SISTEM PEMANTAUAN LIMBAH CAIR BERBASIS INTERNET OF THINGS DAN TERPROTEKSI WIREGUARD

***LIQUID WASTE MONITORING SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS AND WIREGUARDS PROTECTED***

|  |
| --- |
| **Cara sitasi**: Liquid Waste Monitoring System Based On Internet Of Things And Wireguards Protected," *Kurvatek*, vol. 7, no. 2, pp. xx-xx, 2022. doi: [10.33579/krvtk.v?i?.xxxx](https://dx.doi.org/10.33579/krvtk.v?i?.xxxxx) [Online]. |

**Abstrak** — Air telah menjadi salah satu kebutuhan utama manusia, khususnya pada aliran air sungai yang terhubung dengan limbah pembuangan industri. Persyaratan kualitas air yang berhubungan langsung dengan kesehatan 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 merancang suatu sistem pemantauan kualitas air sungai 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 kekeruhan, 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 terenkrpsi 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 menatau limbah cair pada industri plastik. Selanjutnya, apabila terdapat hasil yang kurang baik untuk lingkungan mengenai limbah cair dari hasil pengukuran dapat segera ditangai sengat cepat dan efisien.

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

***Abstract*** ***—*** *Water has become one of the main needs of humans, especially in rivers that are connected to industrial waste disposal. Water quality requirements that are directly related to health include 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 study aims to design a river water quality monitoring system based on Internet of Things (IoT) technology and protected by wireguards. The monitoring system is designed using an Analog pH Meter Sensor to measure pH, a TDS Meter Sensor to measure turbidity, 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,* VPN, 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 tersbut semakin memburuk karena perkembangan industri yang sangat cepat dan berbagai aktivitas manusia lainnya. Hal tersbut 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 beberapa hal, antara lain: 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. Penentuan kualitas sumberdaya didasarkan pada kandungan bahan kimia, fisika dan biologi dari air dengan menggunakan acuan tertentu. Salah satu yang mempengaruhi kualitas air yaitu limbah cair industri yang merupakan sisa buangan yang dihasilkan dari sebuah proses produksi pada suatu industri dalam bentuk cair 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.

Oleh karena itu, industri plastik perlu memproses limbah cairnya melalui sistem pengolahan limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan. Pemerintah dan perusahaan industri plastik perlu bekerja sama untuk mengembangkan strategi yang berkelanjutan dan bertanggung jawab dalam mengelola limbah dari pabrik plastic [3]. Ini termasuk upaya untuk mengurangi limbah plastik, meningkatkan daur ulang dan pengolahan limbah, dan memperkuat sistem pengelolaan limbah di seluruh rantai pasokan. Salah satu solusinya adalah perlu dilakuakan monitoring kualitas air. Monitoring kualitas air adalah sebuah metode pengambilan sampel air secara berkala untuk menganalisis kondisi air dan karakteristiknya. Monitoring ini biasanya merupakan monitoring sumber air tawar seperti air dari sungai, danau, aliran air, kolam, waduk, air tanah permukaan, sumur, air di gua, dan lahan basah. Monitoring ini dilakukan dimana untuk meyakinkan bahwa sumber air tersebut aman untuk dikonsumsi dan dapat digunakan untuk keperluan manusia dan hewan. Peraturan yang dibuat oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 5 tahun 2014 telah menetapkan bahwa kualitas air yang baik untuk digunakan pada keperluan sehari-hari mengenai indikator parameter pH, suhu, dan kekeruhan air [4].

Terkait dengan 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.

Sistem yang dibangun dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian-penelitian yang lain. Fokus utama yang menjadi pembeda adalah keamanan jaringan. Seluruh data yang dikirimkan dalam sistem ini diproteksi dengan menggunakan wireguard dan menggunakan jaringan *server* pribadi. Sehingga keamanan data terjamin karena akses keluar masuk data akan dienkripsi secara langsung.

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 peringantan 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 monitoring 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.

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 indutri 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. Operator akan menerima info secara real time selama terhubung dengan jaringan internet. Pengiriman data dari mikrokontroller 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](http://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 Pembanding

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 Eq.(1). Pengujian ini kemudian dijadikan dasar dalam menentukan langkah kedepannya untuk memperbaiki nilai *error* agar semakin mendekati dengan nilai yang dikeluarkan oleh alat ukur pembanding.

$\%Error=\frac{\left|Nilai Ukur Gold Standar-Nilai Ukur Sistem\right|}{Nilai Ukur Gold Standar}\*100\%$ (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, sistetm akan diuji dengan keberhasilan dan lama waktu koneksi terhadap WiFi, VPN *Server*, dan MQTT *Server*.

Pembacaan hasil pengukuran sistem dapat dlihat 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*.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Text  Description automatically generated |

**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 Eq.(1).

Gambar 6. Grafik Nilai *Error* Pada Pengujian Pengukuran Suhu

Berdasarkan Grafik 6, 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 Eq. (1).

Gambar 7. Persentase *Error* Pengukuran pH

Seperti yang ditunjukkan pada Grafik 7, 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 8. 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 Wireguard | 0,05 detik |
| 3 | *ping* MQTT *Server* | 8 detik |
| 4 | Koneksi MQTT *Server* | 4 detik |

Berdasarkan Tabel 1, pengujian jaringan sistem memiliki rata-rata waktu eksekuksi 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 bab 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.

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. Jiang, J. Q., Zhou, Z., & Sharma, V. K. 2013. Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water—A review from global views. Microchemical Journal, 110, 292-300.
2. Echchakoui, S. and Barka, N., 2020. Industry 4.0 and its impact in plastics industry: A literature review. Journal of Industrial Information Integration, 20, p.100172.
3. Campbell Jr, H.J. and Rocheleau, R.F., 1976. Waste treatment at a complex plastics manufacturing plant. Journal (Water Pollution Control Federation), pp.256-273.
4. Pappu, S., Vudatha, P., Niharika, A. V., Karthick, T., & Sankaranarayanan, S. 2017. Intelligent IoT based water quality monitoring system. International Journal of Applied Engineering Research, 12(16), 5447-5454.
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, Jan. 2022. <https://doi.org/10.14710/rotasi.24.1.50-57>
6. Indartono, K., Kusuma, B. A., & Putra, A. P. (2020). PERANCANGAN SISTEM PEMANTAU KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN AIR TAWAR. Journal of Information System Management (JOISM), 1(2), 11-17. <https://doi.org/10.24076/joism.2020v1i2.23>
7. Hendrawati,T.D., Maulana N., & Tahtawi, A. R. A., “Sistem Pemantauan Kualitas Air Sungai di Kawasan Industri Berbasis WSN dan IoT”. Jurnal Teknologi Rekayasa, Vol. 4, No. 2, pp. 283-292
8. Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. International journal of engineering science and computing, 6(5).
9. Alam, T., 2021. Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities. Smart Cities, 4(3), pp.1196-1219.
10. Donenfeld, J.A., 2017, February. Wireguard: next generation kernel network tunnel. In NDSS (pp. 1-12).

©202x. 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/).