IDENTIFIKASI FAKTOR PENYEBAB PENURUNAN KUALITAS AIR MENGGUNAKAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS) SENSOR BERBASIS INTERNET OF THING (IoT)

Rizki Sidik [1*], Hanna Azmi Fathin[2], Ari Bangkit Sanjaya Umbu[3]
[123]Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
**Coressponding Author*: rizki.sidik@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penurunan kualitas air secara signifikan telah terjadi di berbagai wilayah. Salah satu upaya untuk menanggulangi permasalahan tersebut adalah melalui deteksi dini terhadap faktor-faktor penyebabnya. Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas air adalah peningkatan nilai Total Dissolved Solids (TDS). Namun, peningkatan TDS dipengaruhi oleh berbagai faktor, sementara pemanfaatan data sensor TDS yang ada umumnya masih terbatas pada pemantauan nilai TDS tanpa mampu mengidentifikasi faktor penyebab kenaikannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah pola grafik kenaikan Total Dissolved Solids (TDS) dapat digunakan untuk mengidentifikasi penyebab peningkatan TDS, sehingga keunikan pola grafik pada setiap sampel dapat menjadi karakteristik sampel dalam meningkatkan nilai TDS. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan memanfaatkan sistem Internet of Things (IoT) yang terdiri atas perangkat keras ESP32 dan sensor TDS, serta perangkat lunak MQTT dan Node-RED yang terintegrasi dalam satu jaringan komunikasi. Sampel uji yang digunakan berupa larutan cuka, garam, dan sabun pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis grafik perubahan TDS mampu mengidentifikasi faktor kenaikan suhu sebagai penyebab peningkatan TDS, yang ditandai dengan pola grafik berbentuk parabola terbuka ke bawah saat mendekati titik kesetimbangan. Namun, dengan metode analisis yang sama, perbedaan jenis sampel, seperti asam, garam, dan sabun, belum dapat diidentifikasi secara jelas.

Kata Kunci: *Total Dissolved Solids (TDS) sensor, MQTT, Node-red, IOT*

ABSTRACT

A significant decline in water quality has occurred in various regions. One approach to addressing this issue is through early detection of the contributing factors. One of the main factors contributing to water quality degradation is the increase in Total Dissolved Solids (TDS). However, increases in TDS are influenced by multiple factors, while the utilization of existing TDS sensor data is generally limited to monitoring TDS values without being able to identify the underlying causes of the increase. This study aims to analyze whether the graphical patterns of TDS increases can be used to identify the causes of TDS elevation, such that the unique characteristics of the graphical patterns for each sample can represent the sample's contribution to TDS changes. The research method employed is an experimental approach utilizing an Internet of Things (IoT)–based system consisting of ESP32 hardware and a TDS sensor, as well as MQTT and Node-RED software integrated within a single

communication network. The test samples consisted of vinegar, salt, and soap solutions under room-temperature and elevated-temperature conditions. The results indicate that analysis of TDS variation graphs is capable of identifying temperature increase as a factor causing TDS elevation, characterized by a downward-opening parabolic pattern as the system approaches equilibrium. However, using the same analytical approach, differences among sample types, such as acidic, saline, and soapy solutions, could not yet be clearly identified.

Keywords: *Total Dissolved Solids (TDS) Sensor, MQTT, Node-red, IOT*

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan dan mata pencaharian manusia, serta mendukung berbagai fungsi dalam lingkungan. Kualitas air menjadi aspek yang krusial karena secara langsung berdampak pada kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem (ica, A., Banescu, I. E., & Puchianu, 2022). Namun, kualitas air di berbagai wilayah terus mengalami penurunan akibat aktivitas di berbagai sektor. Kegiatan industri, misalnya, sering kali menyebabkan pembuangan air limbah yang tidak diolah secara memadai ke badan air (Abazi et al., 2022). elain itu, praktik pertanian juga berkontribusi terhadap degradasi kualitas air melalui limpasan bahan kimia dan nutrient (Hegazy et al., 2018). Urbanisasi turut memengaruhi karakteristik air tanah, sehingga dalam banyak kasus menjadikannya tidak aman untuk dikonsumsi (Roy, 2015).

Penurunan kualitas air secara signifikan telah terjadi di beberapa wilayah (Liu et al., 2023). Kualitas air yang buruk berdampak serius terhadap kesehatan manusia dan telah dikaitkan dengan lebih dari 50 jenis penyakit, dengan diare sebagai kasus yang paling umum. Kondisi ini berkontribusi terhadap tingginya angka kematian anak, terjadinya kekurangan gizi, serta meningkatnya risiko kanker, terutama di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah (Lin et al., 2022) Oleh karena itu, diperlukan upaya penanggulangan yang cepat dan efisien untuk meminimalkan dampak tersebut. Salah satu tahapan awal yang krusial dalam penanggulangan adalah pemanfaatan informasi yang akurat dan tepat waktu, karena dapat meningkatkan kualitas pengambilan keputusan yang sesuai dengan kondisi di lapangan (Hou et al., 2023).

Berbagai upaya penanggulangan pencemaran air telah dilakukan, salah satunya melalui penelitian deteksi dini pencemaran air dengan pengukuran parameter kualitas air seperti pH, Total Dissolved Solids (TDS), suhu, dan kekeruhan (Khadim, H. J., Obaed, F. K., & Rashid, 2022). Salah satu instrumen yang umum digunakan untuk mengukur parameter TDS adalah sensor TDS (Fikri Ika Purnianto, Ulinnuha Latifa, 2020). Penggunaan sensor TDS dalam pengukuran kualitas air telah terbukti memberikan tingkat akurasi yang baik (Putri & Yushananta, 2022). Selain itu, integrasi sensor TDS dan termokopel dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan kualitas air secara real-time dan berkelanjutan (Arbiansyah, L., Bianto, M. A., & Ardiansyah, 2024).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memantau kualitas air. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan dan penerapan teknologi sensor semata (Manjakkal et al., 2021). Pemanfaatan data dari sensor TDS umumnya masih terbatas pada

pemantauan perubahan kualitas air secara real-time, padahal data tersebut berpotensi dianalisis lebih lanjut untuk menghasilkan informasi tambahan yang dapat mendukung pengambilan keputusan (Hou et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah pola grafik kenaikan Total Dissolved Solids (TDS) dapat digunakan untuk mengidentifikasi penyebab peningkatan TDS, sehingga keunikan pola grafik pada setiap sampel dapat menjadi karakteristik sampel dalam memengaruhi nilai TDS. Informasi ini diharapkan dapat membantu persiapan penanganan dini berdasarkan penyebab penurunan kualitas air, seperti kenaikan suhu atau keberadaan limbah asam, garam, dan sabun, secara lebih cepat tanpa harus menunggu laporan langsung dari tim survei di lapangan.

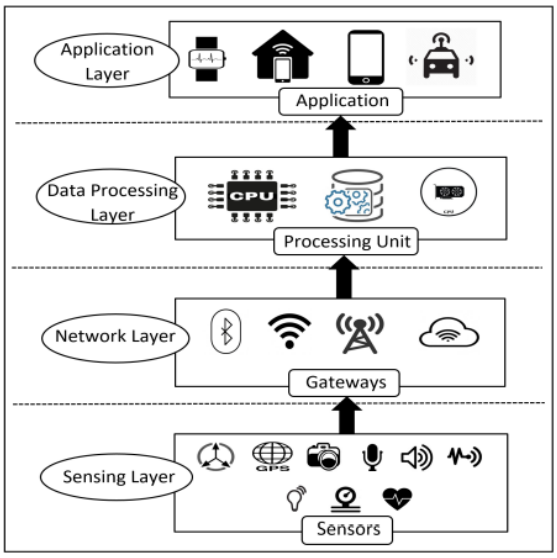
METODE

1. Jenis dan rancangan penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan tujuan mengembangkan alat pemantauan TDS berbasis teknologi Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan modul sensor. Penelitian dilaksanakan menggunakan beberapa jenis sampel, yaitu larutan cuka dan larutan garam yang merepresentasikan pengaruh peningkatan TDS akibat polusi zat kimia industri, larutan sabun yang merepresentasikan pengaruh polusi rumah tangga, serta pengujian pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi untuk menganalisis pengaruh perubahan suhu terhadap nilai TDS.

Langkah-langkah penelitian ini dimulai dengan perakitan rangkaian sensor dan mikrokontroler, kemudian dilanjutkan dengan pemrograman mikrokontroler sesuai dengan kebutuhan sistem. Setelah itu, broker MQTT diaktifkan sebagai media komunikasi data, dan rangkaian sensor dihubungkan sebagai *publisher* ke broker MQTT, sementara Node-RED dihubungkan sebagai *subscriber*. Selanjutnya, wadah sampel diisi dengan air mineral sebagai media awal pengujian, kemudian sensor ditempatkan ke dalam wadah sampel. Larutan sampel selanjutnya ditambahkan ke dalam wadah, dan proses pengujian diulangi untuk setiap jenis larutan sampel yang berbeda guna memperoleh data pengukuran yang komprehensif.

2. Arsitektur komponen dalam alat penelitian

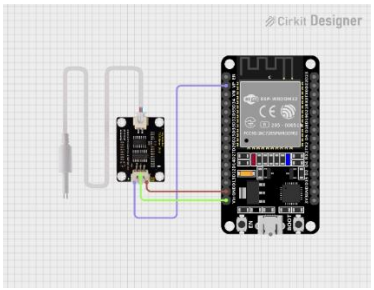


Gambar 1. *Arsitektur komponen dan layer dalam sistem IoT*

Arsitektur komponen alat dalam penelitian ini menggunakan komponen-komponen utama yang umum terdapat pada sistem Internet of Things (IoT). Komponen-komponen tersebut dibagi ke dalam empat lapisan (layer), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Setiap lapisan pada arsitektur sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini akan dibahas secara rinci sebagai berikut. (Sikder, 2018):

a. Sensing layer

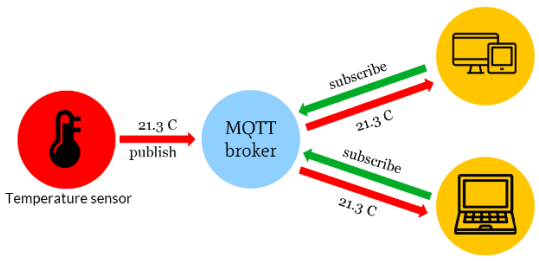
Sensing layer merupakan lapisan yang berinteraksi secara langsung dengan dunia nyata melalui proses akuisisi data menggunakan sensor. Dalam suatu sistem Internet of Things (IoT), lebih dari satu sensor dapat digunakan dan diintegrasikan melalui sebuah *sensor hub*, yaitu mikrokontroler yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengolah data dari berbagai sensor sebelum diproses lebih lanjut. Pada penelitian ini, sensing layer menggunakan mikrokontroler ESP32 yang diprogram menggunakan bahasa Arduino serta sensor TDS, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Pemilihan ESP32 dan sensor TDS didasarkan pada tingkat akurasi sensor TDS yang mencapai 98,19%, sehingga menunjukkan keandalannya untuk digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas air secara real-time. (Desnanjaya, I. G. M. N., Nugraha, I. M. A., & Ekayana, 2025).



Gambar 2. *Rangkaian sensing layer*

b. Network Layer

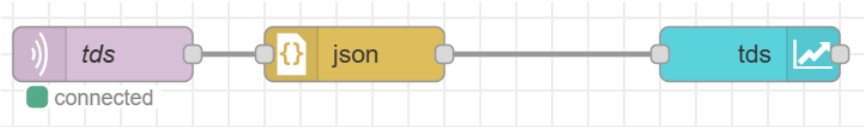
Network layer adalah penghubung antara sensor dengan perangkat-perangkat lain yang terhubung pada sistem IoT. Pada layer ini dapat digunakan berbagai macam teknologi komunikasi, seperti WiFi, LoRa, dan jaringan seluler. Networking layer pada penelitian ini menggunakan software system protocol MQTT karena MQTT memfasilitasi komunikasi yang andal dan efisien antar perangkat (Begović, T., Čabarkapa, V., Ivković, M., & Popović, 2024). Gambar 3 Dimana mikrokontroler ESP32 berperan sebagai publisher, laptop PC sebagai broker dan subscriber. Semuanya saling terhubung menggunakan satu koneksi jaringan wifi.



Gambar 3. *Contoh Protokol MQTT*

c. Data Processing Layer

Data processing layer berfungsi untuk memproses data yang diperoleh dari sensing layer. Data tersebut disimpan dan dianalisis untuk menentukan tindakan atau respons sistem selanjutnya. Hasil pemrosesan data kemudian dapat disimpan serta dibagikan kepada perangkat lain yang terhubung dalam sistem melalui network layer. Pada penelitian ini, data processing layer menggunakan perangkat lunak Node-RED karena mendukung berbagai protokol komunikasi, termasuk MQTT yang digunakan dalam sistem pemantauan. Pemanfaatan Node-RED memungkinkan pengelolaan data yang ringan, efisien, serta mendukung kemampuan pemantauan jarak jauh secara real-time (Utomo, E. B., & Izzaturrahmani, 2025). Node-RED berperan sebagai *subscriber* pada protokol MQTT. Proses yang berlangsung pada Node-RED, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, diawali dengan penerimaan data dari broker MQTT, kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan dan pemilahan data. Pada tahap akhir, data yang telah diproses diteruskan untuk digunakan pada proses selanjutnya.



Gambar 4. *Node-node pada proses penelitian*

d. Application Layer

Application layer merupakan lapisan akhir dalam sistem Internet of Things (IoT) yang berfungsi untuk menampilkan serta mengimplementasikan hasil pemrosesan data yang telah dilakukan. Lapisan ini menghubungkan sistem dengan pengguna dan memungkinkan pengguna untuk memantau informasi serta memberikan instruksi kepada sistem. Pada penelitian ini, application layer memanfaatkan salah satu fitur pada Node-RED, yaitu *node chart*, di mana data yang telah diperoleh dikumpulkan dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada halaman *dashboard*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa nilai Total Dissolved Solids (TDS) dari air murni serta campuran antara air dan larutan sampel. Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan sensor TDS yang telah dirangkai bersama mikrokontroler ESP32, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Data yang diperoleh sensor kemudian dikirimkan ke PC menggunakan protokol MQTT, dengan rangkaian ESP32 berperan sebagai *publisher* dan PC berfungsi sebagai *broker* sekaligus *subscriber*, yang seluruhnya terhubung dalam jaringan Wi-Fi yang sama. Data yang diterima oleh PC selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Node-RED, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Node-RED, terdapat node yang berfungsi sebagai *subscriber* untuk menerima data dari sensor, node untuk memproses dan menyesuaikan data sesuai kebutuhan analisis, serta node untuk menampilkan hasil pengolahan data dalam bentuk grafik pada *dashboard* Node-RED.

Langkah penelitian diawali dengan mempersiapkan seluruh perangkat pada setiap lapisan sistem. Sensor TDS kemudian diposisikan pada sampel air netral, dan setelah 30 detik larutan sampel uji dimasukkan ke dalam air netral tersebut. Selanjutnya, grafik perubahan nilai TDS diamati secara berkala hingga detik ke-90. Prosedur ini diulangi untuk seluruh jenis

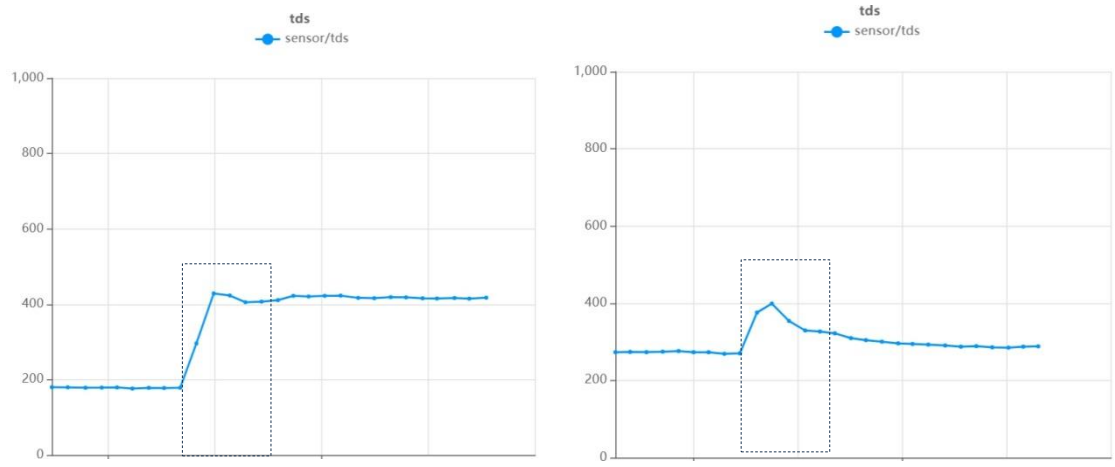
larutan sampel yang digunakan. Penelitian ini berfokus pada analisis perbedaan respons data sensor TDS terhadap masing-masing larutan sampel. Perbedaan respons tersebut diharapkan dapat menjadi karakteristik setiap sampel dalam memengaruhi kualitas air sebagaimana terukur oleh sensor TDS.

1. Analisis perbedaan sampel dengan suhu ruang dan sample dengan suhu tinggi

Analisis perbedaan respons sampel pada suhu ruang dan suhu tinggi dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian sampel pada kedua kondisi suhu tersebut. Tiga jenis larutan yang diuji meliputi larutan cuka, larutan garam, dan larutan sabun, dengan kondisi pengujian yang sama, yaitu waktu pengukuran dan kondisi alat yang seragam, meskipun konsentrasi larutan dapat berbeda. Berikut disajikan hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian masing-masing sampel tersebut:

a. Larutan cuka dalam suhu ruang dan tinggi

Hasil pengukuran nilai TDS pada sampel larutan cuka pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi ditampilkan pada Gambar 5.



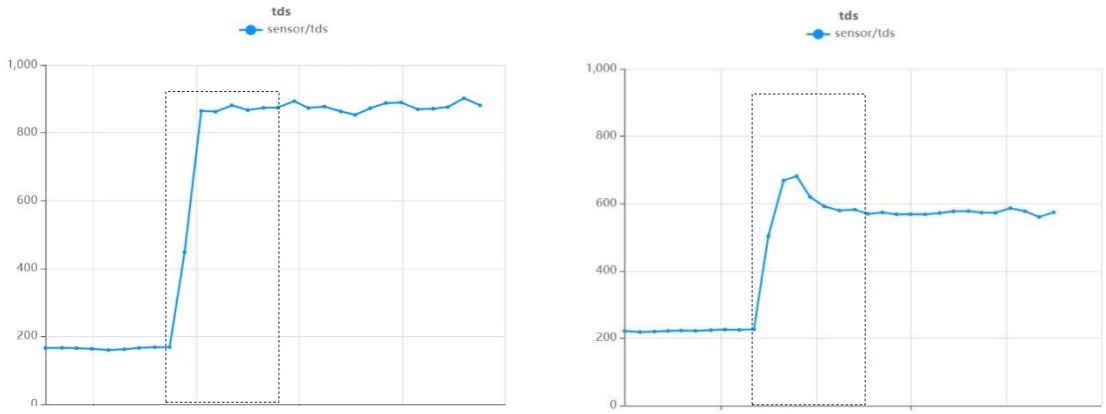
(a) Larutan cuka pada suhu ruang (b) Larutan cuka pada suhu tinggi

Gambar 5. *Hasil pengukuran larutan Cuka*

Berdasarkan Gambar 5, hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan pola grafik perubahan nilai TDS sejak awal terjadinya perubahan hingga mencapai titik kesetimbangan. Pada Gambar 5(a), grafik perubahan TDS cenderung bersifat hampir linier ketika mendekati titik kesetimbangan. Sebaliknya, pada Gambar 5(b), grafik menunjukkan kenaikan nilai TDS terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh penurunan hingga mencapai titik kesetimbangan, sehingga membentuk pola parabola terbuka ke bawah. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik pola grafik antara larutan cuka pada suhu ruang dan pada suhu tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada area yang diberi penanda pada Gambar 5.

b. Larutan garam dalam suhu ruang dan tinggi

Hasil pengukuran nilai TDS pada sampel larutan cuka pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi ditampilkan pada Gambar 6.



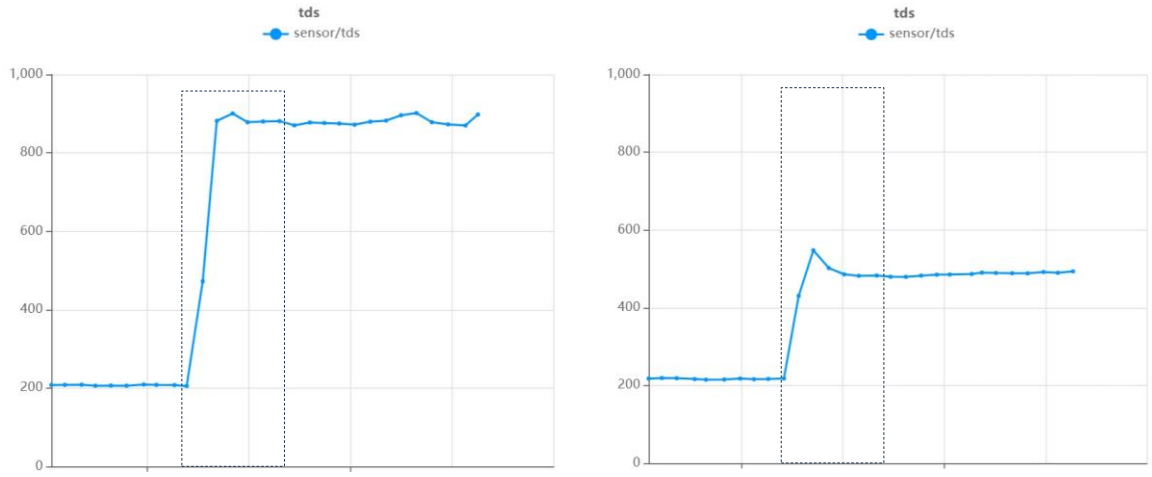
(a) Larutan garam pada suhu ruang (b) Larutan garam pada suhu tinggi

Gambar 6. *Hasil pengukuran larutan garam*

Berdasarkan Gambar 6, hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan pola grafik perubahan nilai TDS sejak awal terjadinya perubahan hingga mencapai titik kesetimbangan. Pada Gambar 6(a), grafik perubahan TDS cenderung bersifat hampir linier ketika mendekati titik kesetimbangan. Sebaliknya, pada Gambar 6(b), grafik menunjukkan kenaikan nilai TDS terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh penurunan hingga mencapai titik kesetimbangan, sehingga membentuk pola parabola terbuka ke bawah. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik pola grafik antara larutan cuka pada suhu ruang dan pada suhu tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada area yang diberi penanda pada Gambar 6.

c. Larutan sabun dalam suhu ruang dan tinggi

Hasil pengukuran nilai TDS pada sampel larutan cuka pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi ditampilkan pada Gambar 7.



(a) Larutan garam pada suhu ruang (b) Larutan garam pada suhu tinggi

Gambar 7. *Hasil pengukuran larutan sabun*

Berdasarkan Gambar 7, hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan pola grafik perubahan nilai TDS sejak awal terjadinya perubahan hingga mencapai titik kesetimbangan.

Pada Gambar 7(a), grafik perubahan TDS cenderung bersifat hampir linier ketika mendekati titik kesetimbangan. Sebaliknya, pada Gambar 7(b), grafik menunjukkan kenaikan nilai TDS terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh penurunan hingga mencapai titik kesetimbangan, sehingga membentuk pola parabola terbuka ke bawah. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik pola grafik antara larutan cuka pada suhu ruang dan pada suhu tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada area yang diberi penanda pada Gambar 7.

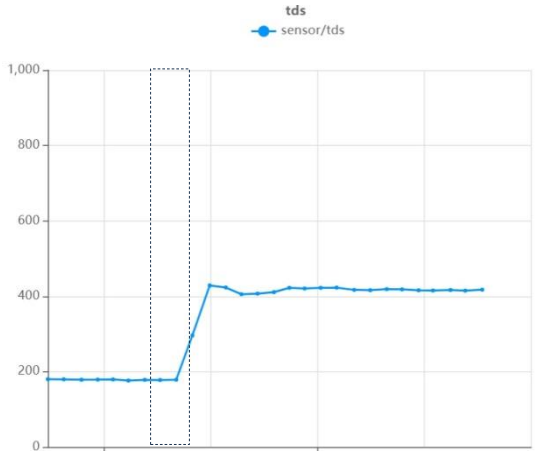
Hasil percobaan pada tiga jenis larutan uji pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi (Gambar 5, 6, dan 7) menunjukkan perbedaan respons yang sangat jelas. Pada kondisi suhu tinggi, seluruh sampel memperlihatkan pola grafik yang diawali dengan kenaikan nilai TDS, kemudian diikuti oleh penurunan hingga mencapai titik kesetimbangan, sehingga membentuk tren parabola terbuka ke bawah. Perbedaan tren grafik ini dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi bahwa salah satu penyebab peningkatan nilai TDS berasal dari kenaikan suhu. Peningkatan suhu umumnya menyebabkan kenaikan konduktivitas air, yang mengindikasikan potensi peningkatan nilai TDS (Irwan, 2016). Hal ini terjadi karena suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju penguapan sehingga konsentrasi zat terlarut menjadi lebih tinggi (Verma, 2025). Selain itu, suhu juga memengaruhi kelarutan mineral, di mana air dengan suhu lebih tinggi mampu melarutkan lebih banyak padatan terlarut, yang pada akhirnya meningkatkan nilai TDS (Nwanak, 2024).

2. Analisi perbedaan jenis sampel

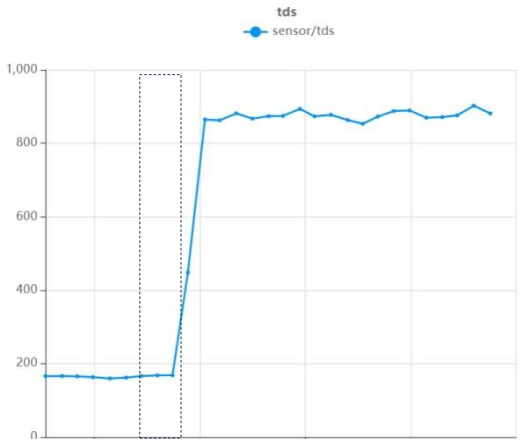
Analisis perbedaan jenis sampel dilakukan dengan membandingkan respons grafik perubahan nilai TDS. Tiga jenis larutan yang diuji meliputi larutan cuka, larutan garam, dan larutan sabun, dengan kondisi pengujian yang sama, yaitu waktu pengukuran, suhu, dan kondisi alat yang seragam, meskipun konsentrasi larutan dapat berbeda. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 8.

Analisis yang dilakukan berfokus pada respons sensor TDS saat terjadi peningkatan nilai TDS hingga mencapai titik kesetimbangan, sebagaimana ditunjukkan oleh area yang diberi penanda pada Gambar 8. Grafik pada Gambar 7(a), 7(b), dan 7(c) menunjukkan respons yang relatif seragam, yaitu membentuk pola yang mendekati garis lurus sejak awal terjadinya perubahan TDS hingga mencapai titik kesetimbangan. Pola respons yang serupa ini menunjukkan bahwa jenis larutan, baik asam (cuka), garam, maupun sabun, belum dapat diidentifikasi sebagai penyebab peningkatan nilai TDS hanya berdasarkan tren grafik kenaikan TDS. Tren grafik tersebut lebih merepresentasikan laju perubahan TDS, yang salah satu faktor penentunya adalah kecepatan pelarutan larutan sampel dalam air netral. Secara teoritis, garam sebagai senyawa ionik umumnya larut lebih cepat dibandingkan asam yang bersesuaian, karena ikatan ionik dalam garam lebih mudah terdisosiasi dalam larutan berair sehingga proses pelarutan berlangsung lebih cepat (Zöller, L., Avdeef, A., Karlsson, E., Borde, A., Carlert, S., Saal, C., & Dressman, 2023). Namun, hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang berbeda dari teori yang telah dikemukakan sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor-faktor lain yang kemungkinan berkontribusi terhadap hasil pengukuran yang diperoleh. Faktor-faktor tersebut dapat mencakup kondisi lingkungan selama pengujian, seperti stabilitas suhu, proses pencampuran larutan, serta homogenitas sampel. Selain itu, karakteristik sensor TDS, termasuk sensitivitas dan resolusinya terhadap jenis ion yang berbeda, juga berpotensi memengaruhi bentuk

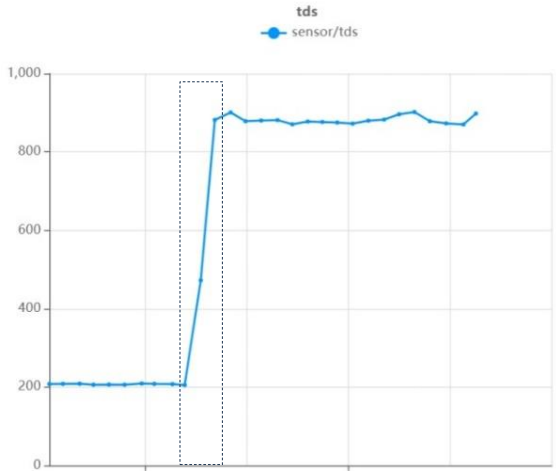
respons grafik yang dihasilkan. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor tersebut, analisis lanjutan menjadi penting untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap hasil pengukuran dalam penelitian ini



(a) Larutan cuka



(b) Larutan garam



(c) Larutan sabun

Gambar 8. *Hasil pengukuran beberapa jenis sample*

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, analisis grafik perubahan nilai Total Dissolved Solids (TDS) mampu mengidentifikasi faktor peningkatan TDS yang disebabkan oleh kenaikan suhu. Hal ini ditunjukkan oleh pola grafik pada kondisi suhu tinggi yang diawali dengan peningkatan nilai TDS, kemudian diikuti oleh penurunan hingga mencapai titik kesetimbangan, sehingga membentuk tren parabola terbuka ke bawah. Namun, dengan pendekatan analisis grafik yang sama, perbedaan jenis sampel, seperti larutan asam, garam, dan sabun, belum dapat diidentifikasi secara jelas sebagai penyebab peningkatan TDS. Keterbatasan ini mengindikasikan adanya faktor-faktor lain yang memengaruhi respons sensor TDS pada masing-masing sampel. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengkaji pengaruh faktor-faktor tersebut guna meningkatkan kemampuan identifikasi penyebab penurunan kualitas air berdasarkan data TDS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Program Studi Fisika.
2. Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana.
3. Teman sejawat dosen

DAFTAR PUSTAKA

Abazi, A. S., Gashi, B., Spahiu, M. H., Bytyçi, P., & Dreshaj, A. (2022). Analysis of the Impact of Ferronicel Industrial Activity on Drenica River Quality. *Journal of Ecological Engineering*, *23*(7), 312–322. https://doi.org/10.12911/22998993/150184

Arbiansyah, L., Bianto, M. A., & Ardiansyah, H. (2024). lean water recommendation system based on water quality with turbidity and tds (total dissolve solid) sensors based on internet of things (iot). *Indonesian Journal of Engineering Science and Technology*, *1*(2), 59–67. https://doi.org/https://doi.org/10.38040/ijenset.v1i2.1014

Begović, T., Čabarkapa, V., Ivković, M., & Popović, B. V. (2024). MQTT Protocol in Smart Home Environments: Principles of Operation and Application. *International Journal of Electrical Engineering and Computing*, *8*(2). https://doi.org/https://doi.org/10.7251/ijeec2402053b

Desnanjaya, I. G. M. N., Nugraha, I. M. A., & Ekayana, A. A. G. (2025). (2025). Improved design and accuracy of real-time water quality and filtering systems for application in iot-based aquaculture. *Jurnal Riset Akuakultur*, 27–47. https://doi.org/https://doi.org/10.15578/jra.20.1.2025.27-47

Fikri Ika Purnianto, Ulinnuha Latifa, D. B. S. (2020). Perancangan Sistem Instrumentasi Pada Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Hybrid Control Dengan Panel Surya. *Jurnal Ilmiah Setrum*, *8*(2), 260–273.

Hegazy, D., El-bastaweesy, M., Garamoon, H., Melegy, A., & Ali, M. (2018). *The Impacts Of Human And Agricultural Activities On The Groundwater Quality In Mostorod Abu Zabal Area , East Nile Delta , Egypt*. *29*(2).

Hou, A., Han, J., Du, H., Li, Y., & Hu, Y. (2023). Production Enterprise Operation Information Decision Analysis Based on Data Feature Analysis. *ICBBEM*. https://doi.org/10.4108/eai.19-5-2023.2334220

ica, A., Banescu, I. E., & Puchianu, D. C. (2022). Improving Water Quality Using an Intelligent Electrical Device. *Nternational Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, *2022*(14), 1–6. https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ecai54874.2022.9847440

Irwan, F. (2016). Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand*, *5*(1), 85–93.

Khadim, H. J., Obaed, F. K., & Rashid, H. M. (2022). Water Quality Detection using cost-effective sensors based on IoT. *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications (Online)*, *3*(1), 98–103. https://doi.org/https://doi.org/10.21608/svusrc.2022.135289.1047

Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, *10*(June). https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246

Liu, S., Qiu, Y., Fu, R., Liu, Y., & Suo, C. (2023). Identifying the water quality variation characteristics and their main driving factors from 2008 to 2020 in the Yellow River Basin, China. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(25), 66753–66766. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27142-7

Manjakkal, L., Mitra, S., Petillot, Y. R., Shutler, J., Scott, E. M., Willander, M., & Dahiya, R.

(2021). Connected Sensors, Innovative Sensor Deployment, and Intelligent Data Analysis for Online Water Quality Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(18), 13805–13824. https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3081772

Nwanak, S. (2024). Impact of Temperature on the Solubility of Ionic Compounds in Water in Cameroon. *Journal of Chemistry*, *3*(2), 42–51. https://doi.org/10.47672/jchem.2403

Putri, G. C., & Yushananta, P. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kekeruhan Dan Tds Berbasis Internet of Things. *Ikesma*, *18*(4), 210. https://doi.org/10.19184/ikesma.v18i4.30510

Roy, R. (2015). Degradation in Water Quality Due To Natural and Anthropogenic Contaminant. *Chemical and Process Engineering Research*, *35*, 112–118.

Sikder, A. K. et al. (2018). A Survey on Sensor-Based Threats to Internet-of-Things (IoT). *Devices and Applications.*

Utomo, E. B., & Izzaturrahmani, N. (2025). Temperature and Humidity Monitoring System Using Node-Red Based on MQTT Protocol. *Journal of Electrical Engineering and Computer*, *7*(1), 40–28. https://doi.org/https://doi.org/10.33650/jeecom.v7i1.10658

Verma, S. . (2025). Seasonal and Spatial Dynamics of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Sewage from Sironj, Vidisha, India (2024). (06), 1–9. *Indian Scientific Journal Of Research In Engineering And Management*, *09*(06), 1–9. https://doi.org/https://doi.org/10.55041/ijsrem51067

Zöller, L., Avdeef, A., Karlsson, E., Borde, A., Carlert, S., Saal, C., & Dressman, J. (2023). A comparison of USP 2 and µDISS ProfilerTM apparatus for studying dissolution phenomena of ibuprofen and its salts. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *106684*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106684