



RANCANG BANGUN SISTEM FILTRASI AIR LINDI MENJADI AIR SANITASI TERINTEGRASI PENDETEKSI KUALITAS pH, *TOTAL DISSOLVED SOLIDS* (TDS), TURBIDITAS, DAN TEMPERATUR

St. Nursheilla Nugroho¹, Nur Masita², Rahmadhika Eka Yuwana³,
George Gabriel Wongady Sosang⁴, Inan Jazilaturrohmah⁵, Firdausi Nuzula Niamillah⁶,
Andhika Fathurrohman⁷, Zalfa Alya Nur Aribah⁸, M. Afis Danata⁹,
Muhammad Fauzan Habibi¹⁰, Ayunda Puspa Fathma Azzahra¹¹,
Labiba Nareswari Suprpto¹², Jayvero Glorify Sembiring¹³, Selvi Dwi Anggraini¹⁴

¹⁻¹⁴Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus Sukolilo, Surabaya, tlp. 031599425154
⁷5008221006@student.its.ac.id

Abstrak

Air lindi merupakan limbah cair berbahaya yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah organik di Tempat Pembuangan Sampah (TPS). Kandungan zat organik, logam berat, serta padatan terlarut di dalamnya dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan jika tidak ditangani dengan tepat. Di sisi lain, akses terhadap air bersih dan layak sanitasi masih menjadi tantangan di berbagai wilayah. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk mengolah air lindi agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai air sanitasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem filtrasi air lindi yang terintegrasi dengan sensor kualitas air berbasis Arduino Mega. Sistem ini menggunakan media filtrasi berupa pasir silika, karbon aktif, sabut kelapa, dan membran ultrafiltrasi, serta dilengkapi dengan empat jenis sensor: sensor pH (SEN0161-V2), sensor TDS (SEN0244), sensor turbiditas (SEN0189), dan sensor temperatur (DS18B20). Kalibrasi dilakukan terhadap sensor pH dan TDS menggunakan larutan standar, menghasilkan kurva regresi dengan tingkat akurasi tinggi ($R^2 > 0,98$). Pengujian sistem dilakukan selama 10 menit dengan pencatatan data tiap menit. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan pH air limbah dari 1,08 menjadi 8,475, menurunkan turbiditas dari 5,38 NTU menjadi 4,867 NTU, serta mempertahankan nilai TDS di bawah ambang batas aman (<1000 ppm). Temperatur air pasca-filtrasi tercatat stabil pada $28,23^{\circ}\text{C}$. Analisis keberlanjutan menunjukkan bahwa sistem ini ramah lingkungan, ekonomis, dan berpotensi diimplementasikan pada skala komunitas. Meskipun penurunan TDS belum signifikan, sistem telah memenuhi sebagian besar kriteria air sanitasi berdasarkan Permenkes No. 32 Tahun 2017.

Kata kunci: Air Lindi, Air Sanitasi, Sensor, Sistem Filtrasi

Article History:

Received: June 2025
Reviewed: June 2025
Published: June 2025

Plagiarism Checker No 234
Prefix DOI:
10.8734/Kohehi.v1i2.365
Copyright: Author
Publish by: Kohehi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Abstract

Leachate is a hazardous liquid waste generated from the decomposition of organic matter in landfills. It contains organic substances, heavy metals, and dissolved solids that pose serious environmental and health risks if left untreated. Meanwhile, access to clean and safe sanitation water remains a challenge in many regions. Therefore, an efficient and sustainable solution is needed to treat leachate for reuse as sanitation water. This study aims to design and test a leachate filtration system integrated with water quality sensors based on Arduino Mega. The system uses filtration media such as silica sand, activated carbon, coconut fiber, and ultrafiltration membranes, and is equipped with four types of sensors: pH sensor (SEN0161-V2), TDS sensor (SEN0244), turbidity sensor (SEN0189), and temperature sensor DS18B20. Calibration was conducted for the pH and TDS sensors using standard solutions, resulting in regression curves with high accuracy ($R^2 > 0.98$). The system was tested over a 10-minute period with data recorded each minute. Results show the system effectively increased leachate pH from 1.08 to 8.475, reduced turbidity from 5.38 NTU to 4.867 NTU, and maintained TDS levels below the safety threshold (<1000 ppm). The post-filtration temperature remained stable at 28.23°C . Sustainability analysis indicates that the system is environmentally friendly, cost-effective, and has strong potential for community-scale implementation. Although TDS reduction was not yet significant, the system meets most sanitation water standards according to Indonesian Health Regulation No. 32 of 2017.

Keywords: *Filtration System, Leachate Water, Sanitary Water, Sensors*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) 2023, jumlah penduduk Indonesia berjumlah 278,69 juta jiwa pada pertengahan tahun 2023, mengalami peningkatan sebesar 1.05% dari tahun sebelumnya. Angka ini mengakibatkan Indonesia menduduki posisi keempat sebagai negara yang memiliki jumlah penduduk terbanyak di dunia. Hal ini dibarengi dengan tingkat konsumsi di Indonesia menyebabkan tingginya angka produksi sampah yang menyebabkan Indonesia menduduki peringkat ke 5 sebagai negara paling banyak menyumbang sampah yaitu sebesar 64 juta ton pertahun. Konsekuensi lingkungan yang adalah ketika air mengalir yang melewati timbunan sampah ataupun air yang telah terkontaminasi oleh zat-zat berbahaya, sehingga air tersebut menghasilkan larutan bahan organik, bahan anorganik, dan hasil dekomposisi sampah. Larutan limbah tersebut umumnya dikenal sebagai leachate atau lindi (Dwirianti, 2010). Air lindi berkontribusi dalam pencemaran air tanah, biasanya ditandai oleh kandungan berbagai jenis pencemar, antara lain logam berat yaitu seng (Zn), cuprum (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), mangan (Mn), nikel (Ni), dan memiliki jumlah COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang sangat tinggi mencapai sekitar 10.000 ppm dan 18.000 ppm sehingga bersifat toksik (Tchobanoglous, 2003).



Permasalahan pencemaran yang disebabkan oleh air lindi dapat dicegah dengan melakukan metode filtrasi dengan memasang lapisan yang mampu menyaring air lindi dan mengurangi kadar pencemar yang terkandung dalam air lindi (Diah, 2005). Studi yang dilakukan oleh Teng (2021) menunjukkan bahwa air lindi yang telah melalui proses filtrasi dan deteksi kualitas yang tepat dapat memenuhi standar kesehatan yang ditetapkan untuk air sanitasi. Hal ini menegaskan potensi air lindi sebagai sumber air sanitasi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk konsumsi manusia dan keperluan industri. Dalam memperbaiki kualitas air lindi ditinjau parameter *Total Dissolve Solid* (TDS), pH, dan kekeruhan (*turbidity*). Berdasarkan data Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, standar jumlah maksimum dari *Total Dissolve Solids* (TDS) yaitu 1000 mg/l, pH yaitu 6,5-8,5 dalam mg/l, kekeruhan (*turbidity*) yaitu 25 NTU, dan untuk temperatur yakni $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu udara sekitar.

Penelitian sebelumnya oleh Nasution, dkk (2022) telah membahas penggunaan filter padat seperti zeolit, arang aktif, dan serabut kelapa untuk filtrasi air. Namun, penelitian tersebut memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperbaiki. Pertama, filter padat tersebut memiliki umur pakai yang terbatas dan memerlukan penggantian secara berkala. Kedua, filter padat tersebut tidak efektif dalam menghilangkan partikel-partikel kecil seperti bakteri dan virus. Ketiga, penggunaan filter padat tersebut tidak dapat mendeteksi kualitas air *real-time*.

Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem filtrasi air lindi terintegrasi pendeteksi kualitas pH, *total dissolved solids* (TDS), turbiditas, dan temperatur air lindi. Sistem ini dilengkapi dengan sensor pH, TDS, dan turbiditas yang dapat mendeteksi kualitas air secara *real-time*. Dengan adanya sistem filtrasi air lindi terintegrasi pendeteksi kualitas pH, TDS, turbiditas, dan temperatur air lindi ini, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengolahan air limbah. Selain itu, sistem ini juga dapat membantu dalam pengambilan keputusan terkait pengolahan air limbah dengan data yang akurat dan *real-time*.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam riset ini adalah untuk merancang bangun sistem filtrasi air lindi terintegrasi pendeteksi kualitas pH, *total dissolved solids* (TDS), turbiditas, dan temperatur air lindi *real-time* berbasis IoT dan menentukan kemampuan sistem untuk mendapatkan air sanitasi dengan parameter sesuai peraturan yang berlaku.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Kualitas Air Sanitasi

Air sanitasi adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya berbeda dengan kualitas air minum (Permenkes, 2017). Beberapa parameter kualitas air sanitasi dan standar bakunya diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter Kualitas Air Sanitasi (Permenkes, 2017)

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Kekeruhan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	Zat padat terlarut (<i>Total Dissolved Solid</i>)	mg/l	1000
4.	Suhu	°C	suhu udara $\pm$ 3
5.	Rasa		tidak berasa
6.	Bau		tidak berbau

Suatu air dapat dikategorikan menjadi air sanitasi apabila memenuhi semua baku mutu parameter air sanitasi tersebut (Permenkes, 2017).

2.2 Sensor pH (SEN0161-V2)

Sensor pH (SEN0161-V2) adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Sensor ini akan mendeteksi derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan mengukur perubahan tegangan pada probe pH (Charisma, 2019). Pengukuran pH ini sangat penting karena pH adalah salah satu parameter yang menentukan kualitas air. Prinsip kerja sensor pH (SEN0161-V2) adalah dengan mengukur perubahan tegangan pada probe pH.



Gambar 1. Sensor pH (SEN0161-V2)

Ketika probe pH terkena larutan, maka akan terjadi perubahan tegangan pada *probe* pH. Perubahan tegangan ini akan diubah menjadi nilai pH oleh sensor pH (SEN0161-V2). Sensor pH (SEN0161-V2) memiliki kemampuan pengukuran pH yang tinggi dan ketelitian, serta memiliki kemampuan pengukuran yang real-time. Selain itu, sensor pH (SEN0161-V2) juga memiliki kemampuan pengukuran yang stabil dan tahan lama, sehingga dapat digunakan dalam lingkungan yang berbeda (Saputra, 2022).

2.3 Sensor *Total Dissolved Solids* (SEN-0244)

Sensor *Total Dissolved Solids* (SEN-0244) adalah salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur konsentrasi total zat terlarut dalam air. Sensor ini bekerja dengan cara mengukur konduktivitas listrik dari air yang mengalir melalui sensor tersebut. Semakin tinggi konsentrasi zat terlarut dalam air, semakin tinggi pula konduktivitas listrik yang dihasilkan oleh sensor (Saputra, 2024).

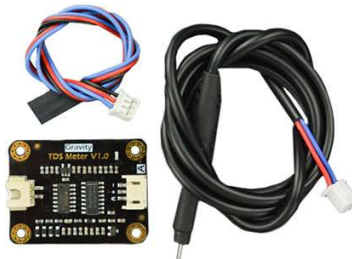


Gambar 2. Sensor TDS (SEN-0244)

Spesifikasi dari Sensor Total Dissolved Solids (SEN-0244) adalah rentang pengukuran konsentrasi total zat terlarut dalam air adalah 0-2000 ppm, akurasi pengukuran adalah $\pm 10\%$, dan waktu respon sensor adalah kurang dari 1 detik. Sensor ini juga dilengkapi dengan kabel sepanjang 1 meter dan konektor BNC untuk memudahkan penggunaannya. Dalam penggunaannya, sensor ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler atau sistem berbasis IoT lainnya melalui modul konversi *analog-to-digital* (ADC).

2.4 Sensor Turbiditas (SEN-0189)

Sensor Turbiditas (SEN-0189) adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan atau turbiditas dalam air. Kekeruhan air disebabkan oleh partikel-partikel padat yang tersuspensi di dalamnya, dan dapat menjadi indikator penting untuk kualitas air (Iskandar, 2019).



Gambar 3. Sensor Turbiditas (SEN-0189)

Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan tekanan daya listrik 5 volt DC dan menghasilkan *output* dalam rentang 0 hingga 4.5 volt DC. Perubahan jumlah intensitas cahaya yang di terima oleh *receiver* akan mempengaruhi perubahan nilai kekeruhan zat cair yang terukur dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Sensor ini memiliki rentang ukur yang lebar dengan rentang 0 hingga 3000 NTU (Iskandar, 2019).

2.5 Sensor Temperatur (DS18B20)

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang diproduksi oleh Maxim Integrated (sebelumnya Dallas Semiconductor). Sensor ini menyediakan resolusi pengukuran antara 9 bit hingga 12 bit dan mampu mengukur suhu dalam rentang -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ (Analog Devices, 2019). Komunikasi data DS18B20 menggunakan protokol satu kabel (*1-Wire*), sehingga hanya memerlukan satu jalur data ditambah ground untuk terhubung ke mikroprosesor (Analog Devices, 2019). Setiap sensor DS18B20 memiliki kode seri unik 64-bit bawaan, sehingga memungkinkan banyak sensor diletakkan dalam satu saluran yang sama.



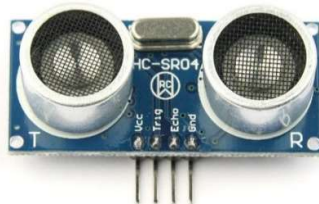
Gambar 4. Sensor Temperatur (DS18B20)

Dalam mekanisme kerjanya, DS18B20 menggunakan termistor silisium dan konverter analog-ke-digital (ADC) internal untuk mengubah perubahan suhu menjadi sinyal digital. Sensor ini juga mendukung mode *parasitic power*, artinya dapat menyedot daya dari jalur data tanpa memerlukan catu daya terpisah (Analog Devices, 2019). Proses pengukuran dimulai dari perintah baca yang dikirim oleh mikrokontroler ke sensor, lalu sensor mengembalikan data suhu dalam bentuk nilai digital sesuai dengan resolusi yang dipilih. Karena sinyalnya sudah dalam bentuk digital, tidak terjadi degradasi sinyal meski kabel yang digunakan cukup panjang (Analog Devices, 2019).

Secara aplikasi, DS18B20 banyak digunakan dalam sistem kendali termostatik, pengontrol HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning), dan sistem monitoring suhu di berbagai peralatan industri maupun konsumen (Analog Devices, 2019). Sensor ini mudah dipasang dan diprogram, serta kompatibel dengan banyak platform seperti Arduino, Raspberry Pi, dan sistem IoT. Versi dengan kemasan tahan air (probe waterproof) memungkinkan pemasangan di lingkungan basah atau di dalam cairan. Oleh karena itu, DS18B20 sangat berguna dalam sistem filtrasi air terintegrasi untuk memantau suhu cairan, karena suhu air mempengaruhi kinerja filtrasi dan kualitas keluaran air (Analog Devices, 2019).

2.6 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

HC-SR04 adalah modul sensor ultrasonik murah yang banyak digunakan untuk pengukuran jarak non-kontak. Modul ini sudah mencakup pemancar ultrasonik, penerima ultrasonik, dan rangkaian kontrol dalam satu board kompak. Menurut lembar spesifikasi, HC-SR04 mampu mengukur jarak objek dari 2 cm sampai 400 cm dengan akurasi hingga sekitar 3 mm (SparkFun, 2016). Rentang pengukuran yang luas dan biaya rendah menjadikan HC-SR04 populer dalam proyek robotika sederhana, sistem otomasi, dan alat pengukur level cairan.



Gambar 5. Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Sensor HC-SR04 bekerja berdasarkan prinsip SONAR menyerupai mirip radar, tetapi menggunakan gelombang suara. Proses pengukuran dimulai ketika mikrokontroler mengirim pulsa *trigger* durasi minimum 10 μ s ke sensor. Sensor kemudian secara otomatis memancarkan delapan siklus gelombang ultrasonik berfrekuensi sekitar 40 kHz, lalu beralih ke mode penerima untuk menangkap gema pantulan dari objek (SparkFun, 2016). Waktu yang dibutuhkan sinyal ultrasonik untuk pergi ke objek dan kembali diukur oleh modul; dari waktu ini dihitung jarak

dengan rumus $\text{jarak} = (\text{waktu tunda} \times \text{kecepatan suara}) / 2$ (SparkFun, 2016). Karena kecepatan suara udara sekitar 340 m/s, sensor dapat menghitung jarak dengan membagi waktu pantulan menjadi dua (perjalanan pergi-pulang).

Aplikasi HC-SR04 meliputi deteksi objek dan pengukuran jarak pada robot atau kendaraan otonom, serta pemantauan level cairan. Dalam konteks sistem filtrasi, HC-SR04 dapat dimanfaatkan untuk memantau ketinggian air di dalam tangki penampung filter. Misalnya, modul ini sering digunakan dalam sistem indikasi level air otomatis (eTechPath, 2022). Keunggulan jarak operasi yang luas dan kemudahan integrasi (hanya memerlukan satu pin digital untuk *trigger* dan satu pin untuk *echo*) membuat sensor ini sesuai untuk diaplikasikan dalam otomasi pemantauan volume air pada sistem filtrasi terintegrasi (eTechPath, 2022).

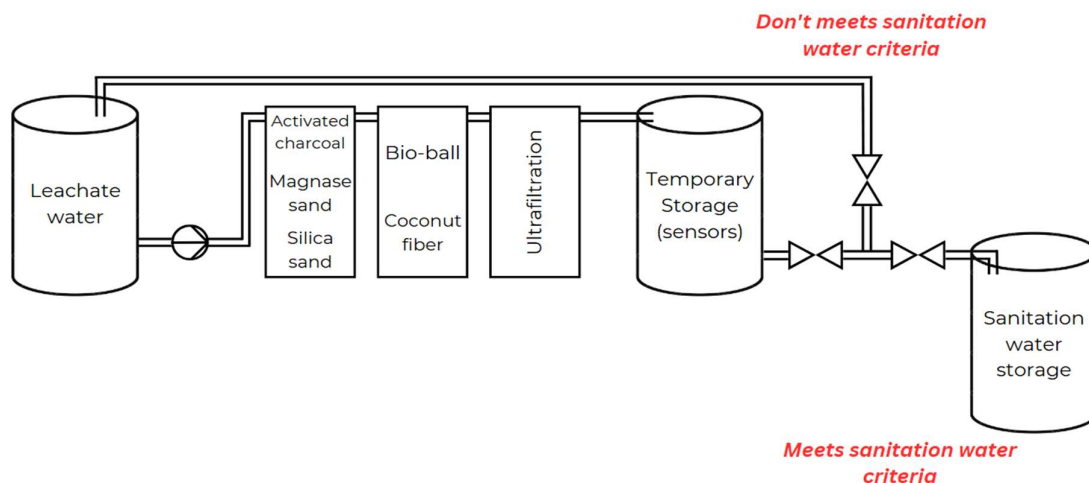
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa PVC, tabung penampung air, pompa air, *housing filter*, *cartridge filter*, sensor pH (SEN0161-V2), sensor TDS (SEN-0244), sensor turbiditas (SEN-0189), sensor temperatur (DS18B20), mikrokontroler Arduino MEGAWEMOS, LCD display, lampu LED warna hijau, kuning, dan merah, RGB LED, serta kabel jumper. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam sistem terdiri atas pasir silika, pasir mangan, karbon aktif, sabut kelapa, *bio-ball*, dan membran ultrafiltrasi yang digunakan sebagai media filtrasi, cairan kalibrasi pH, cairan kalibrasi TDS, dan sampel air lindi yang didapat dari TPS Keputih, Surabaya.

3.2 Perancangan Sistem Filtrasi Air

Penelitian ini terdiri dari tiga tabung filter utama dan satu penyimpanan sementara yang dilengkapi sensor kualitas air. Aliran dimulai dari air lindi (*leachate*) menuju serangkaian tabung penyaring seperti diagram pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram Sistem Filtrasi Air Lindi

Proses diawali dari penyimpanan air lindi yang kemudian dialirkan melalui tiga tabung filter secara berurutan. Filter pertama terdiri dari susunan pasir silika, pasir mangan, dan karbon aktif dengan komposisi masing-masing 50%, 25%, dan 25%. Pasir silika berfungsi menyaring partikel besar dan mengurangi kekeruhan air dengan efektivitas hingga 94,99% (Virginia dkk., 2018). Pasir mangan digunakan untuk menurunkan kadar logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan efisiensi masing-masing sebesar 98,11% dan 95,2% (Halim dkk., 2022). Selanjutnya, karbon aktif berperan dalam menghilangkan bau, warna, serta senyawa organik beracun, dengan efektivitas hingga 93,14% (Asadiya & Karnaningroem, 2018).



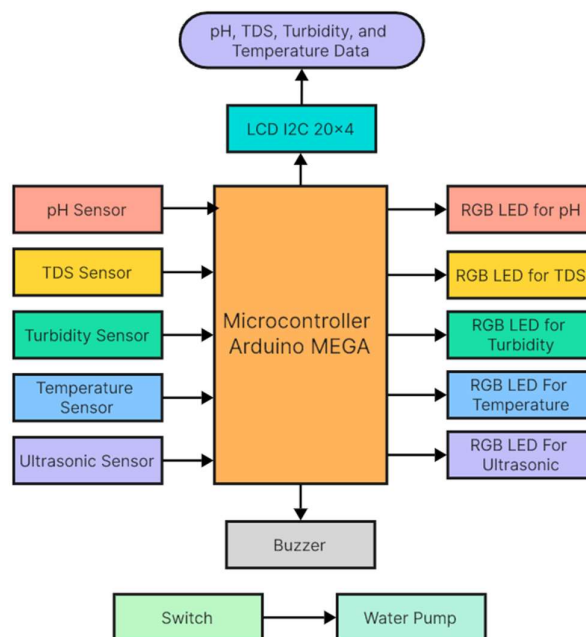
Air yang telah melewati filter pertama kemudian dialirkan ke filter kedua yang berisi sabut kelapa (60%) dan bio-ball (40%). Sabut kelapa mampu menurunkan kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta menyerap logam berat yang terkandung dalam air limbah (Nisah dkk., 2023). Bio-ball dalam sistem ini berfungsi sebagai media tumbuh bagi bakteri nitrifikasi yang mengurai amonia, dengan tingkat efektivitas mencapai 93,3% (Ramadhini, 2022).

Selanjutnya, air akan mengalir menuju filter tabung ketiga yang menggunakan teknologi membran ultrafiltrasi. Membran ini memiliki ukuran pori antara 0,01 hingga 0,1 mikron, sehingga mampu menyaring bakteri patogen seperti *E. coli* dan *Salmonella*, serta partikel tersuspensi lainnya. Teknologi ini juga efektif dalam mengurangi TSS dan kekeruhan sehingga meningkatkan kejernihan air hasil filtrasi.

Setelah melalui seluruh tahapan filtrasi, air ditampung dalam tabung penyimpanan sementara yang dilengkapi sensor untuk mendeteksi kualitas air. Jika air belum memenuhi kriteria sanitasi, air akan dialirkan kembali ke tahap awal untuk dilakukan proses filtrasi ulang. Namun, apabila air telah memenuhi standar kualitas sanitasi, maka air akan diteruskan ke tangki penyimpanan akhir dan siap untuk dimanfaatkan.

3.3 Perancangan *Hardware* Sistem Sensor

Perancangan *hardware* dalam sistem sensor pada implementasi rancang bangun sistem monitoring kondisi dan kualitas air lindi, menggunakan sensor pH, turbiditas, temperatur, dan TDS (*Total Dissolve Solid*) terilustrasikan pada **Gambar 7**.



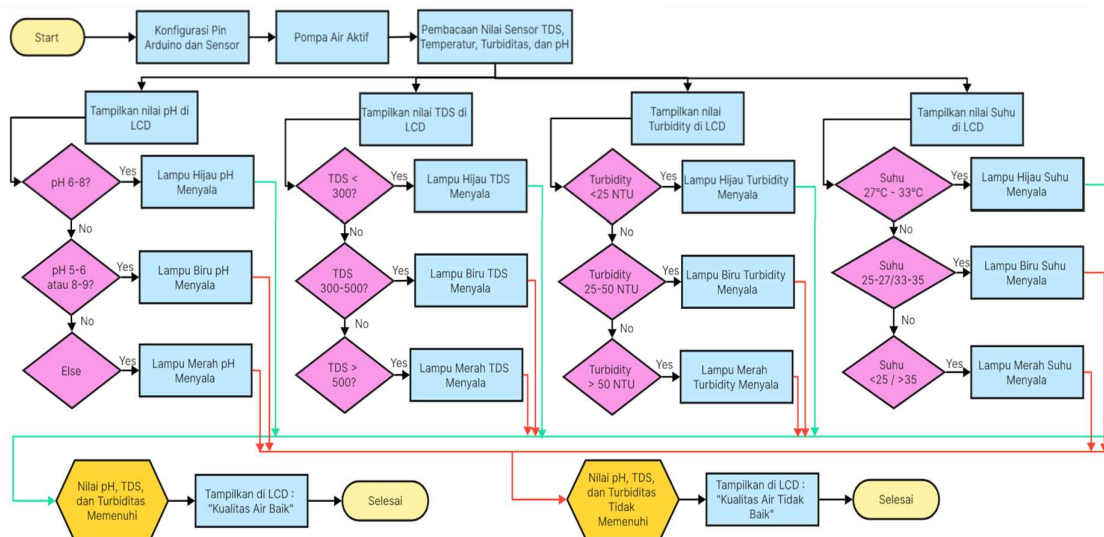
Gambar 7. Diagram Alir *Hardware* Sistem

Berdasarkan gambar diagram blok sistem, ketiga sensor akan mendeteksi kualitas air lindi yang telah difiltrasi. Sensor pH meter (SEN 0161-V2) akan mendeteksi kualitas pH air, sensor turbiditas (SEN-0189) akan mendeteksi kekeruhan air, sensor TDS (SEN-0244) akan mendeteksi total partikel yang terlarut pada air, sensor temperatur (DS18B20) akan mendeteksi temperatur air, dan sensor ultrasonik (HC-SR04) mendeteksi ketinggian air. Sensor-sensor tersebut akan menerima data kondisi air, data tersebut akan diproses oleh mikrokontroler, setelah data diolah maka akan diberikan hasilnya pada LCD display yang digunakan. Selain itu digunakan lampu LED, LCD *display*, dan *buzzer* dalam penyajian data kualitas air. Lalu terdapat

pompa yang akan mengalirkan air dari bak air lindi menuju ke media filtrasi hingga ke bak penampungan sementara untuk mengecek parameter pH, turbiditas, temperatur, dan TDS.

3.4 Perancangan *Software* Sistem Sensor

Perancangan *software* pada implementasi rancang bangun sistem filtrasi air lindi yang terintegrasi dengan sensor pendeteksi kualitas pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), turbiditas, dan suhu yang ditunjukkan pada **Gambar 8**. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam sistem ini adalah bahasa pemrograman Arduino. Proses sistem dimulai dengan mengkonfigurasi pin *input* serta *output* pada Arduino Mega 2560, serta pengaturan komunikasi serial agar data dari berbagai sensor dapat dipantau melalui *Serial Monitor* pada aplikasi pemrograman Arduino IDE 2.3.4 dan digunakan *microcontroller* Arduino MEGAWEMOS karena memiliki jumlah pin I/O yang lebih banyak sehingga dapat mengakomodasi lebih banyak sensor dalam satu sistem. Setelah tahapan tersebut, Arduino Mega akan membaca data dari sensor-sensor yang terpasang, yaitu sensor pH (SEN0161-V2), TDS (SEN-0244), turbiditas (SEN-0189), dan suhu (DS18B20). Setelah proses pembacaan selesai, data dari kelima sensor akan diproses dan hasilnya ditampilkan melalui layar LCD.



Gambar 8. Diagram Alir *Software* Sistem

Proses pengolahan data dimulai dari inisialisasi sistem, yaitu konfigurasi pada masing-masing pin Arduino dan sensor-sensor yang digunakan, dilanjutkan dengan pengaktifan pompa air untuk mengalirkan air lindi ke sistem. Setelah itu, Arduino membaca nilai dari keempat parameter kualitas air tersebut, yaitu pH, TDS, turbiditas, dan suhu. Setiap hasil pembacaan ditampilkan pada layar LCD secara berurutan dan dibandingkan dengan standar baku mutu yang telah ditentukan.

Untuk parameter pH, sistem akan menyalakan lampu hijau jika nilai pH berada dalam rentang 6 hingga 8, menunjukkan air dalam kondisi netral. Jika pH berada dalam kisaran 5-6 atau 8-9, maka lampu biru akan menyala, menandakan nilai pH mendekati batas aman. Sementara itu, jika nilai pH kurang dari 5 atau lebih dari 9, lampu merah akan menyala sebagai indikator kondisi bahaya dan air tidak layak digunakan. Pada sensor *Total Dissolved Solid* (TDS), jika nilai kurang dari 300 ppm, lampu hijau menyala. Jika berada pada kisaran 300-500 ppm, lampu biru menyala, dan jika lebih dari 500 ppm, lampu merah menyala, yang menunjukkan jika kandungan padatan terlarut pada air sedang berada dalam konsentrasi yang tinggi. Untuk sensor turbiditas, lampu hijau akan menyala jika nilai kekeruhan di bawah 25 NTU, lampu biru jika nilai antara 25-50 NTU, dan lampu merah jika melebihi 50 NTU. Sensor suhu akan memicu



lampu hijau menyala jika suhu air berada di kisaran 27-33 °C, lampu biru untuk suhu 25-27 °C atau 33-35 °C, dan lampu merah untuk suhu di bawah 25 °C atau di atas 35 °C.

Sistem tersebut memberikan indikator visual berupa lampu LED berwarna hijau, biru, dan merah berdasarkan nilai parameter yang dibandingkan dengan baku mutu. Jika nilai parameter berada dalam batas aman, maka lampu hijau menyala. Jika nilai berada mendekati ambang batas, maka lampu biru menyala, dan jika sudah melebihi batas berbahaya, maka lampu merah akan menyala sebagai peringatan. Selain indikator warna, sistem juga menampilkan nilai numerik dari masing-masing pembacaan sensor pH, TDS, turbiditas, dan suhu pada layar LCD secara bersamaan. Hal ini memudahkan pengguna untuk memantau nilai aktual dari setiap parameter secara *real-time*. Sistem akan terus melakukan siklus ini hingga semua parameter kualitas air memenuhi baku mutu yang ditentukan, dan hasil akhir ditampilkan notifikasi pada LCD, yaitu “Kualitas Air Baik” jika semua parameter berada dalam rentang aman, atau “Kualitas Air Tidak Baik” jika terdapat satu atau lebih parameter yang berada di luar batas dari baku mutu air sanitasi. Berikut adalah *coding* yang digunakan dalam penelitian ini.

```
#include <DS18B20.h>
#include <HCSR04.h>
#include "DFRobot_PH.h"
#include <EEPROM.h>
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27,20,4);
```

```
#define ledHijauPH 2 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledKuningpH 3 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledMerahpH 4 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledHijauTDS 5 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledKuningTDS 6 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledMerahTDS 7 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledHijauTurbiditas 8 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledKuningTurbiditas 9 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledMerahTurbiditas 10 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledHijaudistances 11 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledKuningdistances 13 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledMerahdistances 14
#define ledHijautemperature 15 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledKuningtemperature 16 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
#define ledMerahtemperature 17
#define buzzer 1 // Ubah sesuai pin yang dimasukkan
float tdsA = 0;

float turbValue = 0;

#define TdsSensorPin A1
GravityTDS gravityTds;
float tdsValue = 0;
```



```
#define PH_PIN A2
float voltage,pHValue,temperature = 25;
DFRobot_PH ph;

byte triggerPin = 21;
byte echoPin = 12;

DS18B20 ds(18);

#include "DTH_Turbidity.h"
#define TURBIDITY_SENSOR_PIN A0
DTH_Turbidity turbSensor(TURBIDITY_SENSOR_PIN);
float ntu_val = 0;
float volt = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  ph.begin();
  Serial.begin(115200);
  Serial.begin(115200);
  HCSR04.begin(triggerPin, echoPin);
  Serial.begin(115200);
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0); //reference voltage on ADC, default 5.0V on Arduino UNO
  gravityTds.setAdcRange(1024); //1024 for 10bit ADC;4096 for 12bit ADC
  gravityTds.begin(); //initialization
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Test Turbidity sensor");

  pinMode(ledHijaupH, OUTPUT);
  pinMode(ledKuningpH, OUTPUT);
  pinMode(ledMerahpH, OUTPUT);
  pinMode(ledHijauTDS, OUTPUT);
  pinMode(ledKuningTDS, OUTPUT);
  pinMode(ledMerahTDS, OUTPUT);
  pinMode(ledHijauTurbiditas, OUTPUT);
  pinMode(ledKuningTurbiditas, OUTPUT);
  pinMode(ledMerahTurbiditas, OUTPUT);
  pinMode(ledHijaudistances, OUTPUT);
  pinMode(ledKuningdistances, OUTPUT);
  pinMode(ledMerahdistances, OUTPUT);
  pinMode(ledHijautemperature, OUTPUT);
  pinMode(ledKuningtemperature, OUTPUT);
  pinMode(ledMerahtemperature, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
}
```



```
void loop()
{
    static unsigned long timepoint = millis();
    if(millis()-timepoint>1000U){ //time interval: 1s
        timepoint = millis();
        voltage = analogRead(PH_PIN)/1024.0*5000;
        pHValue = -0.0052*voltage + 25.3;
        Serial.print("pH:");
        Serial.println(pHValue,2);
        Serial.print("voltage pH : ");
        Serial.println(voltage,2);
    }

    temperature = ds.getTempC();
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" C");
    delay(2000);

    double* distances = HCSR04.measureDistanceCm();

    Serial.print(distances[0]);
    Serial.println(" cm");

    //temperature = readTemperature(); //add your temperature sensor and read it
    gravityTds.setTemperature(temperature); // set the temperature and execute
    temperature compensation
    gravityTds.update(); //sample and calculate
    tdsA = gravityTds.getTdsValue(); // then get the value
    tdsValue = 0.8657*tdsA + 516.28;
    Serial.print(tdsValue,0);
    Serial.println("ppm");
    delay(1000);
    turbValue = turbSensor.readTurbidity();
    Serial.print("NTU: ");
    Serial.println(turbValue);
    volt = turbSensor.getVoltage();
    Serial.print("Turbidity voltage: ");
    Serial.println(volt);
    delay(2000);
    if (pHValue <=5 || pHValue >=9){
        digitalWrite(ledMerahpH, HIGH);
        digitalWrite(ledKuningpH, LOW);
        digitalWrite(ledHijaupH, LOW);
        digitalWrite(buzzer, HIGH);
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("pH=");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print(pHValue);
        delay(1000);
    }
}
```



```
else if (pHValue <=6 || pHValue >=8){
    digitalWrite(ledMerahpH, LOW);
    digitalWrite(ledKuningpH, HIGH);
    digitalWrite(ledHijaupH, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("pH=");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(pHValue);
    delay(1000);
}
else if (pHValue >6 && pHValue <8){
    digitalWrite(ledMerahpH, LOW);
    digitalWrite(ledKuningpH, LOW);
    digitalWrite(ledHijaupH, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("pH=");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(pHValue);
    delay(1000);
}
if (tdsValue>1200){
    digitalWrite(ledMerahTDS, HIGH);
    digitalWrite(ledKuningTDS, LOW);
    digitalWrite(ledHijauTDS, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("TDS=");
    lcd.setCursor(5,2);
    lcd.print(tdsValue);
    delay(1000);
}
else if (tdsValue>1000 && tdsValue<=1200){
    digitalWrite(ledMerahTDS, LOW);
    digitalWrite(ledKuningTDS, HIGH);
    digitalWrite(ledHijauTDS, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("TDS=");
    lcd.setCursor(5,2);
    lcd.print(tdsValue);
}
else if (tdsValue<=1000){
    digitalWrite(ledMerahTDS, LOW);
    digitalWrite(ledKuningTDS, LOW);
    digitalWrite(ledHijauTDS, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("TDS=");
}
```



```
    lcd.setCursor(5,2);
    lcd.print(tdsValue);
    delay(1000);
}
if (turbValue>100){
    digitalWrite(ledMerahTurbiditas, HIGH);
    digitalWrite(ledKuningTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(ledHijauTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Turb=");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(turbValue);
    delay(1000);
}
else if (turbValue>50 && turbValue<=100){
    digitalWrite(ledMerahTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(ledKuningTurbiditas, HIGH);
    digitalWrite(ledHijauTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Turb=");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(turbValue);
    delay(1000);
}
else if (turbValue<=50){
    digitalWrite(ledMerahTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(ledKuningTurbiditas, LOW);
    digitalWrite(ledHijauTurbiditas, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Turb=");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(turbValue);
    delay(1000);
}
if (distances>15){
    digitalWrite(ledMerahdistances, HIGH);
    digitalWrite(ledKuningdistances, LOW);
    digitalWrite(ledHijaudistances, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("distances=");
    lcd.setCursor(10,3);
    lcd.print(distances[0]);
    delay(1000);
}
```



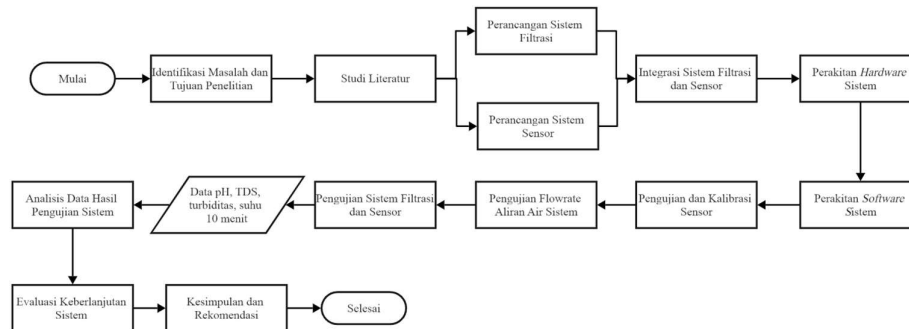
```
else if (distances>5 && distances<=15){
    digitalWrite(ledMerahdistances, LOW);
    digitalWrite(ledKuningdistances, HIGH);
    digitalWrite(ledHijaudistances, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("distances=");
    lcd.setCursor(10,3);
    lcd.print(distances[0]);
    delay(1000);
}
else if (distances<=5){
    digitalWrite(ledMerahdistances, LOW);
    digitalWrite(ledKuningdistances, LOW);
    digitalWrite(ledHijaudistances, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("distances=");
    lcd.setCursor(10,3);
    lcd.print(distances[0]);
    delay(1000);
}
if (temperature>35){
    digitalWrite(ledMerahtemperature, HIGH);
    digitalWrite(ledKuningtemperature, LOW);
    digitalWrite(ledHijautemperature, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("Temp=");
    lcd.setCursor(15,1);
    lcd.print(temperature);
    delay(1000);
}
else if (temperature>25 && temperature<=35){
    digitalWrite(ledMerahtemperature, LOW);
    digitalWrite(ledKuningtemperature, HIGH);
    digitalWrite(ledHijautemperature, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("Temp=");
    lcd.setCursor(15,1);
    lcd.print(temperature);
    delay(1000);
}
else if (temperature<=25){
    digitalWrite(ledMerahtemperature, LOW);
    digitalWrite(ledKuningtemperature, LOW);
    digitalWrite(ledHijautemperature, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    lcd.setCursor(10,1);
```



```
lcd.print("Temp=");  
lcd.setCursor(15,1);  
lcd.print(temperature);  
delay(1000);  
} // SELESAI  
}
```

3.5 Prosedur Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah pencemaran air lindi dan studi literatur. Dilanjutkan dengan perancangan sistem filtrasi dan sensor (pH SEN0161-V2, TDS SEN0244, turbiditas SEN0189, temperatur DS18B20) menggunakan Arduino Mega. Setelah perakitan, dilakukan kalibrasi sensor dan uji *flowrate*. Selanjutnya, pengujian sistem dilakukan selama 10 menit dengan pencatatan data tiap menit. Data dianalisis berdasarkan baku mutu air sanitasi dan efektivitas filtrasi, lalu ditutup dengan evaluasi aspek keberlanjutan dan rekomendasi pengembangan.

3.5.1 Prosedur Kalibrasi Sensor pH dan TDS

Prosedur kalibrasi sensor pH dan TDS dilakukan untuk memastikan bahwa sensor memberikan hasil pengukuran yang akurat sesuai dengan nilai standar. Untuk kalibrasi sensor pH, digunakan tiga larutan *buffer* standar dengan nilai pH 4.01, 6.86, dan 9.18. Sensor pH dicelupkan ke masing-masing larutan secara berurutan, dan nilai voltase yang dihasilkan pada software arduino dicatat untuk masing-masing larutan *buffer* standar. Data ini kemudian digunakan untuk membuat kurva kalibrasi atau persamaan regresi yang menghubungkan voltase dengan nilai pH aktual. Sementara itu, untuk kalibrasi sensor TDS, digunakan dua larutan standar dengan nilai TDS 1000 ppm dan 1382 ppm. Sensor TDS dicelupkan ke masing-masing larutan, sama seperti pada sensor pH, hasil ini digunakan untuk menyusun kurva kalibrasi agar sensor TDS dapat mengonversi voltase menjadi nilai TDS yang akurat. Setelah proses kalibrasi selesai, sensor siap digunakan untuk pengukuran dengan hasil yang lebih presisi.

3.5.2 Prosedur Pengujian Sistem Filtrasi dan Sensor

Pada penelitian ini, air lindi akan terfiltrasi melalui rangkain filtrasi, yaitu pada filter pertama terdapat susunan pasir silika, pasir mangan, dan karbon aktif lalu ke filter kedua yang berisi sabut kelapa dan *bio-ball*, kemudian menuju filter terakhir, yaitu membran ultrafiltrasi. Hasil air jernih dari proses filtrasi tersebut akan diuji melalui 5 sensor, yaitu pH, turbiditas (dalam satuan NTU), temperatur, dan *Total Dissolved Solids* (TDS dalam ppm). Uji selanjutnya adalah uji *flowrate* dengan cara menghitung jumlah volume keluaran air bersih dalam waktu 1 menit yang menghasilkan besaran *flowrate* dalam satuan L/min. Kemudian dilakukan pengujian sensor dengan variabel waktu 1;2;3;4;5;6;7;8;9 hingga 10 menit untuk perbandingan hasil.

3.6 Prosedur Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan data primer yang diperoleh langsung dari sistem monitoring sensor setelah proses filtrasi air lindi berlangsung. Parameter kualitas air yang diamati meliputi pH, turbiditas (dalam satuan NTU), temperatur, dan *Total Dissolved Solids* (TDS dalam ppm), yang ditampilkan secara langsung melalui LCD pada sistem sensor setelah masing-masing proses filtrasi. Setiap pengujian dilakukan selama periode waktu tertentu, di mana nilai pH, turbiditas, temperatur, dan TDS dicatat secara berkala pada menit ke-0, ke-1, ke-2, hingga ke-10 setelah air lindi dialirkan ke dalam sistem.

Selanjutnya, hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan standar baku mutu air untuk keperluan sanitasi berdasarkan peraturan yang relevan (misalnya, Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017). Adapun standar baku mutu yang digunakan sebagai acuan yaitu pH antara 6,0-9,0; turbiditas ≤ 50 NTU; dan TDS ≤ 1000 ppm. Data dari tiap siklus filtrasi kemudian dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam menurunkan nilai parameter pencemar, serta menilai konsistensi pembacaan sensor terhadap variasi input air lindi.

Analisis juga dilakukan terhadap respon sistem indikator LED terhadap parameter yang terukur. Jika nilai parameter masuk kategori "baik", maka LED hijau akan menyala; jika berada dalam ambang batas peringatan, maka LED kuning akan aktif; dan jika nilai parameter melebihi batas toleransi, maka LED merah serta *buzzer* akan menyala sebagai alarm. Sistem juga dirancang untuk mengaktifkan pompa sirkulasi ulang secara otomatis apabila salah satu parameter tidak memenuhi standar, sehingga memungkinkan proses filtrasi berulang hingga parameter kualitas terpenuhi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Hasil Perancangan Sistem

Setelah melalui proses perancangan sistem secara bertahap yang diawal dari studi literatur, pemilihan metode filtrasi, dan pemilihan sensor yang akan digunakan berhasil direalisasikan dalam bentuk prototipe yang fungsional dan responsif terhadap perubahan parameter kualitas air secara *realtime*.

4.1.1 Unit Filtrasi

Untuk menghasilkan air yang layak pakai dari air lindi dirancang sistem filtrasi sebagai berikut.



Gambar 10. Sistem filtrasi

Pada tabung pertama terdiri dari susunan pasir silika, yang digunakan untuk menyaring partikel besar dan mengurangi kekeruhan air, pasir mangan yang digunakan untuk menurunkan kadar logam berat seperti (Fe) dan mangan (Mn), dan karbon aktif yang digunakan untuk menghilangkan bau, warna serta senyawa organik beracun.

Pada tabung ke dua berisi sabut kelapa yang berfungsi untuk menurunkan kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta menyerap logam berat yang terkandung dalam air limbah, dan bio-ball yang berfungsi sebagai media tumbuh bakteri nitrifikasi yang mengurangi amonia. Lalu, pada tabung ketiga menggunakan teknologi ultrafiltrasi. Sebuah membran yang memiliki ukuran pori antara 0,01 hingga 0,1 mikron sehingga mampu menyaring bakteri seperti E.Coli dan Salmonella serta partikel tersuspensi lainnya.

4.1.2 Integrasi sensor

Untuk mendukung pemantauan kualitas air sistem ini dilengkapi dengan integrasi lima jenis sensor utama yaitu sensor pH, TDS, turbiditas, temperature, dan ultrasonik. Berikut adalah dokumentasi dari *prototipe* sensor yang dibuat.



Gambar 11. Integrasi Sensor

Sensor pH berfungsi untuk mengukur pH dari air yang telah difiltrasi, sensor TDS berfungsi untuk menghitung konsentrasi zat terlarut pada air, sensor turbiditas berfungsi untuk mengukur kekeruhan air, sensor temperatur berfungsi untuk mengukur suhu air tersebut dan sensor ultrasonik digunakan untuk mengetahui ketinggian air.

4.1.3 Prototipe Alat

Setelah melalui banyak pertimbangan akhirnya disusunlah sistem filtrasi yang terintegrasi dengan sensor sebagai berikut.



Gambar 12. Sistem Filtrasi Terintegrasi Dengan Sensor



Mula-mula air lindi dipompa menuju sistem filtrasi untuk merubahnya menjadi air yang layak pakai. Kemudian ketika air telah selesai difiltrasi, air tersebut diteliti menggunakan sensor untuk mengetahui kualitas air tersebut. Apabila air hasil filtrasi telah memenuhi kriteria air sanitasi, maka air tersebut dialirkan menuju ke bak penampungan air bersih. Namun, apabila air hasil filtrasi belum memenuhi kriteria air sanitasi, air akan dialirkan kembali menuju bak penampungan air lindi di awal.

4.2 Pengujian dan Pembahasan Sistem

Berikut adalah hasil dari setiap pengujian yang dilakukan serta analisis datanya.

4.2.1 Pengujian *Flowrate* Air

Flowrate atau laju alir air diukur selama 1 menit dengan cara menampung air hasil filtrasi ke dalam gelas ukur. Didapat hasil air yang tertampung sebesar 350 mL selama 1 menit. Sehingga *flowrate* air adalah 350 mL/menit atau 0,35 L/menit atau 5,8333 mL/detik. *Flowrate* air hasil filtrasi (*output*) ini tergolong kecil dikarenakan *flowrate* air masuk (*input*) juga kecil yang disebabkan oleh daya pompa untuk memompa air juga kecil.

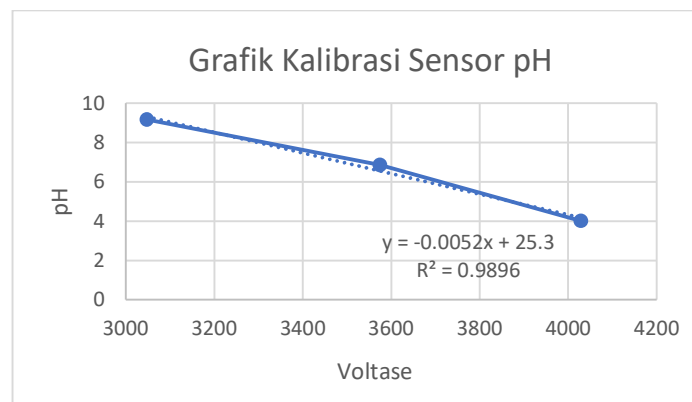
4.2.2 Pengujian Kalibrasi Sensor pH dan TDS

Berdasarkan data pada tiga larutan buffer standar, sensor menghasilkan voltase sebesar 4028.32 pada pH 4.01, 3574.22 pada pH 6.86, dan 3046.87 pada pH 9.18 seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Data Hasil Kalibrasi Sensor pH

Sumbu X (Voltase)	Sumbu Y (pH Air)
4028.32	4.01
3574.22	6.86
3046.87	9.18

Dari data tersebut diperoleh hubungan antara pembacaan voltase sensor dengan nilai pH. Pada grafik kalibrasi sensor pH, nilai $R^2 = 0.9896$, hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara voltase dan pH sangat baik dan hampir linier sempurna. Artinya, sensor pH memberikan respons yang konsisten terhadap perubahan nilai pH dalam larutan kalibrasi. Nilai kemiringan (*slope*) yang negatif menandakan bahwa semakin tinggi voltase yang terbaca, semakin rendah nilai pH larutan. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model linier yang diperoleh sangat baik dan representatif untuk menggambarkan hubungan antara voltase dan pH dalam rentang kalibrasi tersebut. Dengan demikian, persamaan ini dapat digunakan untuk mengonversi hasil pembacaan voltase dari sensor menjadi nilai pH secara otomatis dan cukup akurat untuk digunakan. Berikut grafik kalibrasi sensor pH.



Gambar 13. Grafik Kalibrasi Sensor pH

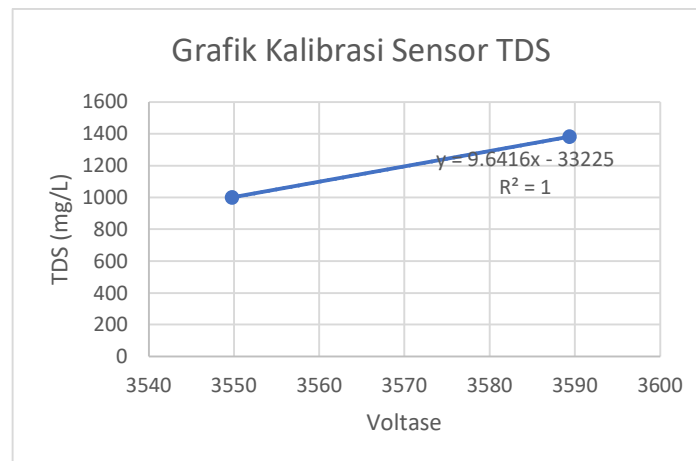


Selanjutnya untuk kalibrasi sensor TDS, diperoleh voltase sebesar 3549.75 untuk TDS 1000 dan 3589.37 untuk TDS 1382 seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Data Hasil Kalibrasi Sensor TDS

Sumbu X (Voltase)	Sumbu Y (TDS)
3549.75	1000
3589.37	1382

Dari data tersebut diperoleh hubungan antara pembacaan voltase sensor dengan nilai TDS. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar voltase yang dibaca sensor, maka semakin tinggi pula nilai TDS yang terukur. Persamaan regresi linier dari grafik tersebut adalah $TDS = 9.6416 \times \text{Voltase} - 33225$, dengan nilai $R^2 = 1$, yang berarti hubungan antara kedua variabel benar-benar linier dalam dua titik kalibrasi yang digunakan. Meskipun nilai R^2 sempurna, sebaiknya kalibrasi dilengkapi dengan lebih banyak titik data untuk memastikan keakuratan di berbagai rentang TDS. Namun, dari hasil ini sudah dapat disimpulkan bahwa sensor TDS memiliki performa yang baik dan respons linier terhadap konsentrasi zat terlarut, sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam sistem *monitoring* kualitas air. Berikut grafik kalibrasi sensor TDS.



Gambar 14. Grafik Kalibrasi Sensor TDS



4.2.3 Pengujian dan Pembahasan Sistem Filtrasi dan Sensor

4.2.3.1 Hasil Data Pengujian Sistem Filtrasi dan Sensor

Berikut adalah hasil Pengujian nilai temperatur, pH, TDS, dan turbiditas selama 10 menit yang telah dilakukan.

Tabel 4. Hasil Data Pengujian Nilai Temperatur, TDS, Turbiditas, dan pH Air

Parameter	Awal	t = 1 menit	t = 2 menit	t = 3 menit	t = 4 menit	t = 5 menit
Temperatur	27.75	28.25	28.19	28.19	28.19	28.25
pH	1.08	6.21	4.25	5.55	10.1	6.3
TDS	808	809	807	810	808	808
Turbiditas	5.38	4.86	4.86	4.86	4.86	4.87
Parameter	t = 6 menit	t = 7 menit	t = 8 menit	t = 9 menit	t = 10 menit	Rata-Rata
Temperatur	28.25	28.25	28.25	28.25	28.25	28.232
pH	8.3	11.1	10.74	11.1	11.1	8.475
TDS	808	815	815	817	814	811.1
Turbiditas	4.86	4.87	4.88	4.87	4.88	4.867

4.2.3.2 Analisis pH Air Masukan dan Keluaran

Pengukuran nilai pH air sebelum dan sesudah proses filtrasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh media filter terhadap tingkat keasaman air. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada mulanya sebelum memasuki media filter air memiliki pH sebesar 1.08 yang mengindikasikan tidak memenuhi standar baku air bersih. Sementara itu, air yang telah melewati sistem filtrasi mengalami peningkatan pH menjadi 8.675. Hal tersebut menunjukkan bahwa air sanitasi telah memenuhi standar Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Air Bersih dengan rentang pH air yang diperbolehkan adalah 6.5-8.5. Dengan demikian, nilai pH air sanitasi yang memenuhi standar baku menandakan sistem filtrasi mampu mengubah tingkat keasaman pada air limbah yang semula tidak memenuhi standar baku dari kelayakan air agar dapat digunakan menjadi air yang layak digunakan.

Perubahan pada pH pada air sebelum dan sudah memasuki sistem filtrasi dipengaruhi oleh adanya media filter. Sistem filtrasi menggunakan karbon aktif yang memiliki kemampuan dalam menyerap ion logam berat dan bahan organik terlarut yang membuat air bersifat asam. Dengan terserapnya bahan organik dan ion logam oleh karbon aktif, jumlah ion H⁺ dalam air akan berkurang dan pH pada air meningkat (Ariyani dkk., 2020). Selain itu, sabut kelapa memiliki peran sebagai bioadsorben yang mengikat ion logam berat sehingga memiliki efektivitas terhadap kenaikan pH air dan menjaga kestabilan pH air di kisaran optimal, yaitu umumnya pada rentang 5.8 hingga 6.5 dalam sistem filtrasi (Sefti dkk., 2023). Oleh karena itu, kombinasi dari kedua media filtrasi ini bukan hanya memperbaiki pH melainkan juga meningkatkan kualitas air secara keseluruhan pada sistem filtrasi melalui mekanisme adsorpsi.

4.2.3.3 Analisis TDS Air Masukan dan Keluaran

Pengujian *Total Dissolved Solids* (TDS) pada air sebelum proses filtrasi menunjukkan nilai sebesar 808 mg/L. Setelah dilakukan proses filtrasi secara berkala selama 10 menit, rata-rata TDS yang dihasilkan adalah 811,1 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem filtrasi belum mampu menurunkan kandungan TDS secara signifikan. Hal ini disebabkan media filtrasi yang digunakan lebih berperan dalam penyaringan fisik, penghilangan bau, dan penyisihan partikel besar, namun belum efektif dalam mengurangi kandungan zat terlarut seperti ion-ion



mineral yang berkontribusi pada TDS. Sehingga kondisi ini mengindikasikan bahwa perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut pada sistem filtrasi dengan menambahkan media yang mampu menurunkan TDS secara signifikan. Meskipun demikian air hasil filtrasi yang dihasilkan masih memenuhi standar baku mutu untuk pemanfaatan air sebagai sanitasi (< 1000 mg/L).

4.2.3.4 Analisis Turbiditas Air Masukan dan Keluaran

Turbiditas (*turbidity*) atau kekeruhan merupakan parameter yang menggambarkan nilai besarnya sedimen tersuspensi dalam air lindi. Secara prinsip, kekeruhan terjadi akibat penurunan kejernihan air oleh partikel tersuspensi yang mampu menyerap atau membelokkan cahaya yang masuk ke dalam air (*downwelling light*). Kondisi air dikategorikan keruh apabila keberadaan partikel tersebut terlihat jelas (Fakhrizal dkk, 2022). Turbiditas diukur sebelum dan setelah difiltrasi dengan menggunakan variabel waktu. Hasil pengujian disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Data Pengujian Parameter Turbiditas

Baku Mutu Maksimal (NTU)	Sebelum filtrasi (NTU)	Setelah filtrasi dengan variabel waktu dalam menit (NTU)					
		1	2	3	4	5	
25	5.38	4.86	4.86	4.86	4.86	4.87	
Baku Mutu Maksimal (NTU)	Sebelum filtrasi (NTU)	Setelah filtrasi dengan variabel waktu dalam menit (NTU)					Rata-Rata (NTU)
		6	7	8	9	10	4.867
25	5.38	4.86	4.87	4.88	4.87	4.88	

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui adanya penurunan nilai turbiditas pada air lindi setelah melalui proses filtrasi. Turbiditas mengalami penurunan sebanyak 0,513 NTU dengan rata-rata setelah 10 menit proses filtrasi sebesar 4,867 NTU dari semula yaitu 5,38 NTU. Nilai ini menunjukkan bahwa proses filtrasi mampu menurunkan tingkat turbiditas, sekalipun perubahan yang terjadi tidak begitu signifikan.

Efektivitas dan penurunan tersebut disebabkan oleh adanya destabilisasi pada molekul-molekul bahan organik oleh filtrat seperti pasir silika dan ultrafiltrasi membran. Pasir silika merupakan jenis pasir khusus yang sering digunakan pada filter (saringan) air karena sangat efektif dalam menjernihkan air yang keruh, serta dapat menghilangkan kandungan lumpur atau tanah dan sedimen (Nur dkk, 2020). Sementara itu, ultrafiltrasi membran berperan dalam memisahkan makromolekul dan koloid dalam suatu larutan dengan memanfaatkan ukuran pori-pori yang kecil (antara 0,01 hingga 0,1 mikron). Ukuran yang cenderung sangat kecil tersebut memungkinkan untuk dapat menyaring bakteri seperti E. coli, Salmonella, dan patogen lainnya. Selain itu, ultrafiltrasi membran juga efektif dalam menurunkan kadar total padatan tersuspensi (TSS) dan kekeruhan, sehingga membantu meningkatkan kejernihan dan kualitas air (Djana dkk, 2024).



4.2.3.5 Analisis Temperatur Air Masukan dan Keluaran

Temperatur air sebelum filtrasi tercatat sebesar 27,75 °C dan meningkat sedikit menjadi 28,23 °C setelah proses filtrasi, dengan selisih sebesar 0,48 °C yang tergolong tidak signifikan. Kenaikan ini masih berada dalam rentang standar baku mutu (27-33 °C), sehingga parameter suhu tetap memenuhi syarat. Fluktuasi suhu yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh faktor eksternal seperti panas dari pompa selama proses filtrasi atau pengaruh suhu lingkungan sekitar.

4.2.3.6 Analisis Keterpenuhan Kriteria Air Sanitasi

Untuk mengevaluasi keterpenuhan kriteria air sanitasi, berbagai parameter penting telah dianalisis sebelum dan setelah proses filtrasi. Hasil analisis perbandingan dengan standar baku mutu disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Parameter Air Sanitasi

Parameter	Sebelum Filtrasi	Setelah Filtrasi	Standar Baku Mutu	Keterpenuhan
Temperatur (°C)	27.75	28.23	27 hingga 33 °C	Memenuhi
pH	1.08	8.675	6 hingga 8.5	Memenuhi
TDS (mg/L)	808	811.1	Maks. 1000 mg/L	Memenuhi
Turbiditas (NTU)	5.38	4.867	Maks. 25 NTU	Memenuhi

Tabel di atas menunjukkan perbandingan hasil pengujian air sebelum dan sesudah proses filtrasi, dilihat dari parameter utama kualitas air sanitasi. Nilai pH awal yang sangat asam, yaitu 1,08, berhasil meningkat signifikan menjadi 8,675 setelah melalui proses filtrasi. Meskipun sedikit melebihi batas atas standar (6-8,5), angka ini masih dapat dikategorikan layak dan menunjukkan bahwa sistem cukup efektif dalam menetralkan tingkat keasaman air.

Untuk parameter TDS, nilai setelah filtrasi tercatat sebesar 811,1 mg/L, yang berarti masih berada jauh di bawah ambang batas maksimum sebesar 1000 mg/L. Kenaikan kecil dari nilai awal 808 mg/L tidak terlalu berarti dan masih dalam batas wajar. Sementara itu, turbiditas air juga mengalami penurunan dari 5,38 NTU menjadi 4,867 NTU, yang masih jauh di bawah batas maksimum 25 NTU. Ini menandakan bahwa sistem cukup efektif dalam menyaring partikel tersuspensi dan mengurangi kekeruhan air.

Dari segi suhu, temperatur air setelah difiltrasi berada di angka 28,23 °C, yang masih dalam rentang standar 27-33 °C. Perubahan suhu yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa proses filtrasi tidak memberi pengaruh berarti terhadap temperatur air.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem filtrasi ini sudah layak digunakan untuk menghasilkan air sanitasi. Keempat parameter yang diuji seperti pH, TDS, turbiditas, dan temperatur seluruhnya memenuhi standar yang ditetapkan, baik dari segi keamanan, maupun kualitas. Sistem juga terbukti mampu menstabilkan karakteristik air limbah, menjadikannya lebih aman dan layak untuk keperluan sanitasi.



4.3 Analisis Keberlanjutan dan Potensi Implementasi

4.3.1 Aspek Keberlanjutan Lingkungan

Rancangan sistem filtrasi air lindi yang terintegrasi dengan sensor kualitas air menawarkan solusi signifikan terhadap permasalahan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair dari Tempat Pembuangan Sampah (TPS). Sistem ini mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 6: Clean Water and Sanitation dengan memfasilitasi pemanfaatan ulang air limbah sebagai air sanitasi yang layak digunakan. Pemanfaatan media filtrasi alami seperti pasir silika, karbon aktif, dan sabut kelapa menunjukkan pendekatan ramah lingkungan yang meminimalkan jejak karbon. Di samping itu, penggunaan sensor berdaya rendah dan pengontrol berbasis Arduino memastikan bahwa energi yang dibutuhkan sistem tergolong kecil, memperkuat nilai keberlanjutan teknologi secara keseluruhan.

4.3.2 Aspek Keberlanjutan Sosial

Dari perspektif sosial, sistem ini berpotensi diterapkan pada komunitas skala kecil hingga menengah, khususnya di wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap air bersih akibat pencemaran. Ketersediaan air sanitasi yang lebih baik secara langsung meningkatkan kesehatan masyarakat, mengurangi potensi penyebaran penyakit akibat air tercemar, serta mendorong peningkatan kesadaran lingkungan pada masyarakat mengenai pentingnya pengelolaan air limbah. Keterbukaan desain sistem (*open-source*) dan penggunaan komponen yang relatif murah juga memungkinkan adopsi oleh komunitas akademik, pelajar, dan pelaku industri kecil, sehingga sistem ini dapat dijadikan sebagai alat edukatif maupun proyek pemberdayaan masyarakat.

4.3.3 Aspek Keberlanjutan Ekonomi

Secara ekonomi, sistem ini menawarkan alternatif yang biaya operasionalnya rendah dibandingkan dengan sistem pengolahan air industri berskala besar. Dengan estimasi komponen utama yang mudah diperoleh di pasaran dan daya listrik yang minimal, sistem ini dapat dikembangkan sebagai produk teknologi terapan untuk skala rumah tangga, sekolah, atau unit usaha kecil. Meskipun hasil filtrasi belum menunjukkan efektivitas tinggi dalam penurunan TDS, nilai keluaran sistem masih berada dalam ambang batas yang diperbolehkan menurut Permenkes No. 32 Tahun 2017, yang membuka peluang untuk komersialisasi lebih lanjut setelah dilakukan peningkatan efisiensi dan penambahan media filtrasi yang lebih selektif terhadap ion terlarut.

4.3.4 Potensi Implementasi di Lapangan

Dalam konteks implementasi riil, sistem ini sangat cocok untuk diaplikasikan di TPS lokal, wilayah rawan air bersih, atau sebagai bagian dari sistem pemulihan air limbah di kawasan industri dan urban. Kemampuan sistem untuk melakukan monitoring *real-time* memberikan keunggulan dalam kontrol kualitas air secara berkelanjutan tanpa harus menunggu hasil laboratorium. Untuk implementasi jangka panjang, integrasi sistem ini dengan *platform* IoT berbasis *cloud* akan memperluas kemampuannya dalam pengumpulan data lingkungan dan pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*) yang penting terutama dalam pengelolaan wilayah yang memerlukan pemantauan kualitas air berkelanjutan secara terdistribusi.

4.3.5 Rekomendasi Pengembangan

Sistem ini masih memiliki beberapa tantangan yang perlu diatasi, terutama terkait efektivitas dalam menurunkan kadar TDS, keterbatasan daya pompa, serta keterbatasan jenis kontaminan yang dapat disaring oleh media filtrasi yang digunakan. Untuk itu, beberapa pengembangan direkomendasikan agar sistem dapat bekerja lebih optimal. Salah satunya adalah dengan menambahkan media pertukaran ion atau resin yang lebih efektif dalam mengurangi kandungan zat terlarut seperti ion logam. Selain itu, integrasi dengan teknologi sterilisasi seperti sinar UV atau ozonisasi juga dapat meningkatkan kualitas air dengan



membunuh mikroorganisme berbahaya. Dari sisi mekanik, penggunaan pompa dengan kapasitas lebih besar akan membantu meningkatkan flowrate air sehingga proses filtrasi menjadi lebih efisien. Terakhir, pengembangan sistem konektivitas seperti integrasi ke dashboard online akan sangat berguna untuk memantau kualitas air secara real-time dan memperluas jangkauan sistem melalui pengawasan jarak jauh.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada American Institute of Chemical Engineers (AIChE) ITS Student Chapter yang telah memberikan dukungan penuh dalam penelitian ini, termasuk pendanaan sebesar Rp5.500.000. Penghargaan juga diberikan kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam penyediaan fasilitas dan pendampingan selama proses eksperimen berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh anggota tim Grand Project Divisi Innovation AIChE ITS SC periode 2024-2025 atas kerja sama, ide, dan dedikasi yang luar biasa selama pelaksanaan proyek. Tak lupa, apresiasi sebesar-besarnya kepada semua pihak lainnya yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam mendukung kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem filtrasi air lindi yang dikembangkan berhasil menjalankan fungsinya sebagai alat penyaring dan pemantau kualitas air berbasis sensor. Sistem ini mampu meningkatkan pH air limbah dari kondisi sangat asam (pH 1,08) menjadi mendekati netral (pH 8,675), menurunkan tingkat kekeruhan (turbiditas) dari 5,38 NTU menjadi 4,867 NTU, serta mempertahankan suhu dan kadar TDS dalam rentang yang sesuai dengan standar baku mutu air sanitasi menurut Permenkes No. 32 Tahun 2017. Meskipun sistem belum optimal dalam menurunkan nilai TDS secara signifikan, seluruh parameter akhir tetap berada dalam batas aman untuk penggunaan sanitasi. Sensor-sensor yang digunakan, yaitu pH (SEN0161-V2), TDS (SEN-0244), turbiditas (SEN-0189), dan temperatur (DS18B20), memberikan respons yang cukup baik dan stabil selama pengujian. Secara keseluruhan, sistem ini dinilai layak untuk digunakan sebagai alternatif pengolahan air lindi skala kecil yang hemat energi, terjangkau, dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi masyarakat. Pengembangan sistem filtrasi dan monitoring ini juga membuka peluang untuk peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitar Tempat Pembuangan Sampah (TPS).

DAFTAR PUSTAKA

- Analog Devices. (2019) *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Datasheet]*. Analog Devices.
- Badan Pusat Statistik. (2023) *Jumlah dan laju pertumbuhan penduduk Indonesia tahun 2023*. Jakarta: BPS.
- Diah, N.J.M. and Mardiyanto, M.A. (2005) 'Penelitian pengolahan air kolam penampungan lindi dengan granular filter karbon aktif pada tipe reaktor vertikal', *Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS*, Surabaya.
- Djana, M., Mayasari, R., Werena, R.D. and Anwar, H. (2024) *Desain sistem pengolahan air layak konsumsi dengan aplikasi membran ultrafiltrasi termodifikasi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Dwirianti, D. (2010) 'Pengolahan lindi TPA Benowo dengan biji *Moringa oleifera* Lam dan membran mikro-filtrasi', *Jurnal*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- eTechPath. (2022) 'Water Tank Level Automation using ESP8266 and HC-SR04 Ultrasonic Sensor', *eTechPath Blog*, 18 October. Available at: <https://etechpath.com> (Accessed: [tanggal akses kamu]).



- Fakhrizal, A.B., Romdania, Y., Wahono, E.P. and Herison, A. (2022) 'Kalibrasi alat ukur sedimen tersuspensi berbasis turbidity sensor', *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain Infrastruktur (JRSDD)*, 10(4), pp. 591-604.
- Iskandar, H.R., Hermadani, H., Saputra, D.I. and Yuliana, H. (2019) 'Eksperimental Uji Kekeruhan air berbasis internet of things menggunakan sensor DFRobot SEN0189 dan MQTT cloud server', *Prosiding Semnastek*.
- Nasution, N., Daulay, H.A. and Sitorus, A.R.P. (2022) 'Penerapan filter air berbasis zeolit dan pasir silika dengan penambahan karbon aktif biji salak untuk meningkatkan kualitas air sumur gali', *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan. E-ISSN: 2407-747X.
- Nur, R., Arthur, H.R., Putra, A.A., Irsat, M. and Ahmad, M. (2020) 'Rancang Bangun Alat Pembersih Pasir Silika Sebagai Penyaring Air Di PT. Tirta Fresindo Jaya', *SINERGI*, 18(1), pp. 52-58. doi: <http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v18i1.2237>.
- Saputra, A., Nasbey, H. and Subekti, M. (2024) 'Karakterisasi sensor TDS SEN-0244 dan sensor PH-4502C dalam implementasinya pada penanaman hidroponik', *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 12(1), pp. FA-145. doi: <https://doi.org/10.21009/03.1201.FA22>.
- Saputra, R.D. (2022) *Sistem monitoring kualitas air menggunakan node-red dan nodemcu berbasis IOT*. Doctoral dissertation. Universitas Negeri Malang.
- SparkFun Electronics. (2016) *HC-SR04 Ultrasonic Ranging Module Datasheet*. ElecFreaks Technology Co.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. and Stensel, H.D. (2003) 'Wastewater engineering: treatment and reuse', *American Water Works Association Journal*, 95(5), pp. 201.
- Teng, C., Zhou, K., Peng, C. and Chen, W. (2021) 'Characterization and treatment of landfill leachate: A review', *Water Research*, 203, p.117525. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117525>.