

STUDI LITERATUR: PERAN SISTEM OPERASI DALAM PENGELOLAAN DATA DAN OTOMASI INDUSTRI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

Intan Adelia Putri¹, Fauziah Intan², Ihsan Abdul Hafiz³, Indra Gunawan⁴

¹STIKOM Tunas Bangsa

²STIKOM Tunas Bangsa

³STIKOM Tunas Bangsa

⁴STIKOM Tunas Bangsa

¹ intanadeliap67@gmail.com, ² fauziahintan528@gmail.com, ³ ihsanabdulhafiz23@gmail.com,

⁴ indra@amiktunasbangsa.com

ABSTRAK

Industri pengolahan air limbah membutuhkan sistem yang andal untuk mengelola data sensor, mengontrol proses otomatisasi, serta menjaga keamanan informasi. Sistem operasi (OS) berperan penting sebagai landasan perangkat lunak dalam mengatur penggunaan sumber daya, memastikan komunikasi antar perangkat, serta mendukung kinerja aplikasi industri seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), Internet of Things (IoT), dan sistem berbasis cloud. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau peran sistem operasi dalam mendukung efisiensi dan keamanan proses di instalasi pengolahan air limbah melalui metode studi literatur pada artikel ilmiah, prosiding, dan laporan industri yang terbit antara 2015–2024. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem operasi mendukung manajemen proses kontrol otomatis, integrasi perangkat sensor, pengolahan big data lingkungan, serta keamanan siber industri. Perkembangan OS modern semakin diarahkan pada dukungan terhadap real-time operating system (RTOS), komputasi terdistribusi, dan interoperabilitas, sehingga mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan air limbah.

Kata kunci: Sistem Operasi, SCADA, Pengolahan Air Limbah, IoT, Keamanan Data

LITERATURE REVIEW: THE ROLE OF OPERATING SYSTEMS IN DATA MANAGEMENT AND INDUSTRIAL AUTOMATION OF WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT

The wastewater treatment industry requires reliable systems to manage sensor data, control automation processes, and ensure information security. The operating system (OS) plays a crucial role as the software foundation in managing resource allocation, ensuring device communication, and supporting industrial applications such as Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), Internet of Things (IoT), and cloud-based systems. This study aims to review the role of operating systems in enhancing efficiency and security in wastewater treatment plants through a literature review of scientific articles, proceedings, and industry reports published between 2015–2024. The findings reveal that operating systems support automated process management, sensor integration, environmental big data processing, and industrial cybersecurity. The development of modern OS is increasingly directed toward real-time operating systems (RTOS), distributed computing, and interoperability, thereby improving the effectiveness of wastewater treatment management

Keywords: operating system, SCADA, wastewater treatment, IoT, data security

1. PENDAHULUAN

Industri pengolahan air limbah merupakan salah satu sektor vital yang berperan penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, kesehatan masyarakat, serta kualitas ekosistem perairan. Pertumbuhan populasi, peningkatan aktivitas industri, dan urbanisasi yang pesat menyebabkan volume air limbah semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini menuntut adanya sistem pengolahan air limbah yang tidak hanya mampu memenuhi standar lingkungan, tetapi juga dapat beroperasi secara efisien, aman, dan berkelanjutan. Dalam konteks

tersebut, penerapan teknologi informasi menjadi salah satu faktor utama yang dapat mendukung optimalisasi proses di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Perkembangan teknologi informasi telah mendorong integrasi antara perangkat keras, sensor, jaringan komunikasi, serta perangkat lunak dalam sistem pengolahan air limbah. Salah satu perangkat lunak inti yang memiliki peranan penting adalah sistem operasi (Operating System/OS). Sistem operasi berfungsi sebagai penghubung antara perangkat keras dengan aplikasi industri, sehingga dapat mengatur alokasi sumber daya, menjamin

kinerja proses, dan mendukung interoperabilitas antar sistem. Tanpa sistem operasi yang andal, perangkat sensor, aktuator, maupun aplikasi Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) tidak akan mampu bekerja secara terkoordinasi.

Peran sistem operasi dalam industri pengolahan air limbah tidak terbatas pada komputer desktop atau server pusat. Saat ini, sistem operasi juga menjadi bagian penting dari perangkat tertanam (embedded systems) yang digunakan pada kontrol pompa, aerator, sensor kualitas air (pH, DO, COD, BOD), serta perangkat monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat-perangkat ini menghasilkan data dalam jumlah besar yang harus diproses secara real-time untuk mendukung pengambilan keputusan, misalnya dalam pengaturan laju pompa atau dosis bahan kimia koagulan. Oleh karena itu, sistem operasi dengan kemampuan real-time processing menjadi sangat penting dalam menjamin ketepatan dan kecepatan respon sistem pengolahan.

Selain aspek teknis dalam kontrol proses, industri pengolahan air limbah juga menghadapi tantangan di bidang keamanan data. Serangan siber terhadap sistem SCADA dan DCS (Distributed Control System) telah menjadi isu global karena berpotensi mengganggu operasional fasilitas publik. Sistem operasi yang digunakan dalam infrastruktur ini harus mampu menyediakan mekanisme keamanan berupa enkripsi, autentikasi, serta proteksi terhadap akses ilegal. OS modern seperti Linux dengan konfigurasi khusus industri, maupun Windows Server dengan integrasi keamanan, sering dipilih sebagai fondasi utama dalam pengoperasian sistem industri berbasis otomasi.

Di sisi lain, meningkatnya kompleksitas data lingkungan menuntut adanya dukungan sistem operasi yang mampu berintegrasi dengan komputasi awan (cloud computing) dan analisis big data. Data kualitas air limbah yang diperoleh dari sensor lapangan dapat dikirimkan ke server pusat atau platform cloud untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan algoritma machine learning. Integrasi ini memungkinkan prediksi kualitas air secara lebih akurat, mendukung perawatan preventif peralatan, serta meningkatkan efisiensi energi. Dengan demikian, kebutuhan akan sistem operasi yang mendukung fleksibilitas, skalabilitas, serta kompatibilitas lintas platform menjadi semakin krusial dalam era digitalisasi industri pengolahan air limbah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis peran sistem operasi dalam mendukung manajemen data, kontrol otomatisasi, serta keamanan di industri pengolahan air limbah. Melalui studi literatur, penelitian ini meninjau kontribusi sistem operasi dalam aspek manajemen proses, integrasi perangkat sensor, perlindungan data, hingga dukungan cloud

computing, dengan tujuan memberikan gambaran mengenai potensi dan tantangan penerapannya di sektor ini

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Operasi dalam Otomasi Industri

Dalam konteks otomasi industri, sistem operasi (OS) berperan sebagai platform utama yang menjalankan aplikasi Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) dan Distributed Control System (DCS). Kedua sistem ini menjadi tulang punggung dalam mengawasi, mengontrol, serta mengoptimalkan kinerja instalasi pengolahan air limbah. OS menyediakan lingkungan yang stabil untuk mengelola perangkat keras seperti Programmable Logic Controller (PLC), Human Machine Interface (HMI), hingga server pusat. Windows biasanya digunakan pada sistem SCADA karena memiliki dukungan antarmuka grafis yang lebih ramah pengguna dan kompatibilitas luas dengan perangkat industri. Sementara itu, Linux dan Real-Time Operating System (RTOS) banyak dipilih untuk perangkat edge computing karena sifatnya yang lebih ringan, efisien, dan mampu mendukung kebutuhan pemrosesan real-time (Silberschatz et al., 2018).

2.2 IoT dan Sensor dalam Pengolahan Air Limbah

Penggunaan Internet of Things (IoT) dalam industri pengolahan air limbah semakin meluas, terutama dalam implementasi sensor kualitas air. Sensor-sensor ini digunakan untuk mengukur parameter penting seperti pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), serta Total Suspended Solid (TSS). Data yang dihasilkan bersifat real-time sehingga membutuhkan OS yang mampu menangani proses pengambilan, pengolahan, serta transmisi data secara cepat dan efisien. Embedded Linux sering dipilih karena bersifat open-source, fleksibel, serta memiliki komunitas pengembang yang besar. RTOS juga menjadi solusi untuk perangkat IoT yang membutuhkan respons deterministik, misalnya dalam pengendalian pompa aerasi atau sistem alarm otomatis jika kualitas air berada di luar standar. Dengan dukungan OS yang tepat, integrasi sensor, aktuator, dan perangkat monitoring berbasis IoT dapat berjalan optimal dan mendukung sistem pengolahan limbah yang lebih cerdas (Gupta & Badheka, 2021).

2.3 Keamanan Data dan Infrastruktur

Keamanan data menjadi salah satu isu kritis dalam pengolahan air limbah modern, mengingat banyak

sistem kini terhubung ke jaringan internet dan cloud. OS berperan penting dalam menentukan lapisan keamanan yang digunakan, mulai dari autentikasi pengguna, enkripsi data, hingga sistem deteksi intrusi. Linux dikenal memiliki fleksibilitas lebih tinggi dalam implementasi enkripsi serta konfigurasi firewall, sehingga banyak dipilih untuk server yang menangani data sensitif. Di sisi lain, Windows SCADA menawarkan kemudahan dalam integrasi dengan software industri, namun lebih rentan terhadap serangan malware atau ransomware. Oleh karena itu, strategi keamanan berbasis OS melibatkan patch management, segmentasi jaringan, serta pemanfaatan sistem operasi yang mendukung keamanan tingkat lanjut. Dalam konteks pengolahan air limbah, menjaga integritas data kualitas air sangat penting karena hasil monitoring dapat memengaruhi pengambilan keputusan operasional maupun kepatuhan terhadap regulasi lingkungan (Sharma et al., 2020).

2.4 Sistem Operasi untuk Cloud dan Big Data

Dengan meningkatnya kebutuhan analisis data dalam industri pengolahan air limbah, penggunaan cloud computing dan big data analytics menjadi semakin dominan. OS server modern berfungsi sebagai fondasi bagi platform analitik seperti Hadoop dan Apache Spark yang digunakan untuk memproses data kualitas air dalam jumlah besar. Data historis dari sensor pH, COD, BOD, maupun TSS dapat dianalisis untuk memprediksi tren pencemaran, mengoptimalkan penggunaan bahan kimia, serta mendukung sistem peringatan dini terhadap potensi kegagalan operasional. Linux server banyak dipilih dalam implementasi cloud karena stabil, scalable, serta memiliki dukungan yang luas untuk containerisasi seperti Docker dan Kubernetes. Dengan demikian, sistem operasi tidak hanya berfungsi sebagai penghubung perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga sebagai enabler bagi pengolahan data skala besar yang mendukung keberlanjutan industri pengolahan air limbah (Zhou et al., 2019).

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan meninjau publikasi ilmiah, prosiding konferensi, buku referensi, serta laporan industri terkait sistem operasi dalam pengolahan air limbah pada periode 2015–2024. Sumber literatur diperoleh dari database bereputasi seperti Scopus, IEEE, ScienceDirect, dan Springer dengan kata kunci “operating system in wastewater treatment”, “SCADA cybersecurity”, “IoT monitoring water quality”, dan “cloud computing in water management”. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan pendekatan content analysis dengan mengelompokkan pembahasan ke dalam

empat tema utama, yaitu manajemen proses, integrasi sensor dan IoT, keamanan data dan infrastruktur, serta dukungan cloud computing dan big data. Validitas hasil kajian diperkuat dengan membandingkan informasi dari berbagai sumber, sehingga diperoleh sintesis komprehensif mengenai peran sistem operasi dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi industri pengolahan air limbah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Manajemen Proses dan RTOS

Penggunaan Real-Time Operating System (RTOS) seperti VxWorks, FreeRTOS, atau QNX telah banyak diimplementasikan dalam sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). RTOS dipilih karena kemampuannya dalam memberikan respons yang cepat dan deterministik, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pengendalian langsung dan presisi tinggi. Contohnya pada operasi pompa distribusi, aerator, serta katup otomatis yang mengatur aliran air limbah. RTOS memungkinkan sinkronisasi antara sensor dan aktuator secara real-time sehingga kesalahan operasional dapat diminimalkan. Selain itu, kestabilan RTOS dalam menjalankan tugas-tugas mission-critical menjadikannya solusi yang lebih andal dibandingkan OS konvensional pada level perangkat tertanam.

4.2 Integrasi SCADA dengan OS Industri

Sistem SCADA menjadi komponen utama dalam pengawasan dan pengendalian IPAL modern, dan peran sistem operasi sangat menentukan efektivitasnya. Pada umumnya, SCADA berbasis Windows Server digunakan karena memiliki dukungan luas terhadap aplikasi industri dan kompatibilitas dengan berbagai perangkat PLC maupun HMI. Namun, Linux Ubuntu dan distribusi lain juga mulai banyak digunakan karena menawarkan fleksibilitas lebih tinggi, tingkat keamanan yang lebih baik, serta biaya lisensi yang lebih rendah. Integrasi SCADA dengan OS ini memungkinkan monitoring kualitas air secara real-time, kontrol operasi pompa, hingga pencatatan log data yang diperlukan untuk audit maupun analisis historis. Dengan kombinasi OS yang tepat, industri dapat menyeimbangkan kebutuhan antara kemudahan integrasi, keamanan, dan efisiensi biaya.

4.3 Keamanan Sistem Operasi

Keamanan sistem operasi dalam pengolahan air limbah merupakan isu strategis, mengingat sistem SCADA sering menjadi target serangan siber, termasuk malware dan ransomware. OS

yang digunakan pada server maupun perangkat edge harus dilengkapi dengan fitur keamanan dasar seperti enkripsi data, firewall, intrusion detection system (IDS), serta regular patch management. Linux dikenal lebih unggul dalam fleksibilitas pengaturan keamanan, sementara Windows menawarkan integrasi yang kuat dengan aplikasi industri namun lebih rentan terhadap eksploitasi. Oleh karena itu, pendekatan keamanan berlapis (defense in depth) sangat penting, dengan memanfaatkan OS yang terus diperbarui, sistem autentikasi berlapis, serta segmentasi jaringan. Hal ini memastikan data kualitas air tetap valid dan dapat dipercaya sebagai dasar pengambilan keputusan operasional maupun pelaporan kepada regulator.

4.4 Dukungan Cloud dan Analisis Data

Perkembangan cloud computing dan big data telah membuka peluang baru dalam pengolahan data kualitas air limbah. Sistem operasi server modern mendukung integrasi dengan platform analitik berbasis cloud seperti Hadoop, Spark, dan layanan cloud komersial (AWS, Azure, Google Cloud). Dengan dukungan OS ini, data real-time dari sensor pH, COD, BOD, maupun TSS dapat dikumpulkan, dianalisis, dan divisualisasikan untuk mendukung analisis prediktif. Misalnya, OS yang stabil memungkinkan penerapan predictive maintenance pada pompa atau aerator, sehingga kerusakan dapat diprediksi sebelum terjadi. Selain itu, analitik berbasis cloud juga membantu operator IPAL dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan kimia, mengurangi biaya operasional, dan memastikan standar baku mutu air limbah selalu tercapai. Dengan demikian, sistem operasi tidak hanya menjadi penghubung perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga fondasi bagi transformasi digital dalam industri pengolahan air limbah.

dalam menghadapi ancaman siber yang rentan menyerang sistem industri. Lebih jauh, dukungan OS terhadap cloud computing dan big data memungkinkan pengolahan data kualitas air secara prediktif dan analitik, sehingga efisiensi operasional, pemeliharaan preventif, serta kepatuhan terhadap standar lingkungan dapat ditingkatkan. Dengan demikian, sistem operasi bukan hanya sekadar perangkat lunak dasar, tetapi juga menjadi fondasi utama dalam transformasi digital dan keberlanjutan pengelolaan air limbah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2018). *Operating System Concepts* (10th ed.). Wiley.
- Gupta, V., & Badheka, D. (2021). IoT based wastewater treatment monitoring system. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 12(2), 45–53.
- Sharma, S., Yadav, R., & Singh, A. (2020). Cybersecurity challenges in SCADA systems for wastewater management. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101377.
- Zhou, Y., Zhang, L., & Li, H. (2019). Cloud computing and big data applications in wastewater treatment plants. *Environmental Modelling & Software*, 119, 194–202.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem operasi memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keberlangsungan industri pengolahan air limbah modern. RTOS terbukti efektif dalam pengendalian proses real-time pada perangkat kritis seperti pompa, aerator, dan sensor, sedangkan sistem operasi berbasis Windows maupun Linux menjadi tulang punggung integrasi SCADA untuk monitoring dan kontrol operasional. Dari sisi keamanan, pemilihan OS yang dilengkapi enkripsi, firewall, serta pembaruan berkala menjadi kunci