

IMPLEMENTASI DIGITAL TWIN UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA OPERASIONAL MESIN CHILLER

Aditya Alfarezy Damanik¹, Ade Andri Hendriadi², Taufik Ridwan³

^{1,2,3}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

2210631250037@student.unsika.ac.id¹, hendriadi@cs.unsika.ac.id², taufik.ridwan@cs.unsika.ac.id³

Abstrak

Perkembangan sistem industri modern menuntut pemantauan operasional yang akurat dan real-time untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penerapan digital *twin* yang mengintegrasikan sistem fisik dengan model virtual. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem digital *twin* pada mesin *chiller* untuk memantau kondisi operasional serta mendukung analisis efisiensi energi. Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur berbasis *web* yang menghubungkan mesin *chiller* dengan platform *monitoring* melalui mekanisme komunikasi data sehingga parameter operasional dapat dikirim, diproses, dan ditampilkan secara real-time pada *dashboard* serta divisualisasikan melalui model tiga dimensi. Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *black-box testing* untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai kebutuhan pengguna. Analisis efisiensi energi dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata coefficient of performance (COP) berdasarkan data operasional dari sistem *monitoring*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem digital *twin* mampu menyediakan *monitoring* operasional secara real-time. Analisis terhadap 24 titik waktu pengamatan menunjukkan bahwa 15 jam (62,5%) mengalami peningkatan nilai COP, sedangkan 9 jam lainnya mengalami penurunan. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi energi pada sebagian besar periode operasional setelah penerapan sistem digital *twin*.

Kata Kunci : Digital *Twin*, *Chiller*, Efisiensi Energi, Perangkat Lunak, *Coefficient of Performance*

Abstract

The development of modern industrial systems requires accurate and real-time operational monitoring to improve system efficiency and reliability. One approach that can be applied is the implementation of a digital twin, which enables the integration between a physical system and its virtual model. This study aims to develop a digital twin system for a chiller machine to monitor operational conditions and support energy efficiency analysis. The system was developed using a web-based architecture that connects the chiller machine to a monitoring platform through a data communication mechanism, allowing operational parameters to be transmitted, processed, and displayed in real time on a dashboard and visualized through a three-dimensional model. System testing was conducted using the black-box testing method to ensure that all system functions operate according to user requirements. In addition, energy efficiency analysis was performed by calculating the average coefficient of performance (COP) based on operational data obtained from the monitoring system. The results show that the digital twin system is capable of providing real-time operational monitoring, and the analysis of operational data indicates that out of 24 observation time points, 15 hours (62.5%) showed an increase in COP values while the remaining 9 hours experienced a decrease. The increase in COP values indicates an improvement in energy efficiency during most operational periods after the implementation of the digital twin system.

Keyword: Digital *Twin*, *Chiller*, Energy Efficiency, Software, *Coefficient of Performance*.

PENDAHULUAN

Dalam era bisnis modern, data telah berkembang menjadi salah satu aset penting bagi organisasi karena mampu memberikan wawasan yang mendukung peningkatan kinerja dan pengambilan keputusan strategis. Data tidak lagi dipandang sekadar kumpulan fakta, melainkan sebagai sumber daya yang dapat memberikan nilai tambah melalui proses analisis yang tepat [1]. Dengan tersedianya data historis dalam jumlah besar, organisasi dapat mengidentifikasi pola dan tren sehingga mendukung pendekatan *data-driven decision making* dalam menghasilkan keputusan yang lebih akurat dan berbasis bukti [2]. Dalam sektor industri manufaktur, perkembangan teknologi informasi serta integrasi sistem otomatisasi dan *internet of things* (IoT) turut

meningkatkan volume dan kompleksitas data operasional yang dihasilkan dari berbagai perangkat produksi [3]. Data yang diperoleh melalui proses akuisisi dari sensor dan sistem produksi tersebut dapat dimanfaatkan untuk memantau kinerja sistem, mendukung pemeliharaan prediktif, serta meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas produksi [4].

PT Kalbe Morinaga Indonesia merupakan perusahaan manufaktur di bidang pengolahan pangan yang memanfaatkan berbagai sistem otomatisasi dalam proses produksinya. Salah satu sistem penting dalam operasional produksi adalah sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yang bergantung pada kinerja mesin *chiller* sebagai sumber pendingin utama. Namun, mesin *chiller* diketahui mengonsumsi energi listrik dalam jumlah besar sehingga efisiensi operasionalnya menjadi faktor penting dalam pengelolaan energi perusahaan [5]. Optimalisasi kinerja *chiller* dapat dilakukan dengan menentukan titik operasi yang efisien pada parameter sistem pendingin [6].

PT Kalbe Morinaga Indonesia telah memasang sensor pada mesin *chiller* sebagai langkah awal akuisisi data. Namun, integrasi data tersebut dengan sistem teknologi informasi untuk penyimpanan dan pemantauan data historis belum tersedia. Kondisi ini menyebabkan proses pemantauan masih dilakukan secara manual di lapangan dan menyulitkan staf operasional dalam melakukan analisis performa mesin, mengidentifikasi tren penurunan efisiensi, serta mendeteksi potensi gangguan secara dini. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya suatu sistem yang mampu mengakuisisi, menyimpan, dan memvisualisasikan data operasional *chiller* secara terintegrasi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, konsep digital *twin* diterapkan sebagai representasi virtual dari sistem fisik yang diperbarui secara berkelanjutan melalui pertukaran data antara sistem nyata dan model digitalnya [7]. Melalui pendekatan ini, kondisi operasional mesin dapat di-*monitor* sekaligus dianalisis berdasarkan data historis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem berbasis digital *twin* untuk mendukung proses akuisisi, pengolahan, serta visualisasi data mesin *chiller* guna meningkatkan efisiensi energi.

Terdapat beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Peneliti mengambil beberapa penelitian yang berkaitan dengan penerapan teknologi digital twin. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Li et al. (2022) yang mengusulkan foundation model sebagai kerangka konseptual untuk membangun digital *twin* pada sistem *chiller* HVAC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah implementasi digital twin, sekitar 90% dari 94 titik data operasional mengalami peningkatan nilai COP yang menunjukkan adanya peningkatan efisiensi energi [8]. Penelitian lainnya dilakukan oleh Salzano et al. (2025) yang mengimplementasikan teknologi digital twin dan Internet of Things (IoT) pada sistem HVAC di sekolah Papa Giovanni XXIII di Nichelino, Italia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi digital twin mampu menurunkan konsumsi energi sebesar 15% serta meningkatkan keandalan sistem HVAC sebesar 20% [9].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian mengadopsi metode *Rapid Application Development* (RAD). Metode RAD dipilih karena mampu mempercepat proses pengembangan dengan menekankan pada iterasi cepat, keterlibatan pengguna secara langsung, dan fleksibel [10]. Pemilihan metode ini sejalan dengan pola aktivitas pengembangan sistem yang melakukan proses evaluasi dan peninjauan secara rutin. Rancangan penelitian ditampilkan pada Gambar 1



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Pada Gambar 1 ditunjukkan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dengan mengacu pada metode Software Development Life Cycle (SDLC) model Rapid Application Development (RAD), yang terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu:

1. **Perencanaan Persyaratan (*Requirement Planning*)**
Tahap ini berfokus pada pengumpulan dan analisis kebutuhan sistem melalui observasi, wawancara, serta studi literatur terkait operasional mesin chiller dan sistem yang berjalan. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sehingga dapat ditentukan fitur yang diperlukan agar sistem yang dikembangkan mampu menjawab permasalahan secara efektif.
2. **Workshop Desain RAD (*RAD Design Workshop*)**
Tahap ini mencakup perancangan sistem dan pengembangan prototipe. Perancangan dilakukan dengan melibatkan pengguna untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan operasional, melalui pemodelan sistem seperti use case diagram, activity diagram, sequence diagram, class diagram, serta perancangan struktur basis data. Selanjutnya, prototipe dikembangkan menjadi sistem fungsional berbasis web menggunakan bahasa pemrograman Go dan JavaScript. Proses ini dilakukan secara iteratif dengan dua siklus revisi berdasarkan umpan balik pengguna guna meningkatkan kualitas sistem dan memastikan kesesuaian fitur sebelum implementasi.
3. **Implementasi (*Implementation*)**

Pada tahap ini, sistem digital twin yang telah dikembangkan diimplementasikan pada server internal PT Kalbe Morinaga Indonesia yang menggunakan Ubuntu Server 22.04. Sebelum digunakan secara operasional, sistem diuji menggunakan metode black-box testing untuk memastikan setiap fungsi bekerja sesuai dengan kebutuhan pengguna. Proses pengujian juga didukung oleh automation testing menggunakan Playwright dan TestRail untuk meningkatkan konsistensi serta efisiensi pengujian, sekaligus mengidentifikasi potensi bug atau ketidaksesuaian fungsi sebelum sistem digunakan secara penuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

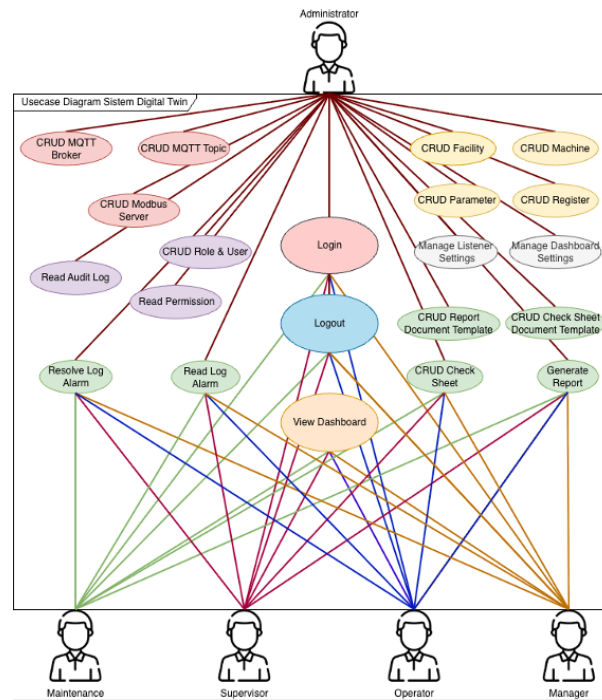
Implementasi Digital Twin

Sistem digital twin yang dikembangkan pada penelitian ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi operasional mesin chiller secara virtual melalui integrasi antara sistem fisik dan sistem digital. Implementasi dilakukan dengan membangun sebuah platform monitoring berbasis web yang mampu menampilkan parameter operasional mesin secara real-time serta memvisualisasikan kondisi sistem melalui model tiga dimensi. Arsitektur sistem digital twin terdiri dari beberapa komponen utama yaitu mesin chiller sebagai sistem fisik, modul komunikasi data, server aplikasi, basis data, serta antarmuka pengguna berbasis web.



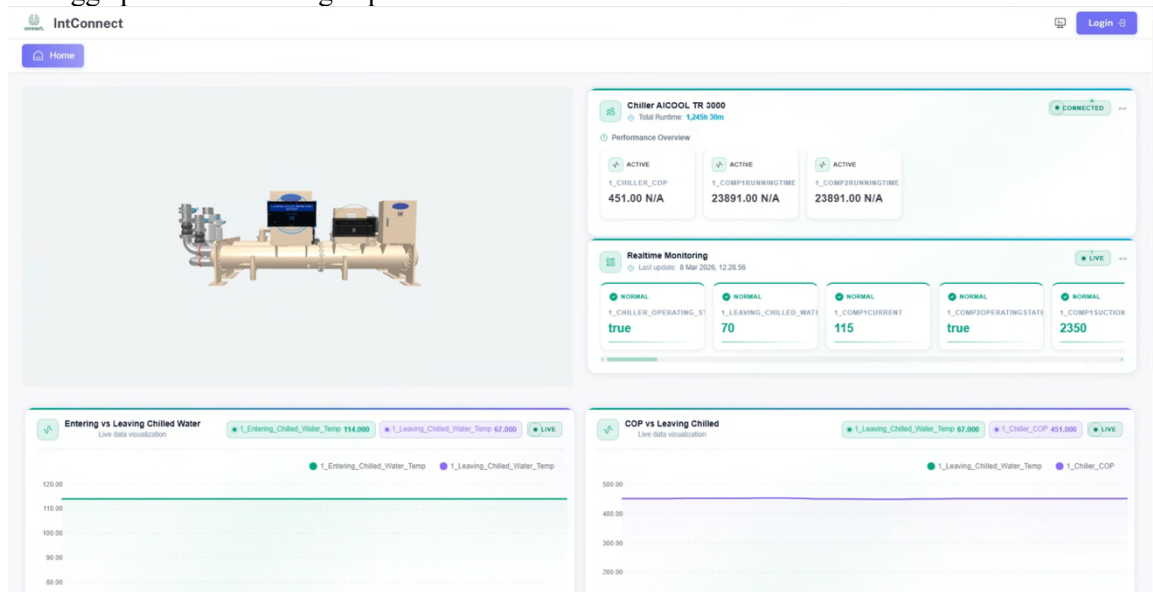
Gambar 2. Arsitektur Sistem Digital Twin

Mesin chiller menghasilkan berbagai parameter operasional seperti temperatur, tekanan, dan konsumsi energi yang dikirimkan ke server melalui mekanisme komunikasi data. Server kemudian menerima, memproses, dan menyimpan data tersebut ke dalam basis data sebelum ditampilkan pada dashboard sistem. Selain itu, sistem dilengkapi dengan visualisasi tiga dimensi yang berfungsi sebagai representasi virtual dari mesin chiller. Integrasi antara sistem fisik dan model virtual ini merupakan penerapan konsep digital twin yang memungkinkan sinkronisasi antara data operasional nyata dan representasi digital sistem. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi mesin secara lebih efektif tanpa harus melakukan pengamatan langsung pada sistem fisik. Selain arsitektur sistem, pemodelan interaksi antara pengguna dan sistem juga dilakukan untuk menggambarkan fungsi-fungsi utama yang tersedia pada platform digital twin. Pemodelan ini direpresentasikan menggunakan usecase diagram yang menggambarkan hubungan antara aktor dan sistem. Usecase diagram digunakan untuk memvisualisasikan berbagai fungsi yang dapat diakses oleh pengguna serta bagaimana pengguna berinteraksi dengan sistem digital twin. Dalam sistem yang dikembangkan, aktor utama yang terlibat adalah operator atau pengguna sistem yang bertugas melakukan pemantauan kondisi mesin chiller melalui dashboard monitoring. Melalui sistem ini, pengguna dapat melakukan beberapa aktivitas utama seperti memantau parameter operasional mesin secara real-time, melihat data historis operasional sistem, serta melakukan pengaturan parameter tertentu pada sistem.



Gambar 3. Usecase Diagram

Dashboard sistem dirancang untuk menampilkan berbagai parameter operasional mesin chiller secara terpusat. Informasi yang ditampilkan meliputi status sistem, parameter temperatur, tekanan, serta konsumsi energi. Antarmuka dashboard dirancang agar mudah dipahami oleh pengguna sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara efisien.



Gambar 4. Dashboard Sistem Digital Twin

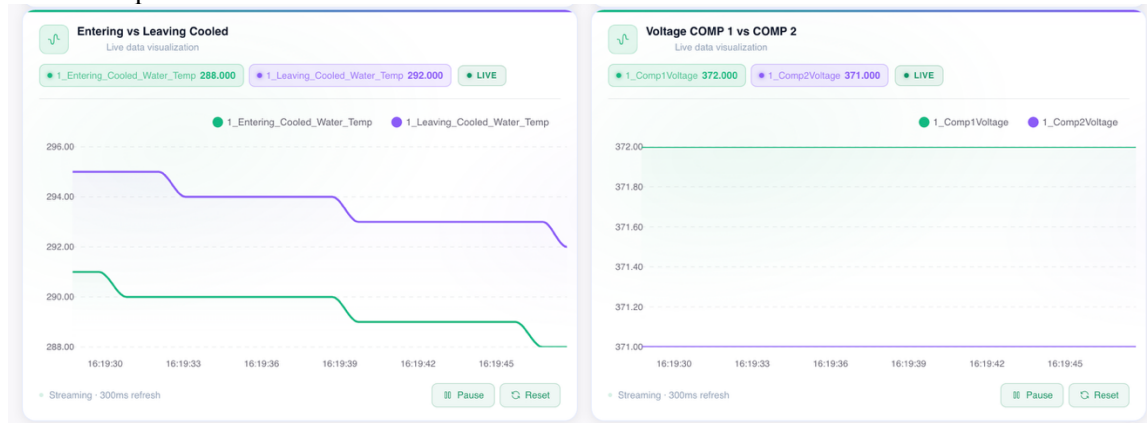
Fitur Utama Sistem

Sistem digital twin yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki beberapa fitur utama yang mendukung proses monitoring dan analisis performa mesin chiller. Fitur-fitur tersebut dirancang untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam memantau kondisi operasional serta menyediakan data yang dapat digunakan untuk evaluasi performa energi.

1. Monitoring Real-Time

Fitur monitoring real-time memungkinkan sistem untuk menampilkan kondisi operasional mesin *chiller* secara langsung berdasarkan data yang diperoleh dari sistem fisik. Data operasional yang

dikirimkan dari mesin akan diproses oleh server dan kemudian ditampilkan pada dashboard dalam bentuk indikator maupun grafik. Monitoring *real-time* sangat penting dalam sistem digital *twin* karena memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi sistem secara langsung tanpa harus berada di lokasi mesin. Informasi seperti temperatur, tekanan, serta status operasional mesin dapat dipantau secara kontinu melalui dashboard sistem. Dengan adanya fitur ini, operator dapat dengan cepat mendeteksi perubahan kondisi operasional yang tidak normal sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan. Hal ini berpotensi meningkatkan keandalan sistem serta mengurangi risiko kerusakan pada mesin.



Gambar 5. Real-Time Chart

2. Penyimpanan Data Historis

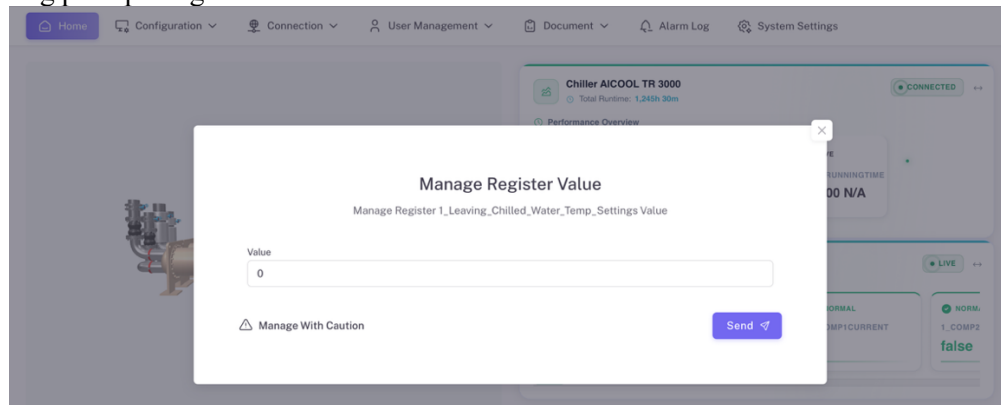
Sistem dilengkapi dengan fitur penyimpanan data historis. Data operasional yang diterima oleh server akan disimpan dalam basis data sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Data historis ini memungkinkan pengguna untuk melakukan evaluasi performa mesin chiller dalam jangka waktu tertentu. Melalui data tersebut, pengguna dapat mengidentifikasi tren operasional sistem serta menganalisis perubahan performa mesin dari waktu ke waktu. Penyimpanan data historis juga menjadi komponen penting dalam analisis efisiensi energi yang dilakukan pada penelitian ini. Dengan tersedianya data operasional yang tersimpan secara sistematis, proses analisis performa energi dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Q	id integer	parameter_id bigint	value double precision	timestamp	id integer
>	7714050	4	271	2026-01-13 19:21	4
>	7714049	24	68	2026-01-13 19:21	24
>	7714048	20	376	2026-01-13 19:21	20
>	7714047	15	646236	2026-01-13 19:21	15
>	7714046	16	378	2026-01-13 19:21	16
>	7714045	11	6962	2026-01-13 19:21	11
>	7714044	23	0	2026-01-13 19:21	23
>	7714043	2	296	2026-01-13 19:21	2
>	7714042	6	303	2026-01-13 19:21	6
>	7714041	13	23065	2026-01-13 19:21	13
>	7714040	19	0	2026-01-13 19:21	19
>	7714039	17	23046	2026-01-13 19:21	17

Gambar 6. Data Performa Historis Pada Database

3. Pengaturan Parameter Sistem

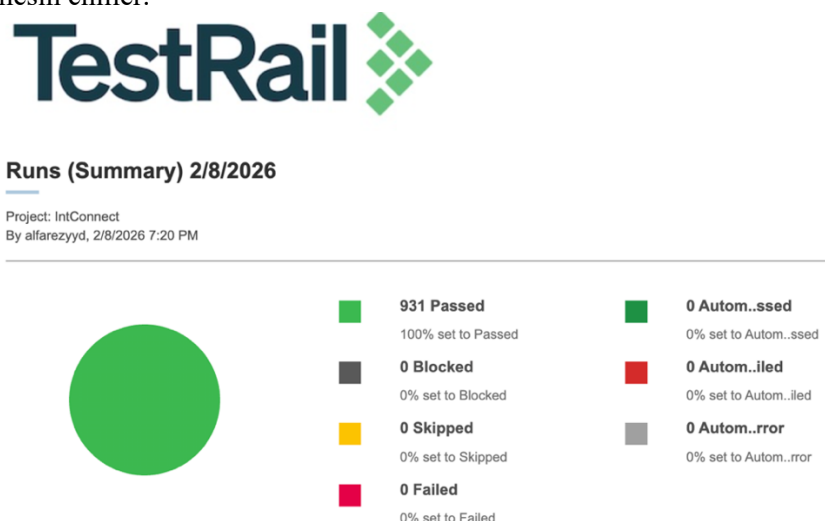
Sistem digital *twin* yang dikembangkan juga menyediakan fitur pengaturan parameter yang memungkinkan pengguna untuk melakukan perubahan nilai parameter tertentu pada sistem. Fitur ini memberikan fleksibilitas bagi pengguna dalam melakukan konfigurasi sistem sesuai dengan kebutuhan operasional. Perubahan parameter dilakukan melalui antarmuka sistem yang terhubung dengan register pada sistem kontrol. Ketika pengguna mengubah nilai parameter melalui dashboard, sistem akan mengirimkan perintah ke server untuk memproses perubahan tersebut. Fitur ini tidak hanya meningkatkan fleksibilitas sistem tetapi juga mempermudah proses pengelolaan operasional mesin. Dengan adanya kemampuan pengaturan parameter secara digital, pengguna dapat melakukan penyesuaian sistem tanpa harus melakukan konfigurasi langsung pada perangkat fisik.



Gambar 7. Dialog Perubahan Nilai Parameter

Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi yang terdapat pada sistem digital twin dapat berjalan dengan baik sesuai dengan kebutuhan pengguna. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode black-box testing yang berfokus pada pengujian fungsi sistem tanpa melihat struktur internal kode program. Pada metode ini, pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai skenario input pada sistem dan kemudian mengevaluasi apakah output yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Setiap fitur utama sistem diuji secara terpisah untuk memastikan bahwa seluruh fungsi dapat berjalan dengan baik.. Penelitian ini memanfaatkan tools pengujian otomatis untuk meningkatkan efisiensi proses testing. Pengujian otomatis memungkinkan proses verifikasi sistem dilakukan secara lebih sistematis dan terstruktur sehingga potensi kesalahan dapat diminimalkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem digital twin yang dikembangkan dapat digunakan sebagai platform monitoring dan analisis operasional mesin chiller.



Gambar 8. Ringkasan Hasil Pengujian

Analisis Efisiensi Energi Chiller

Analisis efisiensi energi pada penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kinerja mesin chiller menggunakan indikator *Coefficient of Performance* (COP). Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata COP per jam pada dua kondisi operasional, yaitu kondisi baseline tanpa intervensi sistem Digital Twin dan kondisi setelah penerapan digital twin yang memberikan insight terkait setpoint operasi yang lebih optimal. Pengamatan dilakukan selama dua hari, yaitu pada tanggal 6 dan 7 Februari 2026, dengan menggunakan data operasional yang diperoleh dari sistem monitoring. Rata-rata nilai *Coefficient of Performance* per jam pada kedua kondisi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Rata-Rata COP

Jam	Nilai Rata-Rata COP		Kondisi
	6 Feburari	7 Februari	
1.00	4.6315	5.4072	Peningkatan
2.00	4.4612	5.6282	Peningkatan
3.00	4.5343	5.6365	Peningkatan
4.00	4.2063	5.6162	Peningkatan
5.00	5.3293	5.1033	Penurunan
6.00	4.1082	4.9092	Peningkatan
7.00	4.0302	4.3618	Peningkatan
8.00	5.6043	4.4385	Penurunan
9.00	5.5995	4.441	Penurunan
10.00	5.0802	4.3665	Penurunan
11.00	4.7813	4.3372	Penurunan
12.00	4.9595	4.5275	Penurunan
13.00	4.9337	4.4467	Penurunan
14.00	5.0125	4.9873	Penurunan
15.00	4.1592	5.5952	Peningkatan
16.00	3.6467	5.5673	Peningkatan
17.00	4.5065	5.6058	Peningkatan
18.00	4.5633	5.6465	Peningkatan
19.00	4.5583	5.5262	Peningkatan
20.00	4.5043	5.5445	Peningkatan
21.00	4.0617	5.5703	Peningkatan
22.00	2.8418	5.5998	Peningkatan
23.00	4.8102	5.6982	Peningkatan

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap 24 titik waktu operasional, diperoleh peningkatan nilai COP pada 15 jam pengamatan atau sekitar 62,5%, sedangkan 9 jam lainnya menunjukkan penurunan nilai COP. Meskipun pada beberapa periode perbedaan nilai COP relatif kecil, hasil ini menunjukkan bahwa penerapan digital twin berpotensi meningkatkan efisiensi operasional mesin chiller melalui penyediaan insight berbasis data terhadap kondisi operasi sistem. Dengan adanya informasi tersebut, operator dapat melakukan penyesuaian parameter operasional yang lebih optimal sehingga kinerja energi sistem dapat ditingkatkan.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem berbasis digital *twin* untuk memantau kondisi operasional mesin *chiller* secara *real-time* melalui platform *monitoring* berbasis *web*. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan data dari sistem fisik dengan dashboard monitoring serta visualisasi model tiga dimensi sehingga pengguna dapat memantau parameter operasional secara lebih mudah dan intuitif. Hasil pengujian menggunakan metode black-box menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem, seperti monitoring real-time, penyimpanan data historis, dan pengaturan parameter, dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem. Selain itu, sistem digital twin juga memungkinkan analisis efisiensi energi dengan menghitung nilai *Coefficient of Performance* (COP) berdasarkan data operasional yang diperoleh dari sistem monitoring. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan digital twin pada sistem chiller dapat mendukung proses pemantauan operasional serta membantu evaluasi performa energi secara lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Irazza and M. Irwan Padli Nasution, "Meningkatkan Daya Saing Bisnis: Peran Data Dalam Pengambilan Keputusan," *Jurnal Sains Student Research*, vol. 1, no. 2, pp. 888–894, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.61722/jssr.v1i2.329>.
- [2] O. Sarioguz and E. Miser, "Data-Driven Decision-making: Transforming Management In The Information Age," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 6, no. 2, pp. 1642–1652, Feb. 2024, doi: 10.56726/irjmets49577.
- [3] G. Meinal, S. B. Ginting, and A. Hasibuan, "ANALISIS BIG DATA INFORMASI DALAM PROSES MANUFAKTUR INDUSTRI 4.0", [Online]. Available: <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- [4] B. Szűcs, "Data Integration Framework to Collect Data from OT/IT Systems," *Acta Technica Jaurinensis*, vol. 16, no. 2, pp. 34–41, May 2023, doi: 10.14513/actatechjaur.00689.
- [5] E. C. Nisa, Y. Der Kuan, and C. C. Lai, "Chiller optimization using data mining based on prediction model, clustering and association rule mining," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 20, Oct. 2021, doi: 10.3390/en14206494.
- [6] N. Trautman, A. Razban, and J. Chen, "Overall chilled water system energy consumption modeling and optimization," *Appl. Energy*, vol. 299, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117166.
- [7] E. VanDerHorn and S. Mahadevan, "Digital Twin: Generalization, characterization and implementation," *Decis. Support Syst.*, vol. 145, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.dss.2021.113524.
- [8] S. Li, Q. Yang, J. Xing, W. Chen, and R. Zou, "A Foundation Model for Building Digital Twins: A Case Study of a Chiller," *Buildings*, vol. 12, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.3390/buildings12081079.
- [9] A. Salzano, S. Cascone, E. P. Zitiello, and M. Nicoletta, "HVAC System Performance in Educational Facilities: A Case Study on the Integration of Digital Twin Technology and IoT Sensors for Predictive Maintenance," *Journal of Architectural Engineering*, vol. 31, no. 1, Mar. 2025, doi: 10.1061/jaeied.aeeng-1855.
- [10] S. Makmun, "Efektivitas Metodologi Rapid Application Development (RAD) Dalam Pengembangan Sistem Informasi Manajemen (SIM) Untuk Lembaga Pendidikan," *Al-Jawwad: Jurnal Keislaman dan Pendidikan*, vol. 1, pp. 1–17, 2025.