

Perancangan Sistem Gudang Cerdas untuk Pemantauan Lingkungan Gudang Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Adi Firmansyah¹, Suzuki Syofian^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada

^{1,2} Jl Taman Malaka Selatan No 8, Jakarta Timur 13450, Indonesia

*suzukiunsada@gmail.com

Abstrak — Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan sistem *Smart Warehouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memonitor dan mengontrol lingkungan gudang secara otomatis menggunakan modul ESP8266 untuk integrasi sensor, aktuator, dan aplikasi berbasis *web* yang memungkinkan pemantauan real-time serta kontrol otomatis. Sensor yang digunakan meliputi suhu dan kelembaban (DHT21), intensitas cahaya (BH1750), gas CO (MQ135), PIR, dan sensor api (KY-026), dengan otomatisasi kipas angin, exhaust fan, dan pencahayaan berdasarkan deteksi gas CO, keberadaan orang, serta intensitas cahaya. Sensor api mendeteksi potensi kebakaran, mengaktifkan alarm secara cepat, dan meningkatkan keamanan gudang melalui pemantauan yang dapat diakses pengguna dari dasbor berbasis *web* yang memudahkan pengambilan keputusan operasional. Hasil pengujian menunjukkan sistem ini mampu memberikan pemantauan akurat dan respons otomatis efisien dengan tingkat kepuasan pengguna yang tinggi dalam efektivitas serta kemudahan pemantauan lingkungan gudang.

Kata kunci : *Internet of Things* (IoT), Pemantauan *real-time*, Gudang Cerdas

Copyright © 2024 JURNAL TIFDA

All rights reserved.

I. PENDAHULUAN

Gudang memegang peranan penting dalam rantai logistik, terutama dalam proses pengiriman last-mile yang melibatkan pengiriman barang ke rumah pelanggan di wilayah perkotaan [1], [2]. Sebagai penyedia layanan pengiriman terkemuka, Shopee Express mengoperasikan gudang last-mile yang digunakan untuk penyimpanan sementara barang sebelum pengiriman akhir ke pelanggan, seperti Shopee Express Last Mile Hub Kebon Jeruk. Meskipun memiliki peran penting dalam menjaga kelancaran operasional, gudang-gudang ini menghadapi beberapa tantangan yang perlu ditangani secara efektif.

Salah satu kendala utama adalah penggunaan peralatan elektronik seperti lampu dan kipas angin yang sering kali dibiarkan menyala terus menerus, padahal tidak diperlukan. Kebiasaan ini tidak hanya menyebabkan pemborosan energi, tetapi juga meningkatkan risiko kebakaran akibat kelebihan beban listrik atau kerusakan peralatan. Penyebab utama kebakaran adalah hubungan arus pendek listrik pada instalasi yang tidak memenuhi standar atau sudah tua, serta pemasangan dan perawatan peralatan listrik yang tidak tepat [3].

Selain itu, kurangnya pemantauan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara juga menjadi perhatian penting. Gudang yang berlokasi berdekatan dengan industri lain sering kali terpapar polusi yang dapat menyusup ke area gudang, kualitas udara dalam ruangan sangat penting bagi kesehatan manusia karena polusi udara dalam ruangan memiliki dampak yang lebih berbahaya daripada polusi udara luar ruangan [4]. Hal ini dapat berdampak buruk pada kesehatan pekerja dan kualitas lingkungan sekitar gudang. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi yang dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi polusi udara, dan meningkatkan keamanan gudang. Dengan menerapkan teknologi terkini dan konsep inovatif, diharapkan Shopee Express dapat meningkatkan kinerja gudangnya dengan tetap menjaga lingkungan yang lebih sehat dan aman.

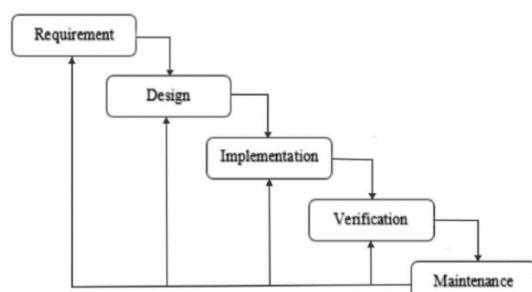
Penelitian ini akan membahas tentang pengembangan dan implementasi sistem *Smart Warehouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang meliputi pemantauan dan pengendalian penggunaan lampu dan kipas angin, suhu, kelembaban, deteksi kualitas udara, dan deteksi kebakaran. *Internet of Things* merupakan suatu konsep untuk menghubungkan

alat atau barang ke dalam suatu jaringan sehingga dapat dengan mudah dikendalikan melalui perangkat lain, memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan pengambilan keputusan yang cepat berdasarkan informasi yang diperoleh [5]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi Smart Warehouse berbasis IoT dengan fokus utama pada pemantauan kondisi lingkungan di Shopee Express Last Mile Hub Kebon Jeruk.

II. METODOLOGI

Waterfall digunakan sebagai model pengembangan untuk mengembangkan sistem *Smart Warehouse*. Metode *waterfall* merupakan pendekatan pengembangan sistem yang bersifat sekuensial, di mana setiap fase harus diselesaikan sebelum fase berikutnya dimulai. Tujuan dari metode *waterfall* adalah untuk memberikan struktur yang jelas dan terorganisir dalam setiap tahap pengembangan, mulai dari perencanaan hingga implementasi. Langkah-langkah pengembangan sistem dengan metode *waterfall* ditunjukkan pada Gambar 1 [6], meliputi:

1. Analisis Kebutuhan: Mengumpulkan dan menganalisis kebutuhan dengan pengguna atau pemangku kepentingan.
2. Desain Sistem: Menentukan arsitektur dan desain terperinci, termasuk struktur data, antarmuka, dan algoritma.
3. Implementasi: Mengubah desain menjadi kode sumber yang memenuhi spesifikasi persyaratan.
4. Pengujian atau verifikasi: Mengintegrasikan dan menguji modul sistem untuk memastikan kesesuaian dan memperbaiki kesalahan.
5. Pemeliharaan: Memelihara sistem setelah diimplementasikan dengan melakukan pembaruan, perbaikan bug, dan peningkatan fitur sesuai kebutuhan pengguna.



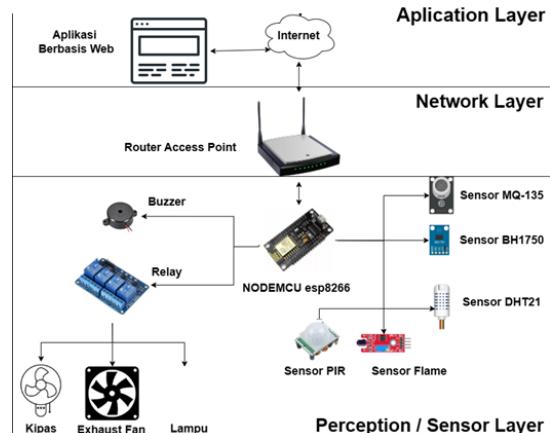
Gambar 1. Metode *waterfall*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem ini dirancang untuk menghubungkan beberapa perangkat satu sama lain. Arsitektur Tiga Tingkat adalah pendekatan yang disederhanakan untuk Arsitektur IoT, yang telah direncanakan dan diimplementasikan dalam sejumlah

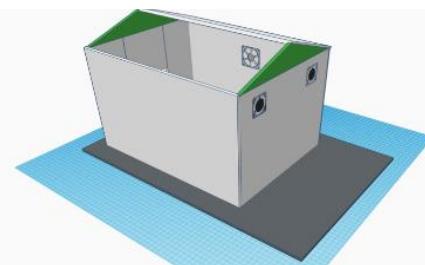
sistem. Dalam model ini, terdapat tiga lapisan yang dapat dikenali: Lapisan Persepsi, Lapisan Jaringan, dan Lapisan Aplikasi. Gambar 2 di bawah ini adalah gambar arsitektur IoT *Smart Warehouse*.



Gambar 2. Arsitektur sistem yang dibangun

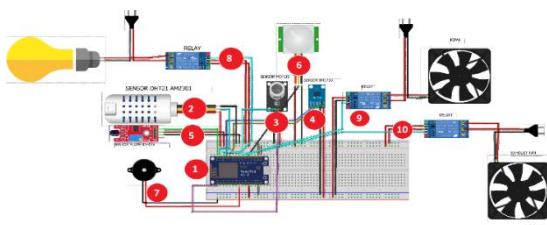
3.1 Sketsa Prototipe

Gambar 3 di bawah mengilustrasikan desain gudang mini untuk penerapan sistem Gudang Cerdas berbasis IoT.



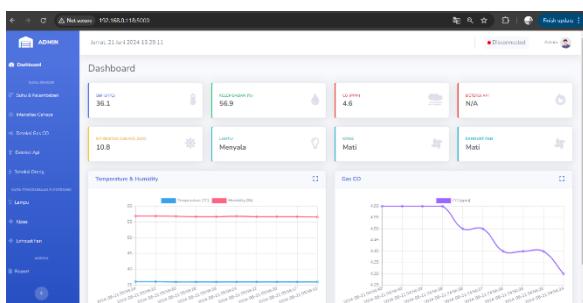
Gambar 3. Desain Gudang Miniatur

Gambar 4 di bawah ini merupakan rangkaian sistem gudang pintar, sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja sama untuk memantau dan mengendalikan lingkungan gudang. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler utama, mengumpulkan data dari berbagai sensor dan mengendalikan aktuator berdasarkan data tersebut. Sensor DHT21 mengukur suhu dan kelembaban, sedangkan sensor MQ-135 mendeteksi gas CO, sensor BH1750 mengukur intensitas cahaya, dan Sensor API KY-026 mendeteksi api. Sensor PIR mendeteksi gerakan manusia atau benda. Buzzer berfungsi sebagai alarm. Beberapa Relai digunakan untuk mengendalikan peralatan berdasarkan sinyal dari NodeMCU: satu relai mengendalikan lampu berdasarkan data dari sensor BH1750, satu relai mengendalikan kipas berdasarkan sinyal dari sensor PIR, dan satu relai mengendalikan kipas pembuangan untuk mengatur sirkulasi udara saat sensor MQ-135 mendeteksi kadar gas CO yang tinggi.



Gambar 4. Rangkaian Sistem Gudang Cerdas

Tampilan antarmuka sistem pemantauan *web* Gudang Pintar ditunjukkan pada Gambar 5. Situs *web* berfungsi untuk memantau dan menyimpan data dari semua sensor yang terintegrasi ke dalam sistem gudang pintar.



Gambar 5. Pemantauan Web Gudang Cerdas

Pengujian dilakukan tanpa kontrol sistem pendingin udara (AC) untuk mensimulasikan kondisi yang sebenarnya. Sensor seperti DHT21 (suhu dan kelembaban), BH1750 (intensitas cahaya), MQ-135 (konsentrasi gas CO), PIR (deteksi gerakan), dan KY-026 (deteksi kebakaran) dipasang di gudang miniatur berukuran 40 x 30 x 25 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Miniatur ini mereplikasi skenario nyata dalam skala kecil, yang memungkinkan pengamatan dan pengukuran kinerja sistem dalam kondisi yang terkontrol tetapi realistik. Tujuan pengujian adalah untuk memastikan bahwa semua sensor berfungsi dengan baik dan memberikan data yang akurat, serta untuk memantau apakah sistem dapat mengaktifkan dan menonaktifkan perangkat yang terhubung seperti relai untuk lampu dan kipas, dan buzzer berdasarkan data dari sensor.



Gambar 6. Miniatur Sistem Gudang Pintar

Dalam pengujian ini, waktu respons dari tiga sensor utama dalam sistem dianalisis: BH1750 untuk mengendalikan lampu, PIR untuk mengendalikan kipas, dan KY-026 untuk menyalaikan bel. Setiap sensor diuji sepuluh kali untuk memastikan konsistensi dan keandalan dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan.

Tabel 1 Pengujian waktu respons sensor

Pengujian	Respon Sensor BH1750 Dalam Mengontrol Lampu (Detik)	Respon Sensor PIR Dalam Mengendalikan Kipas (Detik)	Respon Sensor KY-026 Saat Menyalakan Buzzer (Detik)
1	0.61	1.02	8.57
2	0.61	1.01	5.71
3	0.67	1	8.83
4	0.61	0.7	2.58
5	0.53	0.74	8.07
6	0.6	0.6	8.20
7	0.52	0.56	9.24
8	0.63	0.64	3.10
9	0.61	0.73	3.36
10	0.5	0.67	7.88
Rata-rata	0,59	0.76	6.55

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor BH1750 memiliki waktu respons rata-rata 0,59 detik dalam mengendalikan cahaya, sensor PIR memiliki waktu respons rata-rata 0,76 detik dalam mengendalikan kipas, dan sensor KY-026 memiliki waktu respons rata-rata 6,55 detik dalam menyalaikan *buzzer*. Data ini menunjukkan bahwa ketiga sensor dapat merespons perubahan lingkungan dengan cepat dan efektif memastikan sistem bekerja secara efisien dan sesuai harapan dan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Manshor dkk (2019) terkait penggunaan alat IoT pada industry budidaya ayam [7].

Selanjutnya dilakukan pengujian fungsionalitas sensor dan sistem kontrol, pengujian dilakukan untuk memastikan respons dan tindakan sistem dalam kondisi yang mensimulasikan situasi dunia nyata. Setiap sensor diuji untuk menilai kemampuannya dalam mendeteksi perubahan lingkungan dan memicu respons yang tepat. dan sistem kontrol berfungsi sebagaimana mestinya. Flame Sensor dapat mendeteksi api dan memicu *buzzer* serta notifikasi Telegram. BH1750 mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan mengendalikan lampu. Sensor MQ135 berhasil mendeteksi gas CO dan mengaktifkan exhaust fan, sedangkan PIR Sensor mendeteksi gerakan dan menyalaikan kipas. Sistem ini menunjukkan efisiensi dalam memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan gudang.

Tabel 2. Pengujian fungsionalitas sensor & kontrol

No	Pengujian	Sensor	Keluaran	Tindakan	Analisa
1	Menyalakan api di gudang miniatur	Sensor Api	BENAR	Nyalakan <i>buzzer</i> dan kirim notifikasi ke <i>Telegram</i>	Sistem berhasil mendeteksi kebakaran, menyalakan bel, dan mengirimkan notifikasi ke <i>Telegram</i> . Hal ini menunjukkan bahwa Flame Sensor berfungsi dengan baik dalam mendeteksi kebakaran dan sistem dapat mengambil tindakan yang tepat.
2	Nyalakan senter/flash kamera di atas gudang miniatur	BH1750	120 lux	Matikan <i>relay lampu</i>	Sensor cahaya berhasil mendeteksi peningkatan intensitas cahaya di atas 100 lux dan mematikan lampu. Hal ini menandakan bahwa sensor berfungsi dengan baik dalam mengukur intensitas cahaya.
3	Membuat asap dengan membakar kertas di gudang miniatur	MQ135	25 halaman per menit	Menyalakan <i>relay kipas angin</i>	Sensor MQ135 berhasil mendeteksi peningkatan konsentrasi gas CO dan menyalakan kipas pembuangan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dan sistem kontrol bekerja dengan baik dalam mendeteksi gas CO dan mengambil tindakan yang diperlukan.
4	Letakkan tangan Anda di dalam gudang mini.	Sensor PIR	BENAR	Menyalakan <i>relay kipas</i>	Sensor gerak berhasil mendeteksi gerakan dan menyalakan kipas. Hal ini menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi gerakan dan sistem dapat mengambil tindakan yang tepat.

User Acceptance Testing (UAT) merupakan pengujian sistem yang melibatkan pengguna akhir untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memenuhi kebutuhan dan harapan mereka [8]. UAT bertujuan untuk memastikan bahwa solusi yang dibangun tidak hanya berfungsi secara teknis tetapi juga memenuhi harapan pengguna dalam konteks

operasional yang sebenarnya. Pengujian sistem terdiri dari 11 orang, dengan 10 pria dan 1 wanita. Daftar pertanyaan dalam kuesioner pengujian ditunjukkan pada tabel 3, dan hasil kuesioner pengujian ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 3. Daftar pertanyaan kuesioner pengujian sistem

No.	Pertanyaan	Bahasa Inggris	S	N	TS	STS
1.	Sistem Gudang Pintar memonitor suhu dan kelembapan dengan baik.					
2.	Sistem ini menyediakan laporan akurat tentang suhu dan kelembapan.					
3.	Sensor intensitas cahaya dapat mengontrol lampu dengan baik.					
4.	Sistem merespons perubahan intensitas cahaya dengan cepat dan tepat.					
5.	Sensor PIR dapat mendeteksi keberadaan orang dan mengaktifkan kipas angin dengan baik.					
6.	Sistem segera mengaktifkan kipas setelah mendeteksi kehadiran seseorang.					
7.	Sensor MQ135 dapat mendeteksi gas CO dan mengaktifkan kipas pembuangan ketika kadar gas CO tinggi.					
8.	Sistem merespons cepat terhadap tingginya kadar gas CO dengan mengaktifkan kipas pembuangan.					
9.	Sensor api dapat mendeteksi keberadaan api dengan baik.					
10.	Sistem segera mengaktifkan bel alarm dan mengirimkan pemberitahuan saat kebakaran terdeteksi.					
11.	Dasbor web menampilkan data dari berbagai sensor dengan jelas.					
12.	Dasbor web memuat data dan informasi dengan cepat.					
13.	Pengalaman Anda secara keseluruhan dengan sistem Gudang Pintar memuaskan.					

Tabel 4. Hasil Kuesioner Pengujian Sistem *Gudang Pintar*

Nama	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13
Nurul Adam	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
Kisah Herddhi Kurniawan	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5
Rifaldi Kamal	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5
Nur Rizky	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5
Dani selalu ada di sana	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
bimbingan Tuhan	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5
Helmi Hadi Saputra	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
Tarwin	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5
Fitriani agustin	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5
Terima kasih sudah setia	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5
Royan Maulana	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
Total	55	55	55	55	55	55	52	47	55	46	55	55	55
Rata-rata	5	5	5	5	5	5	4.7	4.2	5	4.1	5	5	5

Berdasarkan hasil kuesioner evaluasi Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa sistem *Smart Warehouse* secara umum diterima dengan sangat baik oleh pengguna. Seluruh sensor yang digunakan untuk memantau berbagai aspek lingkungan gudang berfungsi dengan baik. Selain itu, informasi yang ditampilkan pada dashboard pemantauan sangat baik dan memuaskan pengguna. Sistem ini telah menunjukkan kemampuan yang baik dalam memastikan kondisi lingkungan gudang tetap optimal dan aman.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Smart Warehouse* dalam bentuk prototipe telah berhasil diimplementasikan dengan semua fungsinya berjalan dengan baik, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah diimplementasikan dengan baik untuk memantau kondisi lingkungan gudang.
2. Sistem ini mampu memantau suhu, kelembaban, cahaya, gas CO, dan mendeteksi kebakaran secara *real-time*.
3. Sensor PIR dan MQ135 mengendalikan kipas angin dan kipas angin buang dengan baik. Sensor BH1750 mengendalikan lampu gudang dengan baik. Sensor KY-026 mendeteksi kebakaran dan mengaktifkan alarm serta mengirimkan pemberitahuan ke telegram dengan cepat.
4. Semua data sensor dapat dipantau dengan mudah melalui situs web pemantauan.
5. Pengguna menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi terhadap sistem Gudang Pintar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IH Mohamud, M. Abdul Kafi, SA Shahron, N. Zainuddin, dan S. Musa, "Peran Tata Letak dan Operasional Gudang dalam Efisiensi Gudang: Tinjauan Literatur," *J. Eur. dec Syst. Auto.* , vol. 56, no. 1, hlm. 61–68, 2023, doi: 10.18280/jesa.560109.
- [2] N. Boysen, S. Fedtke, dan S. Schwerdfeger, Konsep pengiriman jarak jauh: survei dari perspektif penelitian operasional , vol. 43, no. 1. Springer Berlin Heidelberg, 2021. doi: 10.1007/s00291-020-00607-8.
- [3] A. Subagyo, "Antisipasi yang Diperlukan Terhadap Kebakaran Listrik pada Struktur Bangunan," *J. Applied Electrical Technology* , vol. Vol.1, no. No.2, hal. Halaman 8-15, 2012.
- [4] IQ A'yun dan R. Umaroh, "Polusi Udara Dalam Ruangan dan Kondisi Kesehatan: Analisis Rumah Tangga Indonesia," *J. Econ. dan Dev. Indones.* , vol. 23, no. 1, hlm. 16–26, 2023, doi: 10.21002/jepi.2022.02.
- [5] MY Ihza, MG Rohman, dan AA Bettaliyah, "Perancangan Sistem Pengendali Lampu dan AC di Unisla dengan Konsep Internet of Things (IoT) Berbasis Web," *Gener. J.* , vol. 6, no. 1, hlm. 37–44, 2022, doi: 10.29407/gj.v6i1.16295.
- [6] M. Fahmi, B. Santoso, I. Komarudin, M. Maysaroh, and A. Rinaldi, "Metode Waterfall Untuk Rancangan Integrasi Sistem Informasi Kearsipan Pada PT.Kujang Pelangi Nusantara," *J. Insa. J. Inf. Syst. Manag. Innov.* , vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.31294/jinsan.v1i2.850.
- [7] N. Manshor, A. R. A. Rahiman, and M. K. Yazed, "IoT Based Poultry House Monitoring," in *2019 2nd International Conference on Communication Engineering and Technology, ICCET 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2019, pp. 72–75. doi: 10.1109/ICCET.2019.8726880.
- [8] F. Muñoz-Leiva, S. Climent-Climent, and F. Liébana-Cabanillas, "Determinants of intention to use the mobile banking apps: An extension of the classic TAM model," *Spanish J. Mark. - ESIC*, vol. 21, no. 1, pp. 25–38, 2017, doi: 10.1016/j.sjme.2016.12.001.