

Structural Health Monitoring System

Taufiq Septiyawan Azhari
Teknik Elektro Otomasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
2040221004@gmail.com

Jonathan Oktaviano Frizzy
Teknik Elektro Otomasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
2040221060@student.its.ac.id

Kevin Safrisal Maulana
Teknik Elektro Otomasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
2040221125@student.its.ac.id

Theo Andre Gunawan
Teknik Elektro Otomasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
2040221039@student.its.ac.id

Raihan Dzikry
Teknik Elektro Otomasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
2040221105@student.its.ac.id

Abstract—*Teknologi 4.0 atau Revolusi Industri 4.0 mengedepankan penggunaan teknologi digital dan otomatisasi dalam produksi. Penerapannya tidak hanya terbatas pada sektor industri tetapi juga menawarkan peluang besar bagi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi produksi, mempercepat waktu respon terhadap permintaan pasar, dan mengurangi risiko kecelakaan. Beberapa teknologi kunci dalam Industri 4.0 termasuk Internet of Things (IoT), big data, robotika, dan kecerdasan buatan (AI). Penerapan teknologi 4.0 dapat mengurangi biaya produksi, meningkatkan produktivitas, dan memungkinkan perusahaan untuk lebih inovatif dalam menciptakan produk dan layanan yang lebih baik. Namun, perusahaan juga perlu memperhatikan aspek keamanan siber dan privasi data untuk menghindari risiko yang mungkin terjadi. Salah satu aplikasi teknologi 4.0 adalah dalam Structural Health Monitoring System (SHMS), yang bertujuan untuk memantau kondisi fisik struktur seperti jembatan, gedung, dan infrastruktur lainnya guna mendeteksi kerusakan. Dengan menggunakan sensor, data mengenai getaran, suhu, dan kelembaban dapat dikumpulkan secara real-time dari berbagai bagian struktur. Data ini kemudian dianalisis menggunakan kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi pola dan anomali yang mungkin menunjukkan potensi kerusakan atau kegagalan struktural. Penggunaan teknologi 4.0 dalam SHMS memungkinkan deteksi dini masalah struktural, sehingga tindakan pencegahan dapat diambil sebelum kerusakan menjadi parah, mengurangi biaya perbaikan, dan meningkatkan keselamatan publik dengan mengurangi risiko kegagalan struktural yang dapat berakibat fatal*

Kata Kunci—*SHMS, Internet of Things (IoT), Teknologi 4.0, Struktural*

I. PENDAHULUAN

Structural Health Monitoring System (SHMS) adalah sebuah sistem yang dirancang untuk menganalisis kesehatan bangunan berdasarkan berbagai faktor seperti keregangan, kemiringan, getaran, suhu, dan kelembaban. Dengan menggunakan sensor dan penerapan teknologi 4.0, SHMS dapat memantau kondisi fisik struktur bangunan secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian dianalisis untuk mendeteksi anomali atau perubahan yang dapat mengindikasikan potensi kerusakan struktural. Hal ini memungkinkan pihak terkait untuk melakukan proactive maintenance guna menghindari risiko kerusakan yang lebih besar. SHMS melibatkan pemasangan sensor pada titik-titik kritis dari sebuah bangunan. Sensor-sensor ini nantinya akan mengukur keregangan, kemiringan, getaran, suhu, dan pada struktur bangunan. Sensor suhu dan kelembaban digunakan untuk memantau perubahan suhu dan kelembaban yang nantinya akan mempengaruhi kekuatan material pada

struktur bangunan[1].

Data sensor kemudian diolah menggunakan mikrokontroler untuk melakukan analisis pendeteksian getaran ringan hingga getaran berat. Pengolahan data tersebut menggunakan algoritma fuzzy logic. Algoritma ini mendeteksi perubahan getaran signifikan pada sebuah struktur bangunan[2].

Data dikumpulkan oleh sensor akan dikirimkan dan kemudian ditampung pada database. Data-data tersebut nantinya akan dianalisis menggunakan algoritma fuzzy logic. Algoritma ini mampu mendeteksi pola yang tidak biasa atau perubahan signifikan yang mungkin menandakan kerusakan struktural. Sebagai contoh, peningkatan suhu di suatu area tertentu dapat menunjukkan adanya masalah pada sistem pendingin atau isolasi, sementara perubahan kelembaban bisa mengindikasikan masalah lainnya yang dapat mempengaruhi integritas struktur[3].

II. DASAR TEORI

A. Deteksi Deformasi Struktural

Metode menggunakan Sensor Strain Gauge dirancang untuk mendeteksi deformasi, dan parameter lingkungan guna memastikan kesehatan struktur secara menyeluruh. Pada aspek deteksi deformasi, sistem menggunakan sensor strain gauge yang dipasang di titik-titik strategis struktur untuk memantau perubahan. Data dari sensor ini dianalisis secara real-time untuk menghitung berapa besar regangan, serta membandingkannya dengan ambang batas yang telah ditetapkan.[4]

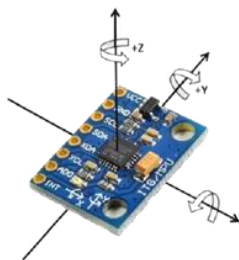


Gambar 1 Sensor Strain Gauge

B. Pemantauan Getaran

Untuk memantau pola getaran, digunakan sensor akselerometer yang mampu mendeteksi respon dinamis

struktur terhadap getaran. Data getaran dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan frekuensi alami yang dapat mengindikasikan getaran dalam suatu bangunan[5].



Gambar 2 Module Sensor MPU-6050

C. Pemantauan Suhu dan Kelembaban

Sistem ini menggunakan dan mengintegrasikan sensor suhu dan kelembaban, seperti DHT22. Data suhu digunakan untuk memantau parameter lingkungan yang mempengaruhi umur pakai struktur dalam bangunan[6].

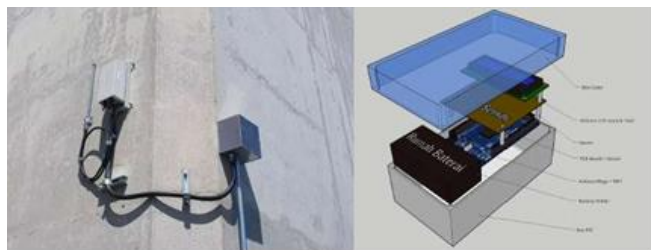


Gambar 3 DHT22

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Hardware

Perencanaan design hardware dirancang menggunakan software 3d terlebih dahulu seperti menggunakan Adobe Inventor ataupun sketchup. Gambar 4 merupakan kiblat dari perancangan design. Kami ingin membuat produk dari proyek ini menjadi alat yang *portable* dan mudah untuk dilakukannya perawatan. Desain yang baik akan memastikan bahwa semua komponen hardware dapat terpasang dengan rapi dan fungsionalitas alat dapat dioptimalkan, serta mempermudah dalam hal pemeliharaan dan perbaikan[7].



Gambar 4 Hardware SHMS

B. Perancangan Website Monitoring

Untuk menampilkan hasil dari pengambilan data oleh sensor-sensor maka diperlukan sebuah antarmuka untuk meningkatkan efektivitas penggunaan. Antarmuka yang sederhana akan mempermudah pengguna dalam memantau kondisi bangunan dan mengambil tindakan yang diperlukan. Untuk itu, diperlukan desain antarmuka agar lebih *user-*

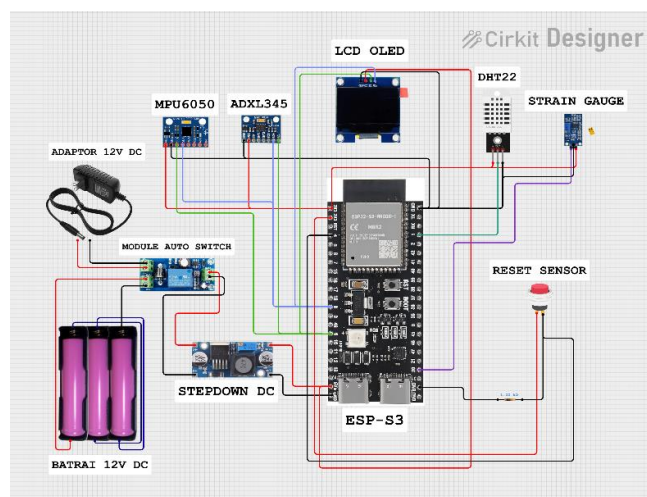
friendly, dengan tata letak yang jelas dan navigasi yang mudah dipahami. Oleh karena itu, dibuatlah rancangan *front end* seperti pada gambar 5 di bawah



Gambar 5 Interface Web

C. Rancangan Elektrikal Structural Health Monitoring System

Rangkaian elektrikal pada *Structural Health Monitoring System* diperlukan untuk mengukur data sensor suhu, kelembaban, kemiringan, getaran dan keregangan, mengolah sinyal, dan mengirimkannya ke database MySQL melalui komunikasi nirkabel. Selain itu, rangkaian ini mencakup 2 sumber daya listrik yang handal dengan menggunakan baterai serta adaptor. Keseluruhan sistem ini bekerja sinergis untuk memantau kondisi struktur secara real-time melalui LCD, dan membantu perawatan prediktif untuk memperpanjang umur struktur serta meningkatkan keselamatan. Flowchart ini menggambarkan sistem pemantauan kesehatan struktur yang menggunakan ESP32 S3 dengan WiFi, yang mendapat daya dari baterai 9-14V melalui modul step down. ESP32 ini mengumpulkan data dari sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban, sensor MPU 6050 dan ADXL345 untuk akselerasi dan rotasi. Data tersebut kemudian diproses dan ditampilkan pada layar LCD I2C, serta dikirim ke basis data MySQL melalui WiFi untuk penyimpanan[8].



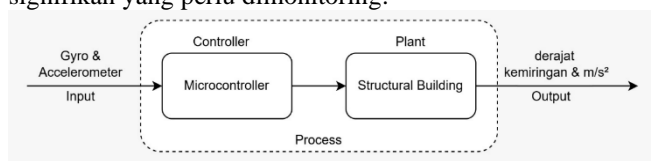
Gambar 6 Rancangan Elektrikal Wiring Project

D. Blok Diagram

Blok diagram dibawah menggambarkan proses kerja sistem monitoring kesehatan struktur (SHMS) untuk

mendeteksi deformasi struktur menggunakan sensor gyro dan akselerometer sebagai input utama. Sistem dimulai dengan sensor gyro dan akselerometer yang berfungsi untuk mengukur parameter seperti sudut kemiringan dan percepatan pada struktur. Data ini kemudian dikirimkan ke mikrokontroler, yang bertindak sebagai pengontrol (controller). Mikrokontroler bertanggung jawab untuk memproses data mentah dari sensor, menerjemahkannya menjadi informasi yang lebih bermakna, serta mengendalikan komunikasi dengan sistem lainnya.

Hasil pemrosesan oleh mikrokontroler diteruskan ke bagian struktur bangunan yang dalam diagram ini disebut sebagai plant. Plant merepresentasikan objek fisik yang sedang dimonitor, seperti gedung atau jembatan, di mana data deformasi aktual diukur secara real-time. Output dari sistem ini berupa parameter derajat kemiringan dan percepatan (m/s^2), yang memberikan gambaran kondisi struktur, apakah masih dalam batas aman atau sudah mengalami perubahan signifikan yang perlu dimonitoring.

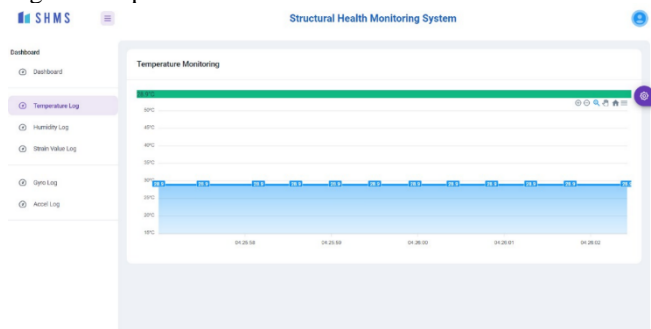


Gambar 7 Blok Diagram

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Line Chart Data dari sensor

Menunjukkan tampilan dari riwayat data yang dibaca oleh sensor kemiringan, suhu dan kelembapan dalam bentuk grafik dan tabel yang mana nantinya akan mempermudah pengguna untuk pembacaan data. yang mana juga dilengkapi fitur sortir sehingga pengguna dapat menentukan data yang ingin ditampilkan sesuai kebutuhan



Gambar 8 Line Chart Getaran

B. Database Output Sensor

Sistem Structural Health Monitoring System (SHMS) dalam proyek ini menggunakan ESP32 sebagai komponen utama untuk komunikasi data. Data yang diperoleh dari sensor-sensor seperti strain gauge, akselerometer, dan DHT22 dikirimkan ke server melalui konektivitas WiFi yang disediakan oleh ESP32. Protokol komunikasi ini memungkinkan pengiriman data secara cepat dan stabil ke database terpusat untuk penyimpanan dan pengolahan lebih lanjut. Database ini dirancang untuk menyimpan data dalam jumlah besar dengan struktur yang mendukung analisis real-time dan historis.

Gambar 9 Database Output Value Sensor

C. Tabel Database Output dari Sensor

Menunjukkan tampilan front end untuk memonitor *Structural Health Monitoring System*. Website tersebut dapat menampilkan suhu, kelembapan dan kemiringan dari pembacaan sensor DHT22 dan MPU6050 yang diambil dari database secara *real-time*.



Gambar 10 Dashboard Database

V. KESIMPULAN

Implementasi *Structural Health Monitoring System* (SHMS) dengan memanfaatkan teknologi 4.0 menawarkan solusi yang efektif untuk memantau kesehatan struktur bangunan secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan sensor-sensor yang ditempatkan pada titik-titik kritis bangunan untuk mengukur kemiringan, getaran, suhu dan kelembapan. Data yang dikumpulkan dari sensor-sensor tersebut kemudian dianalisis menggunakan algoritma *fuzzy logic*, yang akan mendeteksi anomali atau perubahan signifikan. Hal tersebut akan mengindikasikan potensi kerusakan struktural.

Dengan adanya SHMS, pemantauan kondisi fisik bangunan menjadi lebih akurat dan efisien. Pendeteksian dini terhadap kerusakan atau perubahan dalam struktur memungkinkan pelaksanaan pemeliharaan secara proaktif, sehingga dapat mencegah risiko kerusakan yang lebih besar dan mahal. Selain itu, kemampuan sistem untuk menganalisis data secara kontinu memastikan bahwa setiap perubahan kondisi dapat segera terdeteksi dan ditangani. Penerapan SHMS tidak hanya meningkatkan keselamatan dan keamanan bangunan, tetapi juga dapat memperpanjang umur struktur dengan menjaga integritas materialnya. Dengan demikian, SHMS berkontribusi pada pengelolaan bangunan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] D. Hidayat, M. Rahmatika, N. S. Syafei, and B. Y. Tumbelaka, "Simulasi Pengontrol On/Off pada Sistem Kendali Umpan Balik dengan Model Fisis Elektronik," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 1, pp. 43–53, 2018, doi: 10.15575/telka.v4i1.80.
- [2] R. A. T. Aufik *et al.*, "Rancang Bangun Simulator Kendali Lampu Lalu Lintas Dengan Logika Fuzzy," *Seminar*, vol. 2008, no. RAHMAT TAUFIK, pp. 1–26, 2008.
- [3] R. Kusumah, H. I. Islam, and S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Ruang Data Center," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 82–88, 2023, doi: 10.30871/jaic.v7i1.5199.
- [4] J. Yoon, J. Lee, G. Kim, S. Ryu, and J. Park, "Deep neural network-based structural health monitoring technique for real-time crack detection and localization using strain gauge sensors," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24269-4.
- [5] C. Deng, J. Wen, L. Tang, X. Cai, and F. Peng, "The Accuracy of Frequency Estimation of Structure Vibration under Ambient Excitation: Problems, Causes, and Methods," *Buildings*, vol. 14, no. 1, pp. 1–17, 2024, doi: 10.3390/buildings14010198.
- [6] W. Adhiwibowo, A. F. Daru, and A. M. Hirzan, "Temperature and Humidity Monitoring Using DHT22 Sensor and Cayenne API," *J. Transform.*, vol. 17, no. 2, p. 209, 2020, doi: 10.26623/transformatika.v17i2.1820.
- [7] S. I. A. Setiawan, "Google SketchUp Perangkat Alternatif dalam Pemodelan 3D," *J. Ultim.*, vol. 3, no. 2, pp. 6–10, 2011, doi: 10.31937/ti.v3i2.298.
- [8] D. M. G. Preethichandra, T. G. Suntharavadivel, P. Kalutara, L. Piyathilaka, and U. Izhar, "Influence of Smart Sensors on Structural Health Monitoring Systems and Future Asset Management Practices," *Sensors*, vol. 23, no. 19, 2023, doi: 10.3390/s23198279.