tanaman. Meskipun sistem telah beroperasi secara *real-time*, implementasinya masih terbatas pada lingkungan pertanian dengan kondisi suhu yang stabil dan risiko korosi yang rendah.

Sementara itu, Sari dkk. [3] mengembangkan alat pemantauan kualitas air minum berbasis mikrokontroler dengan parameter pH dan kekeruhan. Sistem tersebut menunjukkan akurasi di atas 94% setelah kalibrasi, namun belum dirancang untuk sistem air bertekanan tinggi seperti boiler industri.

Dalam konteks industri pembangkit listrik, pengendalian kimia air boiler merupakan faktor krusial dalam menjaga keandalan sistem siklus uap-air. Vidojkovic dkk. [6] menekankan bahwa pemantauan kualitas *feedwater* secara online merupakan langkah preventif untuk mencegah kegagalan pipa boiler akibat masalah kimia, termasuk ketidakseimbangan pH. Studi tersebut menunjukkan pentingnya sistem pemantauan kontinu untuk mendeteksi perubahan kimia air sebelum menyebabkan kerusakan struktural.

Lebih lanjut, Larin dkk. [7] membahas tantangan dalam pengukuran pH pada air kemurnian tinggi (*superpure condensate* dan *feedwater*) di unit pembangkit listrik. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa pengukuran pH pada sistem *boiler* memiliki kompleksitas tinggi akibat konduktivitas yang rendah dan pengaruh temperatur, sehingga diperlukan sistem pemantauan yang stabil dan terkalibrasi dengan baik. Dalam penelitian lanjutan, Larin dkk. [8] mengembangkan metode prediksi kualitas kimia air berbasis kombinasi pengukuran pH dan konduktivitas untuk meningkatkan keandalan sistem pemantauan kimia pada pembangkit listrik tenaga uap.

Meskipun penelitian internasional telah membahas pentingnya pemantauan pH secara *online* dalam sistem *boiler* dan *feedwater*, implementasi sistem pemantauan berbasis mikrokontroler berbiaya rendah yang dirancang khusus untuk kebutuhan operasional PLTU skala menengah masih terbatas. Sebagian besar sistem industri menggunakan instrumen komersial dengan biaya tinggi dan kompleksitas instalasi yang besar.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang sistem pemantauan pH berbasis Arduino Uno yang disesuaikan dengan rentang operasional *boiler* (pH 7,0–11,0), dilengkapi dengan sistem peringatan dini otomatis, serta divalidasi melalui pengujian akurasi sebesar 95,6%. Pendekatan ini menawarkan solusi pemantauan *real-time* yang lebih sederhana, ekonomis, dan adaptif untuk kebutuhan PLTU.

II. METODE

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode eksperimen dan perancangan sistem untuk membuat sistem monitoring yang efektif dan efisien. Metode ini dipilih karena memberikan pendekatan yang sistematis dalam mengembangkan dan menguji perangkat yang dirancang. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan proses perancangan, implementasi, dan validasi sistem dilakukan secara terstruktur melalui tahapan kalibrasi dan pengujian kinerja sensor [9]. Tahapan penelitian yang kami lakukan meliputi perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perakitan sistem, pengujian, dan analisis hasil. Setiap tahapan ini memiliki peran penting dalam memastikan bahwa sistem yang kami kembangkan berfungsi dengan baik dan memenuhi tujuan yang diinginkan.

A. Perancangan Sistem

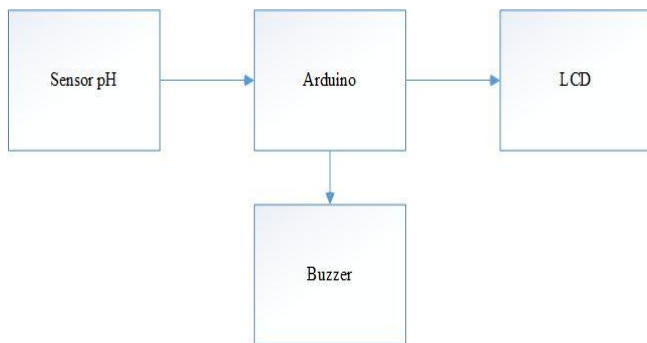
Pada tahap perancangan sistem, fokus utama adalah menciptakan sistem monitoring yang dapat secara akurat mengukur dan menampilkan nilai pH dari suatu larutan. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor pH 4502C sebagai input, Arduino Uno sebagai

pengolah data, LCD 16×2 sebagai media tampilan, dan buzzer sebagai alarm [10][11].

Sensor pH 4502C berfungsi untuk mendeteksi kadar keasaman atau kebasaan suatu larutan. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan nilai pH dari larutan yang diuji. Sinyal analog ini kemudian dikonversi oleh *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang terdapat pada Arduino menjadi data digital [9]. Proses konversi ini penting untuk memperoleh nilai pH yang representatif terhadap kondisi aktual larutan.

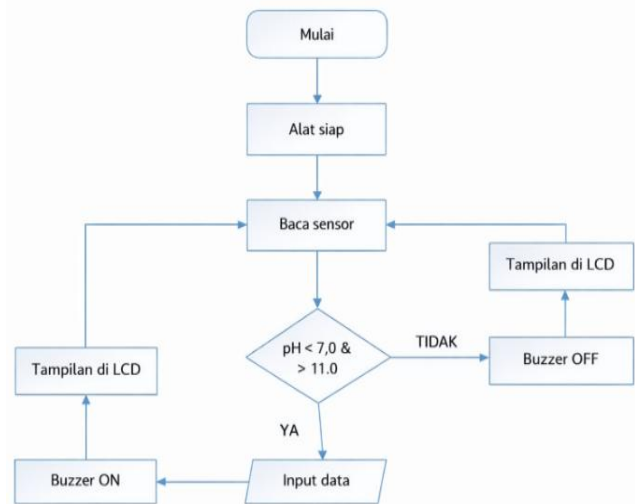
Setelah data pH dihitung, informasi ini akan ditampilkan pada LCD 16×2. LCD ini dipilih karena kemampuannya untuk menampilkan informasi secara jelas dan mudah dibaca. Dengan menggunakan LCD, pengguna dapat dengan cepat mengetahui nilai pH dari larutan yang diuji tanpa harus melihat ke perangkat lain. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan *buzzer* yang berfungsi sebagai alarm. *Buzzer* ini akan aktif jika nilai pH berada di luar batas aman yang telah ditentukan, memberikan peringatan kepada pengguna untuk mengambil tindakan yang diperlukan.

Rentang pengendalian pH dalam penelitian ini ditetapkan antara 7,0–11,0 mengacu pada standar operasional pengendalian kimia air *boiler* industri [12]. Penetapan ambang batas ini juga didukung oleh studi internasional yang menegaskan bahwa penyimpangan pH pada sistem *feedwater* dan *boiler* dapat memicu korosi serta degradasi material [13].



Gambar 1. Diagram blok

Diagram blok sistem pada Gambar 1, menunjukkan arsitektur monitoring kadar keasaman (pH) air berbasis Arduino Uno yang terdiri dari empat komponen utama, yaitu sensor pH sebagai input, Arduino sebagai unit pemrosesan, LCD sebagai *output visual*, dan *buzzer* sebagai sistem peringatan dini. Sensor pH berfungsi mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan air boiler berdasarkan perubahan konsentrasi ion hidrogen yang menghasilkan sinyal tegangan analog. Sinyal tersebut kemudian dikirim ke Arduino untuk dikonversi melalui *Analog-to-Digital Converter* (ADC) menjadi data digital dan diproses menggunakan persamaan kalibrasi guna memperoleh nilai pH yang akurat. Selanjutnya, Arduino membandingkan nilai pH dengan batas operasional yang telah ditentukan, yaitu 7,0–11,0, sesuai standar kualitas air boiler. Hasil pembacaan ditampilkan secara *real-time* pada LCD untuk memudahkan pemantauan oleh operator, sedangkan *buzzer* akan aktif secara otomatis apabila nilai pH berada di bawah atau di atas rentang aman sebagai bentuk sistem peringatan dini. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu melakukan proses input–proses–output secara terintegrasi dan mendukung monitoring kualitas air *boiler* secara kontinu.



Gambar 2. Diagram alir sistem

Diagram alir tersebut pada gambar 2, menggambarkan alur kerja sistem pemantauan kualitas air otomatis yang dimulai dengan inisialisasi perangkat hingga alat dinyatakan siap beroperasi. Setelah sistem aktif, langkah utama yang dilakukan secara terus-menerus adalah pembacaan data melalui sensor pH. Hasil pembacaan tersebut kemudian dievaluasi melalui sebuah gerbang logika keputusan untuk memeriksa apakah nilai pH berada di bawah 7.0 atau di atas 11.0.

Jika hasil pembacaan sensor menunjukkan bahwa pH air berada di luar rentang normal tersebut (kondisi "YA"), sistem akan memproses input data, mengaktifkan *buzzer* sebagai sinyal peringatan suara (*ON*), dan menampilkan informasi peringatan tersebut pada layar LCD sebelum kembali melakukan pembacaan sensor. Sebaliknya, jika nilai pH berada dalam rentang aman atau tidak memenuhi kriteria bahaya tersebut (kondisi "TIDAK"), sistem akan memastikan *buzzer* dalam keadaan mati (*OFF*) dan tetap menampilkan status pada layar, lalu siklus akan berulang kembali ke tahap pembacaan sensor untuk pemantauan berkelanjutan.

B. Perancangan Perangkat Lunak

Setelah tahap perancangan sistem selesai, kami melanjutkan ke tahap perancangan perangkat lunak. Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Bahasa ini dipilih karena kesederhanaannya dan dukungannya yang kuat terhadap pengembangan sistem berbasis Arduino.

Program yang kami kembangkan memiliki beberapa fungsi utama. Pertama, program ini bertugas untuk membaca data dari sensor pH. Proses ini dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa data yang ditampilkan selalu *up-to-date*. Setelah data dibaca, program akan mengonversi nilai analog menjadi nilai pH yang dapat dipahami. Misalnya, jika sensor memberikan nilai 512 dalam bentuk angka digital, program akan menggunakan rumus tertentu untuk mengonversi nilai tersebut menjadi pH yang sesuai.

Setelah nilai pH dihitung, program akan menampilkan hasilnya pada LCD. Pengguna dapat melihat nilai pH secara langsung dan mengambil keputusan berdasarkan informasi yang ditampilkan. Selain itu, program juga memantau nilai pH secara *real-time* dan mengaktifkan *buzzer* jika nilai pH berada di luar batas aman. Ini adalah fitur penting yang

meningkatkan keselamatan dan efektivitas sistem monitoring. Dengan adanya alarm ini, pengguna dapat segera melakukan tindakan korektif, seperti menambahkan bahan kimia untuk menyesuaikan pH larutan.

Logika alarm berbasis ambang batas diterapkan untuk mendukung konsep *early warning system*, yang dalam literatur industri direkomendasikan sebagai bagian dari sistem monitoring kimia air boiler guna mencegah kegagalan komponen [14]. Pendekatan ini selaras dengan sistem monitoring kontinu yang dibahas oleh Larin dkk. [15], di mana stabilitas pembacaan dan respons cepat terhadap perubahan parameter menjadi faktor penting dalam pengendalian kualitas air pembangkit.

C. Prosedur Pengujian

Setelah sistem dan perangkat lunak selesai dirancang, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem terhadap nilai pH referensi menggunakan larutan uji. Proses ini sangat penting untuk menilai akurasi dan konsistensi sistem yang telah dikembangkan.

Sebelum melakukan pengujian, kalibrasi sensor pH dilakukan untuk meningkatkan akurasi pembacaan. Kalibrasi ini melibatkan penggunaan larutan standar dengan nilai pH yang diketahui. Dengan melakukan kalibrasi, dapat dipastikan bahwa sensor memberikan pembacaan yang akurat dan konsisten. Setelah kalibrasi selesai, mulai melakukan pengujian dengan berbagai larutan uji untuk melihat seberapa baik sistem dapat mendeteksi nilai pH.

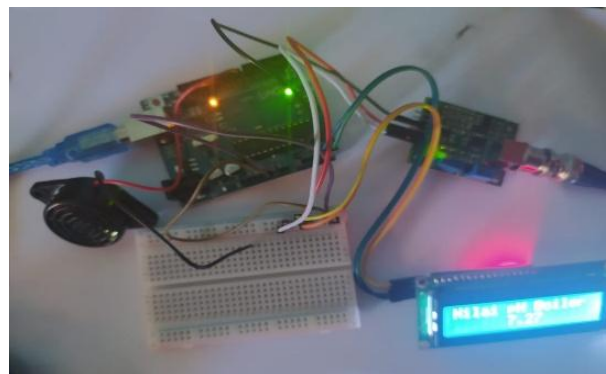
Selama pengujian, lalu mencatat hasil pembacaan dari sistem dan membandingkannya dengan nilai pH larutan uji yang telah diketahui. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan pembacaan yang akurat dalam rentang nilai pH yang diharapkan. Jika larutan uji memiliki pH 6,5, sistem berhasil mendeteksi nilai tersebut dengan akurasi yang tinggi. Pengujian ini tidak hanya memberikan validasi terhadap sistem yang dikembangkan, tetapi juga membantu dalam mengidentifikasi area yang mungkin perlu diperbaiki atau disesuaikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan alat merupakan langkah awal yang krusial dalam menciptakan sistem yang efektif dan efisien. Proses ini dimulai dengan perancangan skema rangkaian, penulisan program Arduino, perancangan hardware, hingga implementasi hasil desain. Setiap tahapan memiliki peranan penting yang saling mendukung untuk menghasilkan alat yang berfungsi dengan baik. Dalam konteks ini, alat yang dirancang adalah alat pendeteksi kadar keasaman air pH, yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi, mulai dari pertanian hingga laboratorium penelitian.

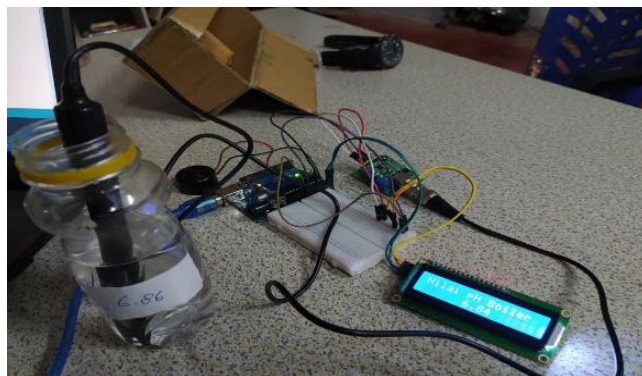
Hasil pengujian perangkat keras (*hardware*) merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa alat yang telah dirancang dapat berfungsi dengan baik. Setelah proses perancangan selesai, alat diuji melalui eksperimen yang melibatkan pengoperasian alat dengan dua pendekatan: pengujian komponen perangkat keras dan komponen lunak. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap bagian dari sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada Gambar 3, kita dapat melihat

keseluruhan perangkat keras dari sistem pendeteksi kadar keasaman air pH.



Gambar 3. Perangkat keras sistem

Menggali lebih dalam mengenai cara kerja sensor pH, ditemukan bahwa sensor ini sangat sensitif dan dapat memberikan pembacaan yang akurat ketika dicelupkan ke dalam cairan uji.



Gambar 4. Pengujian sensor pH

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, proses pengujian sensor pH dilakukan dengan mencelupkan sensor ke dalam cairan. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia, di mana ion hidrogen dalam cairan akan mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan oleh sensor. Tegangan ini kemudian dikirim ke Arduino untuk diproses dan ditampilkan. Pembacaan keasaman air yang akurat sangat penting, terutama dalam konteks pertanian, di mana pH tanah dan air dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara signifikan.

Dalam proses perancangan dan pengujian alat ini, terdapat beberapa tantangan yang harus dihadapi. Salah satunya adalah memastikan bahwa semua komponen berfungsi secara harmonis. Jika sensor pH tidak terkalibrasi dengan baik, maka hasil pembacaan dapat menjadi tidak akurat, yang pada gilirannya dapat memberikan informasi yang salah kepada pengguna. Oleh karena itu, kalibrasi sensor secara berkala sangat penting untuk menjaga akurasi alat. Selain itu, interaksi antara perangkat keras dan perangkat lunak juga harus diperhatikan, karena kesalahan dalam penulisan program Arduino dapat menyebabkan alat tidak berfungsi dengan baik.

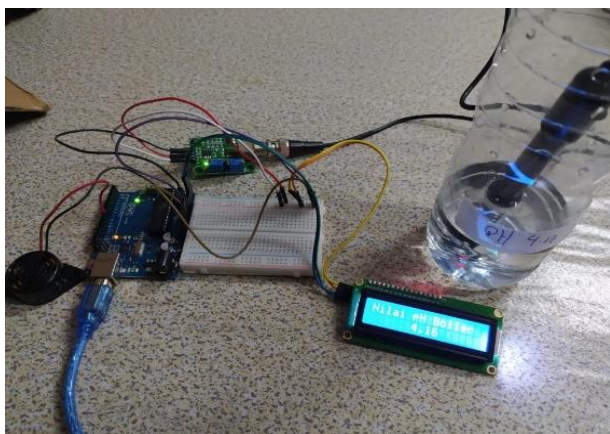
Sebagai contoh, jika program tidak mengatur logika yang benar untuk memicu *buzzer* atau menampilkan informasi di LCD, maka alat tidak akan memberikan peringatan yang diperlukan kepada pengguna. Oleh karena itu, pengujian perangkat lunak juga harus dilakukan secara

menyeluruh untuk memastikan bahwa semua fungsi berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil pengujian cara kerja alat pendeteksi pH

Pada pengujian alat pendeteksi pH ini, kami melakukan serangkaian langkah sistematis untuk memastikan bahwa alat tersebut berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang akurat. Pengujian dilakukan dengan mengambil sampel air yang berbeda, bertujuan untuk mengevaluasi kualitas keasaman air tersebut. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel yang telah disediakan, yang menunjukkan bagaimana alat ini merespons berbagai tingkat pH.

Pada masukan, dapat dilihat bahwa alat ini dilengkapi dengan beberapa komponen, seperti tombol *push button* yang berfungsi untuk menyimpan data ke EEPROM. Selain itu, alat ini juga mampu mendeteksi berbagai tingkat pH, yang kemudian ditampilkan pada layar LCD. Ketika alat mendeteksi pH 4.17 Gambar 5, *buzzer* akan menyala, dan nilai pH tersebut akan ditampilkan di LCD. Ini menunjukkan bahwa alat ini tidak hanya memberikan pembacaan pH, tetapi juga memberikan sinyal auditori sebagai indikasi bahwa pembacaan telah dilakukan.

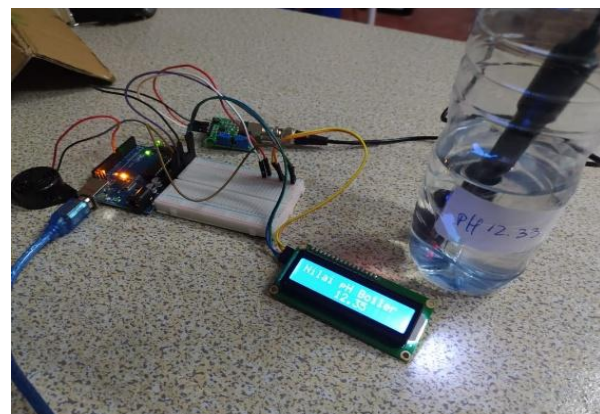


Gambar 5. Nilai pH boiler 4.17

Pengujian yang dilakukan juga menunjukkan bahwa alat ini mampu mendeteksi pH dalam rentang yang cukup luas, pada pH 6.87, *buzzer* akan menyala dan berkedip, menandakan bahwa nilai tersebut berada dalam kisaran yang mungkin berbahaya jika tidak diperhatikan diperlihatkan pada Gambar 6. Selanjutnya, pada pH 9.87 untuk Gambar 7, *buzzer* akan mati, tetapi nilai pH tetap ditampilkan di LCD. Ini menunjukkan bahwa alat ini dapat memberikan informasi yang jelas tentang kondisi air yang diuji. Terakhir, pada pH 12.33, *buzzer* kembali menyala dan berkedip, menunjukkan bahwa nilai tersebut berada pada tingkat alkalin yang tinggi.



Gambar 6. Nilai pH boiler 6,87



Gambar 7. Nilai pH boiler 12.33

Setelah melakukan pengujian sebanyak empat kali, peneliti menemukan bahwa persentase keberhasilan alat ini mencapai 95%. Hal ini menunjukkan bahwa alat ini dapat melakukan pembacaan dengan tingkat akurasi yang sangat baik, meskipun masih terdapat perbedaan angka yang terdeteksi. Saat melakukan pengujian pada sampel yang telah ditentukan, perbedaan antara dua hingga tiga digit di belakang koma. Perbedaan ini, meskipun ada, masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk alat pengukur pH.

Analisis lebih dalam mengenai hasil pengujian ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan dalam pembacaan, alat ini tetap dapat diandalkan untuk memberikan informasi yang relevan tentang kualitas air. Hal ini penting, terutama dalam konteks pengelolaan sumber daya air dan pemantauan lingkungan. Dengan alat ini, pengguna dapat dengan mudah memantau perubahan pH air secara *real-time*, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi, mulai dari pertanian hingga industri.

Hasil pengujian alat pendeteksi pH menunjukkan bahwa alat ini memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mendeteksi dan menampilkan nilai pH dengan akurasi tinggi. Dengan tingkat keberhasilan 95%, alat ini dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi, baik dalam pengelolaan sumber daya air maupun dalam industri. Meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam pembacaan, alat ini tetap memberikan informasi yang cukup untuk pengambilan keputusan yang tepat. Oleh karena itu, alat pendeteksi pH ini merupakan inovasi yang sangat penting dalam pemantauan kualitas air, yang dapat memberikan dampak positif bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat monitoring ini memiliki tingkat keberhasilan mencapai 95,6% dalam mengukur kadar keasaman air. Meskipun terdapat perbedaan angka pembacaan antara alat yang dirancang dengan sampel pembanding, selisih tersebut hanya berkisar antara dua hingga tiga digit di belakang koma, yang mana masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Akurasi yang tinggi ini membuktikan bahwa integrasi antara sensor pH 4502C dengan mikrokontroler Arduino Uno mampu memberikan data yang valid untuk memantau kualitas air boiler secara *real-time*. Hal ini menjadi solusi atas kelemahan metode manual di PLTU Molotabu yang sebelumnya hanya dilakukan setiap enam hingga delapan jam sekali, sehingga fluktuasi kadar pH yang terjadi sewaktu-waktu dapat terdeteksi lebih cepat.

Sistem *alarm* yang menggunakan *buzzer* bekerja secara efektif sebagai indikator peringatan dini bagi operator lapangan. Berdasarkan logika program yang dirancang, *buzzer* akan aktif dan memberikan sinyal suara jika sensor mendeteksi nilai pH di bawah 7,0 (asam) atau di atas 11,0 (basa). Sebaliknya, ketika nilai pH berada dalam rentang aman sesuai standar operasional boiler, yaitu antara 7,0 hingga 11,0, *buzzer* akan tetap mati. Respon sistem ini sangat krusial karena kondisi air yang terlalu asam bersifat korosif, sementara air yang terlalu basa dapat menyebabkan pembentukan busa (*foaming*) yang dapat merusak integritas pipa-pipa pada *water tube boiler*.

Meskipun alat ini berfungsi dengan baik, analisis hasil pengujian juga mengungkap batasan operasional pada sensor pH 4502C, terutama terkait sensitivitas terhadap suhu. Sensor ini tidak dapat digunakan pada air dengan suhu melebihi 80°C karena berisiko mengalami kerusakan permanen. Mengingat *boiler* beroperasi pada suhu tinggi untuk memproduksi uap, disarankan agar pengambilan sampel air melalui proses pendinginan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran. Kedepannya, efektivitas pemantauan ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor konduktivitas air untuk memberikan gambaran kualitas air yang lebih komprehensif bagi pengelolaan sumber daya air di industri pembangkit listrik.

IV. KESIMPULAN

Rancang bangun sistem kontrol kadar pH berbasis sensor pH 4502C dan Arduino Uno telah berhasil direalisasikan dengan tingkat akurasi pembacaan mencapai 95,6%, sehingga sistem dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas air secara *real-time*. Sistem peringatan berupa alarm *buzzer* terbukti efektif dalam mendeteksi kondisi pH yang berada di luar rentang standar 7,0–11,0, di mana *buzzer* akan aktif ketika pH berada pada kondisi asam (di bawah 7,0) atau basa (di atas 11,0), serta didukung oleh tampilan LCD sebagai media informasi visual bagi pengguna. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan penambahan sensor konduktivitas agar sistem mampu memberikan analisis kualitas air yang lebih komprehensif, khususnya untuk kebutuhan aplikasi industri seperti pengolahan air dan sistem steam.

REFERENSI

- [1]. R. Kurniawan, M. Iqbal, dan A. Setiawan, "Rancang bangun alat monitoring pH air berbasis Arduino Uno pada sistem budidaya ikan," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 85–92, 2020.
- [2]. D. A. Pratama dan S. Nugroho, "Sistem monitoring pH dan suhu air untuk tanaman hidroponik berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 210–216, 2020.
- [3]. L. P. Sari, H. Wijaya, dan R. Firmansyah, "Perancangan alat monitoring kualitas air minum berbasis mikrokontroler," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 45–52, 2019.
- [4]. B. G. Lipták, *Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016.
- [5]. American Society of Mechanical Engineers (ASME), *Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boilers*, New York, NY, USA: ASME, 2015.
- [6]. S. Vidojkovic, A. Onjia, B. Matovic, N. N. Grahovac, V. Maksimovic, and A. Nastasovic, "Extensive feedwater quality control and monitoring concept for preventing chemistry-related failures of boiler tubes in a subcritical thermal power plant," *Applied Thermal Engineering*, vol. 59, no. 1–2, pp. 683–694, 2013.
- [7]. B. Larin, B. M. Larin, A. Ya. Sorokina, and S. V. Kiet, "The measurement of pH in superpure condensate and feedwater of power units," *Thermal Engineering*, vol. 65, pp. 854–858, 2018.
- [8]. B. Larin, S. V. Kiet, K. V. Zotova, et al., "Prediction methods based on electrical conductivity and pH measurements in water coolant chemical-monitoring systems," *Thermal Engineering*, vol. 70, pp. 466–471, 2023.
- [9]. B. G. Lipták, *Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016.
- [10]. R. Kurniawan, M. Iqbal, dan A. Setiawan, "Rancang bangun alat monitoring pH air berbasis Arduino Uno pada sistem budidaya ikan," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 85–92, 2020.
- [11]. D. A. Pratama dan S. Nugroho, "Sistem monitoring pH dan suhu air untuk tanaman hidroponik berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 210–216, 2020.
- [12]. American Society of Mechanical Engineers (ASME), *Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boilers*. New York, NY, USA: ASME Press, 1994, doi: 10.1115/1.100367.
- [13]. S. Vidojkovic, A. Onjia, B. Matovic, N. N. Grahovac, V. Maksimovic, and A. Nastasovic, "Extensive feedwater quality control and monitoring concept for preventing chemistry-related failures of boiler tubes in a subcritical thermal power plant," *Applied Thermal Engineering*, vol. 59, no. 1–2, pp. 683–694, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.06.028.
- [14]. S. Vidojkovic, A. Onjia, B. Matovic, N. N. Grahovac, V. Maksimovic, and A. Nastasovic, "Extensive feedwater quality control and monitoring concept for

preventing chemistry-related failures of boiler tubes in a subcritical thermal power plant,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 59, no. 1–2, pp. 683–694, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.06.028.

- [15]. A. B. Larin, B. M. Larin, A. Y. Sorokina, and S. V. Kiet, “The measurement of pH in superpure condensate and feedwater of power units,” *Thermal Engineering*, vol. 65, no. 11, pp. 854–858, 2018, doi: 10.1134/S0040601518110058.