

SISTEM KEAMANAN PEMANTAUAN LIMBAH CAIR BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DAN TERPROTEKSI *WIREGUARD*

LIQUID WASTE MONITORING SECURITY SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS AND PROTECTED BY WIREGUARD

Bagus Gilang Pratama¹, Muhammad Fatih Qodri^{2,*}

¹Electrical Engineering Department, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia
Email: bagusgilangp@itny.ac.id

²Geological Engineering Department, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

*Email corresponding: fatihqodri@itny.ac.id

Cara sitasi: B. G. Pratama and M. F. Qodri, "Sistem keamanan pemantauan limbah cair berbasis internet of things dan terproteksi wireguard," *Kurvatek*, vol. 8, no. 1, pp. 99-108, 2023. doi: 10.33579/krvtk.v8i1.4028 [Online].

Abstrak — Air telah menjadi salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting, terutama di sungai yang berkaitan dengan pengolahan limbah industri. Parameter kualitas limbah cair yang berkaitan erat dengan kehidupan manusia adalah kadar pH, *Total Dissolve Solids* (TDS), dan suhu air. Dengan kemajuan teknologi informasi, solusi cerdas untuk pemantauan kualitas air menjadi lebih populer. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah sistem pemantauan kualitas limbah cair dari hasil industri plastik berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) dan terproteksi *Wireguard*. Sistem pemantauan dirancang menggunakan Sensor pH Meter Analog untuk mengukur pH, Sensor TDS Meter untuk mengukur tingkat kekeruhan limbah cair, dan Sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air. Perancangan sistem ini menggunakan jaringan wifi yang terhubung internet untuk mengirimkan data sensor ke pusat data. Untuk menjaga data agar tidak bisa dibaca oleh pihak yang tidak bertanggungjawab, sistem diintegrasikan dengan VPN *Wireguard* sehingga seluruh data yang dikirimkan dari sistem pemantau akan terenkripsi dengan sempurna dan hanya bisa dibuka oleh *client* yang memiliki kuncinya saja. Hasil pembacaan sensor tersebut yang telah dikirimkan ke pusat data, dapat diakses oleh pengguna terotentifikasi melalui website yang dapat diakses melalui aplikasi smartphone ataupun *browser* laptop. Berdasarkan hasil pengujian, sistem pemantauan dapat bekerja dengan baik untuk menantau limbah cair pada industri plastik. Selanjutnya, apabila terdapat hasil yang kurang baik untuk lingkungan mengenai limbah cair dari hasil pengukuran dapat segera ditangani sangat cepat dan efisien.

Kata kunci: *Internet of Things*, Limbah cair, *Wireguard*, Sistem Pemantau, Keamanan Jaringan

Abstract — Water has become one of the most important human needs, especially in rivers related to industrial waste processing. Parameters of liquid waste quality that are closely related to human life are pH levels, Total Dissolve Solids (TDS), and water temperature. With the advancement of information technology, smart solutions for water quality monitoring are becoming more popular. This research aims to build a liquid waste quality monitoring system from the plastics industry based on *Internet of Things* (IoT) technology and protected by *Wireguard* s. The monitoring system is designed using an Analog pH Meter Sensor to measure pH, a TDS Meter Sensor to measure the dissolved level of liquid waste, and a DS18B20 Sensor to measure water temperature. The design of this system uses a wifi network connected to the internet to send sensor data to the data center. To prevent data from being read by irresponsible parties, the system is integrated with *Wireguard* VPN, so that all data sent from the monitoring system will be perfectly encrypted and can only be opened by clients who have the key. The results of the sensor readings that have been sent to the data center can be accessed by authenticated users via a website that can be accessed via a smartphone application or laptop browser. Based on the test results, the monitoring system can work well to manage liquid waste in the plastics industry. Furthermore, if there are unfavorable results for the environment regarding liquid waste from the measurement results, it can be handled quickly and efficiently.

Keywords: *Internet of Things*, Liquid waste, *Wireguard*, Monitoring System, Network Security

I. INTRODUCTION

Air merupakan sumber daya alam yang paling penting yang telah diberikan kepada umat manusia. Namun saat ini sumber daya air tersebut semakin memburuk karena perkembangan industri yang sangat cepat dan berbagai aktivitas manusia lainnya. Hal tersebut membuat adalah penurunan daya dukung lingkungan khususnya air sebagai akibat rendahnya kesadaran manusia terhadap pentingnya pengelolaan sumber daya air [1]. Penurunan kualitas sumber daya air ini disebabkan oleh perubahan fungsi dan tatanan lingkungan, penurunan daya dukung dan mutu air, tidak adanya keterpaduan pengelolaan sumber daya air, serta pencemaran air yang dihasilkan oleh limbah industri. Menggunakan acuan khusus, komposisi kimia, fisik, dan biologi digunakan untuk menentukan kualitas sumber daya air. Salah satu yang berperan memberikan dampak pada kualitas air di lingkungan adalah limbah cair hasil industri, yang salah satunya adalah industri plastik.

Industri pabrik plastik adalah industri yang memproduksi berbagai jenis produk dari plastik, mulai dari bahan baku hingga produk jadi seperti kemasan, pipa, furnitur, mainan, dan sebagainya. Industri ini sangat penting karena produk plastik digunakan dalam berbagai sektor seperti otomotif, elektronik, konstruksi, dan banyak lagi. Industri pabrik plastik memiliki proses produksi yang kompleks, mulai dari pengolahan bahan baku hingga pembentukan produk jadi [2]. Proses produksi umumnya meliputi pengadukan bahan baku, pelelehan, pembentukan, penyelesaian, dan pemotongan. Setiap tahap produksi memerlukan mesin-mesin khusus yang membutuhkan perawatan dan pengawasan yang cermat untuk memastikan kualitas produk yang dihasilkan. Limbah cair dari industri plastik juga dapat menjadi masalah lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Limbah cair yang mengandung bahan kimia berbahaya seperti pelarut atau logam berat dapat mencemari air di sekitarnya dan membahayakan kesehatan manusia.

Pemerintah dan industri plastik perlu bekerja sama untuk mengembangkan strategi yang berkelanjutan dan bertanggung jawab dalam mengelola limbah cair [3]. Salah satu solusinya adalah perlu dilakukan pemantauan kualitas air di industri plastik. Analisis kondisi limbah cair hasil dari industri plastic adalah dengan melakukan pemantauan secara berkala. Kegiatan pemantauan limbah cair ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa sumber air tersebut aman untuk dapat digunakan bagi keperluan manusia dan hewan. Peraturan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 5 tahun 2014 telah menetapkan terkait batas aman untuk parameter pH, suhu, dan TDS pada kualitas limbah cair [4]. Pemantauan dilakukan di pembuangan limbah ciar industri plastik yang akan dibuang ke lingkungan. Umumnya limbah cair plastik tersebut merupakan hasil dari pendinginan mesin dan proses pencucian sehingga parameter yang terkait adalah pH, suhu, dan kekeruhan air.

Penelitian mengenai pemantauan limbah cair sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. [5] telah membangun sebuah sistem perancangan prototype dan melakukan evaluasi terkait alat pemantauan air limbah industri berbasis IoT. Mereka memanfaatkan 4 parameter, yaitu temperatur, pH, oksigen terlarut, dan kekeruhan. Untuk sistem IoT, mereka memanfaatkan blynk dan esp8266. [6] telah mengembangkan sistem pemantau kualitas air berbasis aduino dengan mengukur 5 parameter, yaitu pH, temperature, kekeruhan, salinitas, dan kadar oksigen. Sistem yang dibangun belum memanfaatkan IoT dan untuk penyimpanan menggunakan *data logger* secara lokal. [7] telah membangun sistem pemantau kualitas air sungai di kawasan industri berbasis WSN dan IoT. Mereka menggunakan 3 parameter pengukuran, yaitu pH, kekeruhan, dan temperatur air. Sistem yang dibangun menggunakan tiga node dan satu *server* sebagai pengumpul data. Tampilan data ditunjukkan melalui halaman *website*. Sistem yang dibangun dapat bekerja dengan baik dalam jangka waktu maksimal 3 jam.

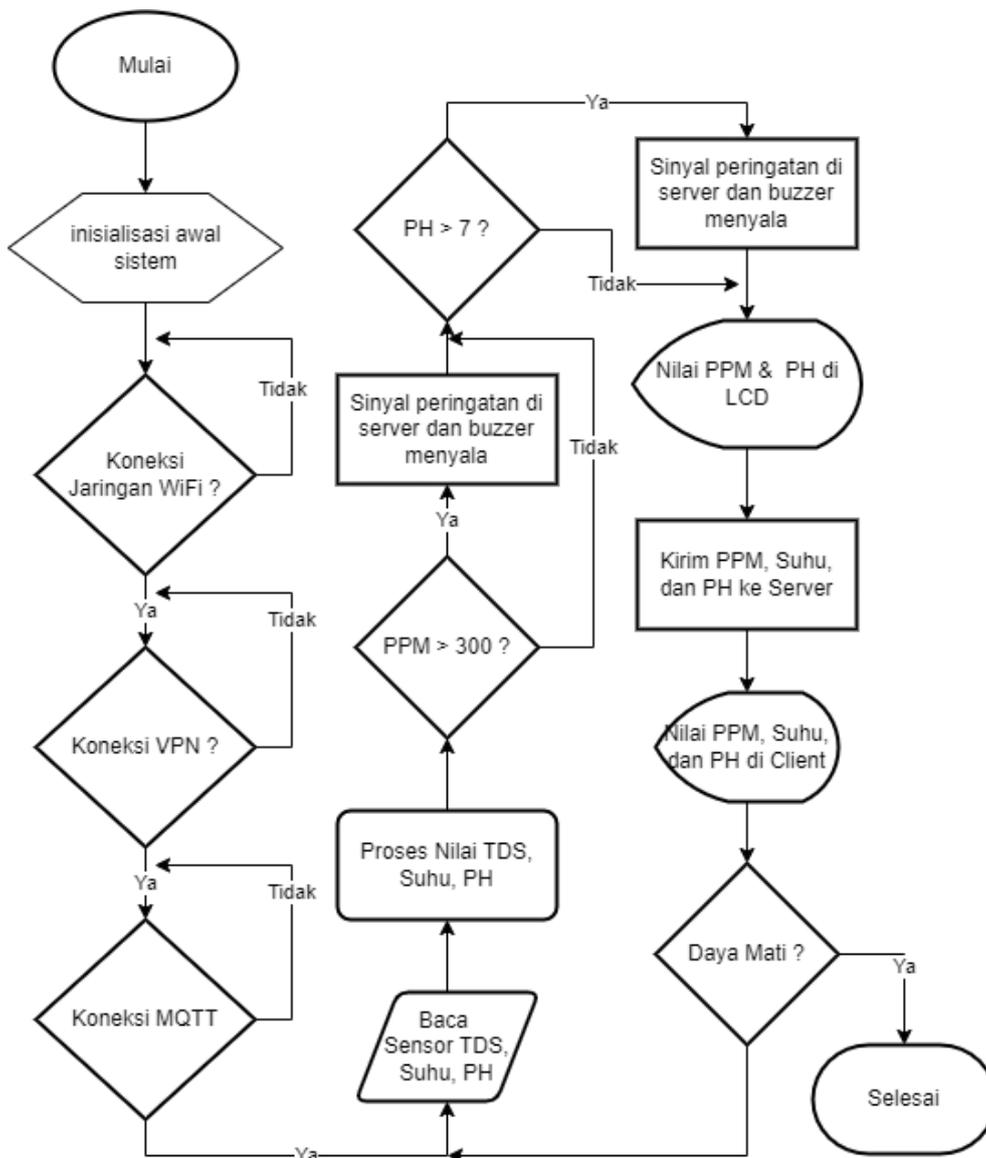
Penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipaparkan sebelumnya berfokus pada pembacaan sensor dan pengiriman ke *server* tanpa melihat keamanan data yang dikirimkan. Penelitian ini ditambahkan *Wireguard* sebagai *Server VPN* yang berguna untuk mengenkripsi data-data yang dikirimkan dari sistem ke *server MQTT*. Dengan adanya *Wireguard*, seluruh data-data dijamin keamanannya dan tidak bisa diakses oleh pengguna yang tidak terotentifikasi. Penelitian ini membangun pemantauan air menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) melibatkan penggunaan perangkat yang saling terhubung yang mengumpulkan dan mengirimkan data tentang kualitas air, kuantitas, dan parameter relevan lainnya. Perangkat ini dapat berupa sensor, meter, dan jenis peralatan pemantauan lainnya yang terhubung ke jaringan, memungkinkan pemantauan dan analisis data terkait air secara *real-time*.

II. METODE PENELITIAN

Internet of Things (IoT) didefinisikan sebagai jaringan objek/benda fisik - perangkat, kendaraan, bangunan yang disematkan dengan sensor, mikrokontroler, dan konektivitas jaringan yang memungkinkan objek tersebut untuk mengumpulkan dan bertukar data. IoT dapat digambarkan sebagai jaringan besar objek tertanam yang dirancang dengan teknologi nirkabel bawaan sehingga dapat dipantau, dikendalikan, dan

dihubungkan dalam infrastruktur Internet yang ada. Setiap perangkat memiliki identifikasi unik dan harus dapat menangkap data real-time secara mandiri. Teknologi nirkabel seperti Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, RFID, 6LoWPAN (IPv6 Low power Wireless Personal Area Network) memungkinkan perangkat terhubung ke Internet dan satu sama lain [8].

Layanan cloud mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data yang dikumpulkan oleh sensor dan memungkinkan orang mengambil keputusan yang sesuai. Aplikasi manajemen data seluler sedang meningkat karena penyebaran ponsel yang cepat. Ponsel pintar kini telah menjadi platform baik untuk komputasi maupun komunikasi [9]. Ponsel menjadi lebih murah, lebih mudah digunakan, dan dapat digunakan untuk berbagai jenis transmisi informasi. Aplikasi data seluler bersama dengan teknologi sensor dapat meningkatkan efisiensi serta akurasi pelaporan data untuk sistem pemantauan kualitas air. Ponsel pintar/tablet yang memiliki sensor tertanam dengan layar dan keypad dapat dihubungkan ke Internet dengan alamat IP (memenuhi setiap persyaratan perangkat IoT). Mereka akan berfungsi sebagai hub/remote control untuk IoT.



Gambar 1 Diagram Alir Sistem

A. Desain Kerja Sistem Pemantauan Limbah Cair

Gambaran kerja sistem pemantauan limbah cair ini ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem pemantauan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler untuk melakukan pembacaan terhadap kualitas tingkat keasaman (pH) dan TDS limbah cair yang ada di industri plastik dengan menggunakan sensor. Hasil

pembacaan kemudian akan diproses di dalam ESP32 dan akan dilakukan perbandingan apakah melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh pengguna. Jika hasil pembacaan TDS melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, maka sistem ESP32 akan memberikan peringatan berupa suara *buzzer*. Lebih lanjut, seluruh informasi mengenai hasil pembacaan TDS akan dikirimkan kepada smartphone pengguna, sehingga pengguna dapat memantau kualitas limbah cair secara real time. Agar sistem ESP32 dapat mengirimkan data pembacaan pH dan TDS ke smartphone pengguna, digunakan server MQTT sebagai terminal data dan penghubung antara sistem ESP32 dan smartphone pengguna.

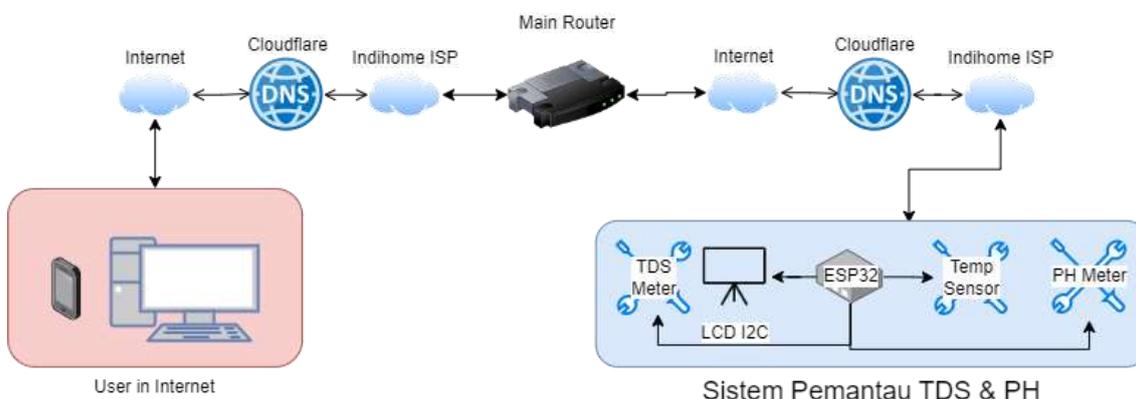
Sistem pemantauan ini terpoteksi *Wireguard*. *Wireguard* adalah protokol jaringan pribadi virtual (VPN) sumber terbuka yang dirancang untuk menyediakan metode yang aman dan efisien untuk membangun koneksi terenkripsi melalui internet. VPN telah mendapatkan popularitas karena kesederhanaan, kecepatan, dan teknik kriptografi modernnya [10]. Dibandingkan dengan protokol VPN tradisional seperti OpenVPN dan IPSec, *Wireguard* jauh lebih sederhana dan lebih mudah diimplementasikan, dengan baris kode yang lebih sedikit dan permukaan serangan yang lebih kecil. Ini menggunakan teknik kriptografi modern seperti kerangka kerja protokol Kebisingan, yang menyediakan enkripsi yang kuat, otentikasi, dan kerahasiaan ke depan yang sempurna [11-12].

Wireguard juga dirancang untuk menjadi sangat cepat, dengan latensi dan *overhead* yang lebih rendah dibandingkan dengan protokol VPN lainnya. Ini dicapai dengan menggunakan primitif kriptografi modern yang lebih efisien dan dioptimalkan untuk perangkat keras modern.

B. Desain Komunikasi Sistem Pemantauan Limbah Cair

Pada Gambar 2 dirancang sebuah alur komunikasi data untuk melakukan pemantauan TDS dan pH pada limbah cair di salah satu industri plastik. Sistem ini dirancang akan melakukan pembacaan terhadap sensor yang dipasang di limbah cair. Ketika nilai mg/L pada limbah cair tersebut melebihi 2000, maka sistem akan membunyikan *buzzer* peringatan dan mengirimkan peringatan kepada operator melalui smartphone-nya. Pengiriman peringatan ke *smartphone* operator harus melalui MQTT *server* yang bertindak sebagai terminal dan penghubung data antara sistem pemantau TDS dan *smartphone* operator. Sistem yang dibangun karena berbasis IoT mengizinkan operator untuk memantau kualitas dari TDS limbah cair dimanapun dan kapanpun [13-15]. Operator akan menerima info secara real time selama terhubung dengan jaringan internet. Pengiriman data dari mikrokontroler hingga ke pengguna harus terkoneksi dahulu dengan *server Wireguard*. *Wireguard* memastikan seluruh komunikasi data terenkripsi sempurna. Data tidak akan diizinkan terkirim sebelum ada koneksi dengan *Server Wireguard*.

Raspberry pi digunakan untuk mengampu *server* dari *Wireguard*, MQTT, dan Home-Assistant. Home-Assistant digunakan sebagai *dashboard* untuk menampilkan data-data yang dikirimkan oleh sistem pemantau. Akses tersebut dapat dilakukan melalui aplikasi *smartphone* dan *browser*, seperti Mozilla dan Google Chrome. Agar dapat diakses lebih leluasa, jaringan yang digunakan berasal dari penyedia layanan *Indihome* karena menyediakan IP Publik secara gratis. *Domain Name* yang digunakan untuk memudahkan akses ke *server* adalah www.home.arducamp.com dan *Domain Name Server* yang sesuai dengan penelitian ini adalah Cloudflare karena memiliki API untuk melakukan update IP Publik Dinamis secara berkala.



Gambar 2. Skematik Komunikasi Data Sistem Pemantauan Limbah Cair

C. Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem yang dibangun dan membandingkannya dengan alat ukur yang ada. Alat ukur tersebut akan menjadi *gold standard* bagi pengukuran sistem yang telah

dibangun. Besaran yang akan dibandingkan adalah nilai pH, TDS, dan suhu, yang kemudian akan dihitung nilai *error*-nya. Dalam pengujian ini, sistem akan diuji dengan menggunakan lima sumber mata air untuk melihat perbedaan nilai pH dan TDS-nya. Dari setiap lima sumber mata air, akan diambil sampel pengukuran sebanyak lima kali dengan rentang waktu perbedaan antar rentang waktu sebesar 30 menit untuk melihat kestabilan sensor dalam melakukan pengukuran.

Untuk pengujian jaringan, sistem ini akan diuji dalam empat parameter, yang pertama terkait dengan waktu yang dibutuhkan sistem untuk terkoneksi ke WiFi, kedua terkait dengan koneksi ke *server Wireguard*, ketiga *ping* MQTT *server*, dan terakhir koneksi ke MQTT *Server*. Koneksi WiFi digunakan agar sistem pemantauan limbah dapat terhubung dengan jaringan internet. Koneksi ke *Wireguard* berguna untuk mengenkripsi data-data yang akan dikirimkan ke *server* MQTT. *Ping* MQTT *Server* bermanfaat untuk mengecek apakah *Server* MQTT dalam keadaan *online* atau *offline*. Koneksi MQTT *server* bertujuan untuk membangun hubungan antara MQTT *server* dan sistem pemantau limbah dan melaporkan bahwa sistem pemantau sudah siap untuk melakukan pengiriman data-data yang terekam oleh *sensor*.



Gambar 3. Pengujian Dengan Alat Ukur Pemandangan

Pengukuran yang telah dilakukan kemudian akan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat sejauh mana kemampuan stabilitas dan akurasi sensor dalam melakukan pengukuran pH, TDS dan suhu. Perhitungan nilai *error* menggunakan rumus Persamaan (1). Pengujian ini kemudian dijadikan dasar dalam menentukan langkah kedepannya untuk memperbaiki nilai *error* agar semakin mendekati dengan nilai yang dikeluarkan oleh alat ukur pemandangan.

$$\%Error = \frac{|Nilai\ Ukur\ Gold\ Standar - Nilai\ Ukur\ Sistem|}{Nilai\ Ukur\ Gold\ Standar} * 100\% \quad (1)$$

Lebih lanjut, pengujian kemampuan sistem dalam mengirimkan data ke *server* dengan melihat apakah datanya sampai ke aplikasi yang digunakan oleh *user*. Untuk menguji koneksi dengan *Wireguard*, koneksi antara *server Wireguard* dan sistem pemantau TDS dan pH akan dilihat. Koneksi *Wireguard* akan dilakukan ketika sistem tersebut terlebih dahulu koneksi ke WiFi yang ditentukan di program. Setelah *Wireguard* terhubung, sistem akan melakukan pengecekan apakah MQTT *server* sedang dalam kondisi hidup. Kemudian, sistem akan mengirimkan nilai pH, TDS, dan suhu ketika semua proses koneksi telah divalidasi oleh *server*.

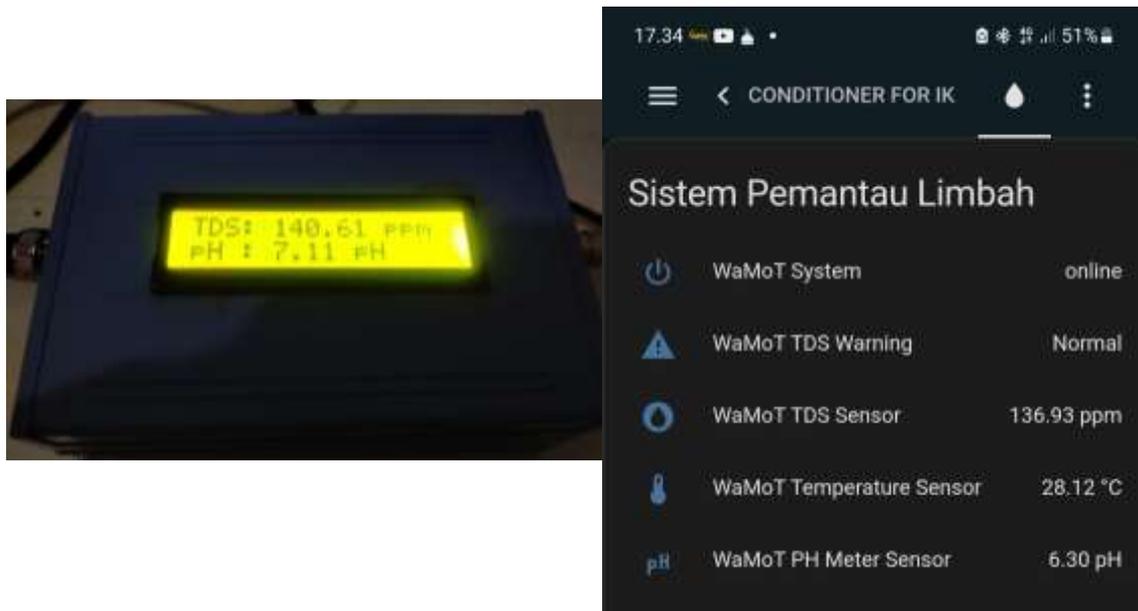
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian

Pengujian sistem ini akan dilakukan dengan empat tahapan, yaitu pengujian terhadap pengukuran suhu, pH, TDS, dan koneksi jaringan. Untuk pengujian suhu, pH, dan TDS, besaran tersebut akan dibandingkan dengan alat ukur yang menjadi *gold standard* sehingga dapat dihitung perbedaan nilai *error*-

nya. Sistem diuji dengan lima sumber air yang berbeda, setiap sumber air yang diuji diambil 5 sampel untuk setiap 30 menit. Untuk pengujian koneksi, sistem akan diuji dengan keberhasilan dan lama waktu koneksi terhadap WiFi, VPN Server, dan MQTT Server.

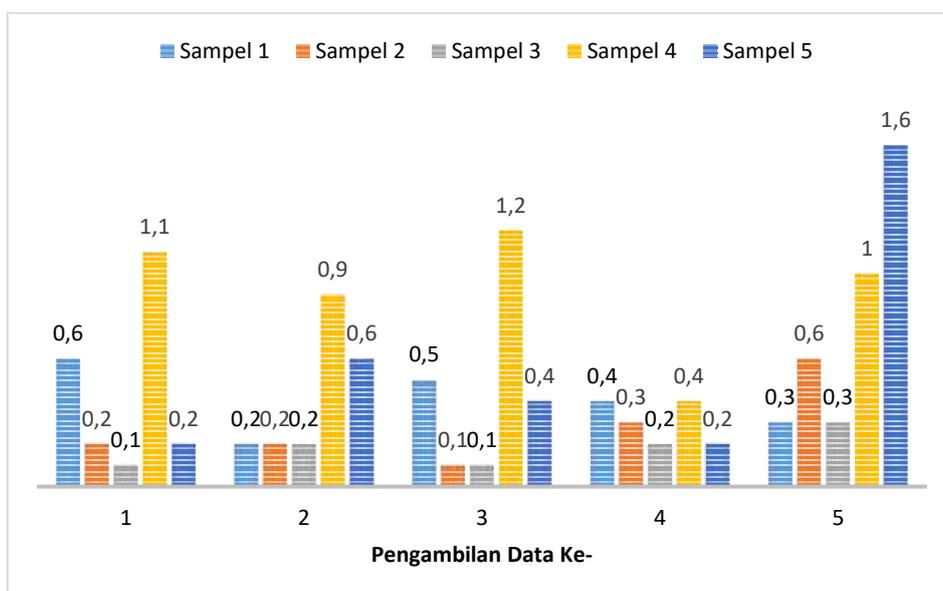
Pembacaan hasil pengukuran sistem dapat dilihat dengan dua cara, melalui alatnya secara langsung dan aplikasi *smartphone*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan menampilkan data TDS dan pH pada LCD 2x16 dan aplikasi *Home Assistant* di perangkat *smartphone android*. Selain melalui aplikasi *smartphone*, pemantauan juga dapat dilakukan dengan mengakses website yang sudah terintegrasi dengan sistem secara keseluruhan. Sehingga operator tidak hanya dapat memantau melalui *smartphone* tapi juga bisa menggunakan seluruh perangkat yang memiliki *browser*.



Gambar 4. Alat sistem pemantauan (kiri: tampilan LCD alat, kanan: tampilan dari aplikasi)

1. Pengujian Suhu

Perbandingan pengukuran suhu dilakukan dengan membandingkan antara suhu yang diukur melalui alat TDS Meter dan sensor DS18B20. Perbandingan dilakukan dengan menghitung nilai *error* menggunakan Persamaan (1).

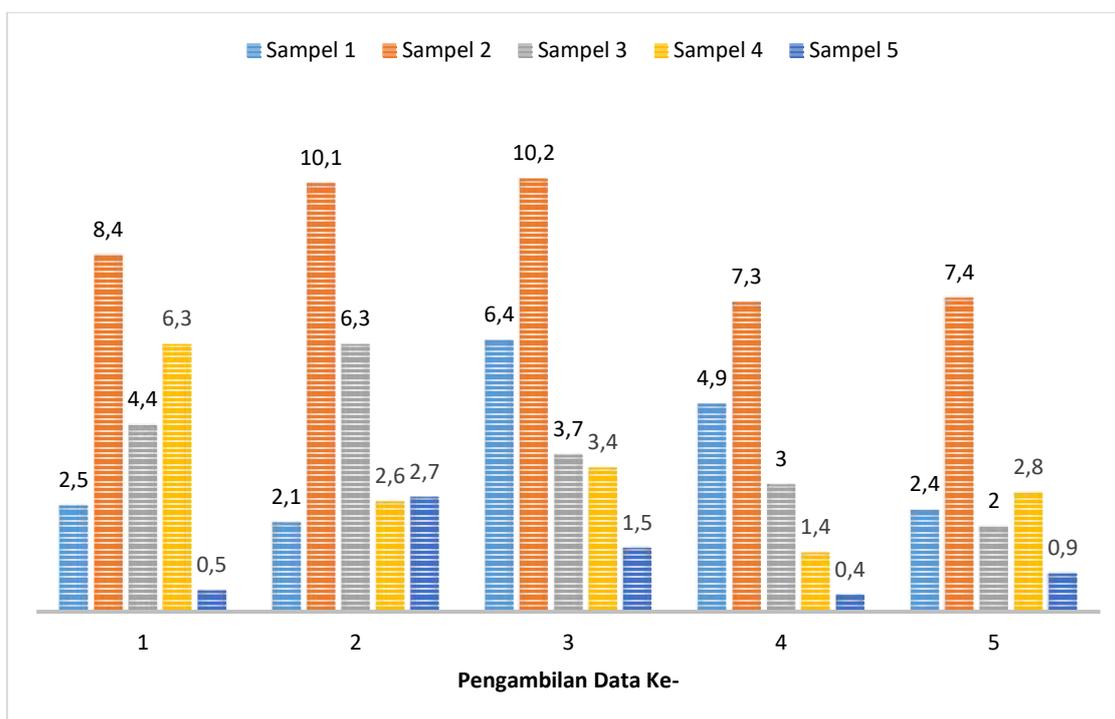


Gambar 5. Grafik Nilai *Error* Pada Pengujian Pengukuran Suhu

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, fluktuasi nilai *error* terjadi pada setiap sampel yang diukur suhunya. Nilai *error* tertinggi terdapat pada sampel 5 pengambilan data ke-5 sebesar 1.6%. Sedangkan untuk nilai *error* terkecil terdapat pada sampel 2 pengambilan data ke-3 dan sampel 3 pengambilan data ke-1 dan ke-3 sebesar 0.1%. Sampel 4 memiliki rata-rata nilai *error* tertinggi dari sampel yang lainnya dengan nilai 0.92 %, sedangkan sampel 3 memiliki rata-rata nilai *error* terendah dengan nilai 0.18. Secara keseluruhan, nilai *error* tidak melebihi dari 5%.

2. Pengujian pH Meter

Pengujian kedua dilakukan dengan membandingkan antara sensor pH yang digunakan dalam sistem pemantauan, yakni DfRobot dan alat ukur pH yang menjadi *Gold Standard*. Nilai selisih antara dua perangkat tersebut dihitung persentase *error*-nya menggunakan persamaan (1).

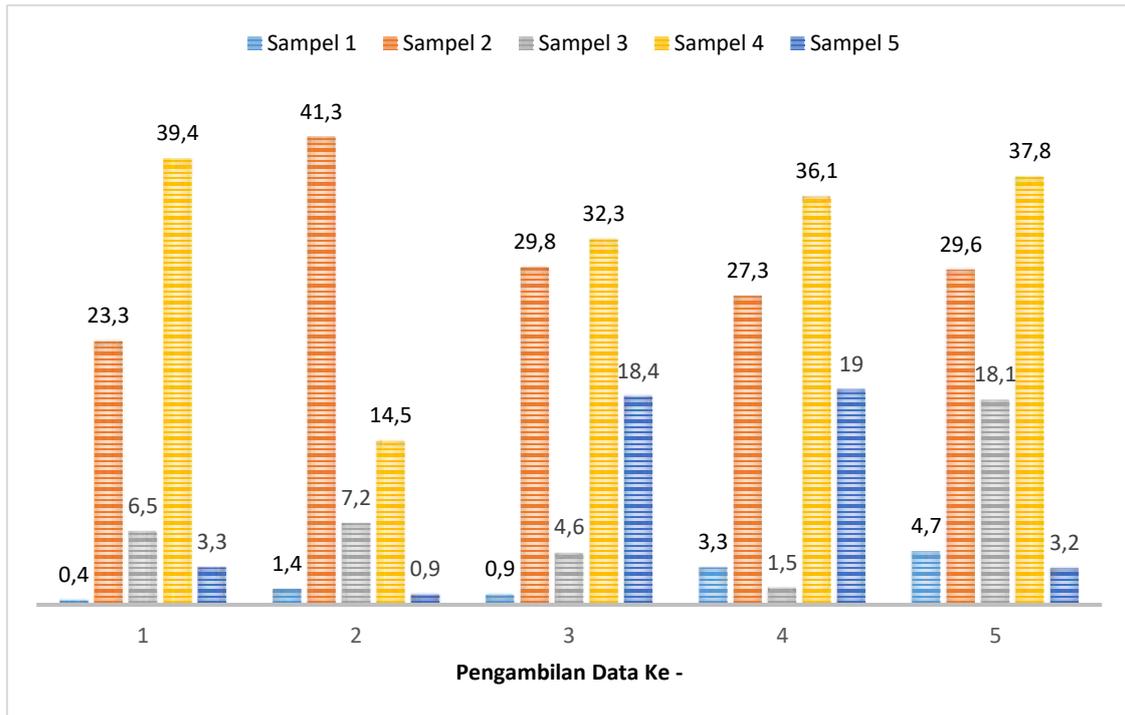


Gambar 6. Persentase *Error* Pengukuran pH

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, nilai *error* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan nilai *error* pada suhu. Nilai rata-rata *error* tertinggi didapati pada sampel 2 untuk seluruh pengambilan data sebesar 8,68%. Sedangkan untuk nilai *error* terendah terdapat pada sampel 5 dengan nilai rata-rata 1,2%. Untuk sampel 1, 3, dan 4, memiliki nilai *error* yang bervariasi. Namun, jika dilihat secara lebih luas, nilai *error* yang dihasilkan seluruhnya melebihi 1%.

3. Pengujian TDS Meter

Pengujian ketiga adalah menguji kemampuan dari TDS yang diukur melalui sensor sistem pemantau dan alat yang menjadi *Gold Standard*. Hasil nilai *error* yang didapat merupakan persentase *error* tertinggi diantara nilai *error* pada pengujian TDS dan suhu. Nilai rerata *error* paling tinggi didapati pada sampel ke-4 dengan nilai sebesar 32%. Sedangkan untuk nilai rerata *error* terendah terdapat pada sampel pertama dengan nilai rata-rata sebesar 2,14%. Nilai *error* tertinggi ada pada sampel 2 pada pengambilan kedua dengan nilai 41,3% dan nilai *error* terendah terdapat pada sampel 1 pada pengambilan pertama (Gambar 7).



Gambar 7. Grafik Persentase Error Nilai TDS Meter

4. Pengujian Jaringan Sistem Pemantau Limbah

Pengujian tahap terakhir dalam penelitian ini adalah menguji kemampuan jaringan sistem pemantau limbah cair. Terdapat empat parameter yang akan diukur dalam pengujian ini, yaitu pertama koneksi WiFi sekitar, koneksi ke *Server Wireguard*, *ping MQTT server*, dan Koneksi terhadap *MQTT server*.

Tabel 1. Hasil Pengujian Jaringan Pemantau Limbah

No	Parameter	Waktu
1	Koneksi WiFi	5 detik
2	Koneksi <i>Wireguard</i>	0,05 detik
3	<i>ping MQTT Server</i>	8 detik
4	Koneksi <i>MQTT Server</i>	4 detik

Berdasarkan Tabel 1, pengujian jaringan sistem memiliki rata-rata waktu eksekusi 4,26 detik. Waktu terlama yang dibutuhkan untuk eksekusi terdapat di parameter *ping MQTT Server* dengan waktu 8 detik dan waktu terendah terdapat di parameter koneksi *Wireguard* 0,05 detik. Sedangkan untuk koneksi ke jaringan WiFi, sistem membutuhkan waktu sebanyak 5 detik dan dibutuhkan waktu 4 detik agar sistem bisa terhubung dengan *MQTT Server*. Jaringan sistem pemantau limbah berjalan dengan normal, seluruh data dapat terkirim dengan baik.

B. Analisis Sistem

Sistem pemantauan limbah yang telah diuji dalam empat tahapan pengujian telah menunjukkan beberapa hal yang perlu digaris bawahi untuk pengembangan sistem yang lebih baik di penelitian selanjutnya. Pada pengujian tahap pertama, sistem diuji untuk mengukur nilai suhu. Pengukuran suhu pada sistem pemantauan limbah menggunakan sensor DS18B20. Dari lima kali pengambilan data terhadap lima sampel mata air, didapati nilai *error* tertingginya adalah 1,6% dan rata-rata *error* untuk seluruh pengambilan sampel adalah 0,476%. Nilai rerata *error* yang paling rendah dibandingkan dengan nilai rerata *error* tahapan pengujian yang lain. Untuk mengurangi nilai *error* pada penelitian berikutnya. Sistem akan dilakukan *upgrade* terhadap perangkat *sensor* yang digunakan dan juga menyesuaikan pustaka pemrograman agar dapat langsung mengolah data dari *sensor*-nya secara langsung.

Tahapan pengujian kedua dan ketiga, sistem diuji pada kemampuan pengukuran pH Meter dan TDS. *Sensor* yang digunakan adalah pH meter yang diproduksi oleh DFRobot. Metode yang sama dengan

pengujian tahapan pertama digunakan dalam pengujian tahapan kedua ini. Dari kelima sampel, nilai *error* tertinggi untuk pH adalah 10,2% dan dengan rerata *error* seluruh pengujian sebesar 4,14%. Sedangkan nilai *error* tertinggi untuk TDS adalah 41,3% dan nilai rerata *error* untuk seluruh sampel adalah 16,18%. Nilai rerata *error* ini lebih tinggi daripada nilai rerata *error* pengujian sebelumnya. Hal yang menjadi penyebab *error* yang tinggi adalah *probe sensor* pH dan TDS yang digunakan berkualitas rendah, sehingga untuk mencapai mengurangi nilai *error* pada penelitian berikutnya, diperlukan *probe* pH dan TDS berkualitas tinggi. Langkah kedua untuk mengurangi nilai *error*-nya adalah dengan menambahkan ADC eksternal diantara *probe sensor* dan ESP32. Penambahan ADC eksternal ini dapat menyesuaikan sinyal masukan dari *probe sensor* agar resolusi sensitifitas lebih baik dibandingkan dengan menggunakan ADC internal. Langkah ketiga adalah dengan membersihkan *probe sensor* setiap kali sehabis mengujicoba sampel. Langkah ini perlu dilakukan karena sisa-sisa cairan yang ada di sampel sebelumnya dapat memengaruhi nilai pH yang diukur.

Tahap pengujian terakhir adalah pengujian jaringan sistem pemantau limbah cair. Empat parameter yang menjadi acuan pengujian adalah waktu koneksi WiFi, waktu koneksi *Wireguard*, *ping* MQTT *Server*, dan koneksi MQTT *Server*. Keempat parameter ini merupakan tahapan awal pembentukan koneksi sebelum sistem melakukan pengiriman data ke *server* dan dari *server* ke perangkat pengguna. Seluruh parameter pengujian jaringan telah berjalan dengan baik. Nilai-nilai yang terukur pada sistem dapat terkirimkan ke perangkat pengguna dengan lancar dan *real time*. Untuk mempercepat waktu pembentukan koneksi, maka pada penelitian selanjutnya, diperlukan waktu pengurangan jeda terhadap setiap tahapan. Langkah kedua adalah dengan menggunakan penyedia layanan jaringan yang memprioritaskan pelanggan bisnis sehingga *routing* jaringan jauh lebih efisien dari penyedia layanan jaringan yang saat ini digunakan.

IV. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Nilai *error* pada pengujian pH dan TDS yang masih tinggi sehingga dibutuhkan *probe sensor* berkualitas dan ADC eksternal dengan resolusi tinggi untuk mengurangi nilai *error* pada pengukuran.
2. Peningkatan jaringan sistem pemantauan limbah cair dengan mengurangi jeda pada setiap tahapan koneksi dan peningkatan kualitas jaringan di tingkat penyedia layanan internet.
3. Sistem pemantauan limbah dapat melakukan pengiriman nilai-nilai pengukuran secara *real time* dan lancar ke perangkat pengguna.
4. Sistem pemantau telah berhasil memproteksi data-data yang akan dikirimkan ke *server* dengan melakukan enkripsi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengiriman data-datanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (LPPMI), Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) atas bantuan untuk penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada direktur CV. Saudara Plastik atas bantuannya dalam pengujian penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Q. Jiang, Z. Zhou, and V. K. Sharma, "Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water—A review from global views," *Microchemical Journal*, Vol.110, pp.292-300, 2013.
- [2] S. Echchakoui and N. Barka, "Industry 4.0 and its impact in plastics industry: A literature review," *Journal of Industrial Information Integration*, 20, p.100172, 2020.
- [3] H. J. Campbell Jr, and R. F. Rocheleau, "Waste treatment at a complex plastics manufacturing plant", *Journal (Water Pollution Control Federation)*, pp. 256-273, 1976.
- [4] S. Pappu, P. Vudatha, A. V. Niharika, T. Karthick, and S. Sankaranarayanan, "Intelligent IoT based water quality monitoring system", *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, no.16, pp. 5447-5454, 2017.
- [5] P. Paryanto, R. Subarkah, and R. Rusnaldy, "Perancangan prototype dan evaluasi alat pemantauan air limbah industri berbasis IoT," *ROTASI*, vol. 24, no. 1, pp. 50-57, 2022. <https://doi.org/10.14710/rotasi.24.1.50-57>.

- [6] K. Indartono, B. A. Kusuma, and A. P. Putra, “Perancangan Sistem Pemantau Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Air Tawar”, *Journal of Information System Management (JOISM)*, vol. 1, no. 2, pp.11-17, 2020. <https://doi.org/10.24076/joism.2020v1i2.23>
- [7] T. D. Hendrawati, N. Maulana, and A. R. A. Tahtawi, “Sistem pemantauan kualitas air sungai di kawasan industri berbasis WSN dan IoT”, *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 4, no. 2, pp. 283-292, 2019.
- [8] K. K. Patel, S. M. Patel, and P. Scholar, “Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application and future challenges,” *International journal of engineering science and computing*, vol. 6, no. 5, 2016.
- [9] T. Alam, “Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities”, *Smart Cities*, Vol.4, No.3, pp.1196-1219, 2021.
- [10] J. A. Donenfeld, *Wireguard : next generation kernel network tunnel*; In NDSS, pp. 1-12, 2017.
- [11] W. J. Chang, J. P. Su, C. H. Hsu, L. B. Chen, M. C. Chen, H. C. Chen, and C. F. Lin, “IoT-based intelligent liquid waste barrels monitoring system”, *11th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*, pp. 156-159; IEEE, 2019.
- [12] A. D. Farahani, J. Hunter, G. McIntosh, A. Ravishankara, E. Earl, S. Janfaza, and M. Hoorfar, M, “Development of an in-situ detector for classification and regression of dissolved gases in liquid waste with application to wastewater monitoring”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 367, No.132027, 2022.
- [13] S. Thakker, and R. Narayanamoorthi, “Smart and wireless waste management”, In *2015 international conference on innovations in information, embedded and communication systems (ICIECS)*, pp. 1-4; IEEE, 2015.
- [14] H. N. Saha, S. Auddy, S. Pal, S. Kumar, S. Pandey, R. Singh and S. Saha, S, “Waste management using internet of things (iot)”, *8th annual industrial automation and electromechanical engineering conference (IEMECON)*, pp. 359-363; IEEE, 2017.
- [15] C. C. Ho, and M. S. Chen, “Risk assessment and quality improvement of liquid waste management in Taiwan University chemical laboratories”, *Waste management*, Vol. 71, pp.578-588, 2018.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).