

**RANCANG BANGUN *WIRELESS SENSOR NETWORK* PADA  
SISTEM MANAJEMEN KESEHATAN STRUKTUR  
JEMBATAN**

**Tugas Akhir**

Disusun sebagai salah satu syarat untuk  
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Hafyyan Tashbir

219441009



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI  
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA  
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Rancang Bangun *Wireless Sensor Network* pada Sistem  
Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan**

Oleh:

Hafyyan Tashbir

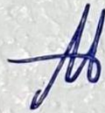
NIM 219441009

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program  
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)  
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 8 Agustus, 2024

Disetujui,

Pembimbing I,



**Dr. Aris Budiyarto, S.T., M.T.**  
NIP 197012301995121001

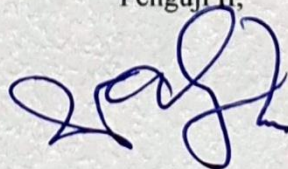
Pembimbing II,



**Abyanuddin Salam, S.ST., M.Eng.**  
NIP 198910042010121007

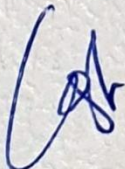
Disahkan,

Penguji II,



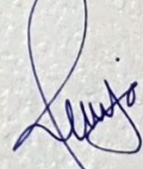
**Wahyu Adhie Candra, S.T., M.Sc.**  
NIP 197701092023211004

Penguji I,



**Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T.**  
NIP 198702252020121001

Penguji III,



**Rizqi Aji Pratama, M.Pd.**  
NIP 199110272022031005

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

|               |   |                                                                                                 |
|---------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nama          | : | Hafyyan Tashbir                                                                                 |
| NIM           | : | 219441009                                                                                       |
| Jurusan       | : | Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika                                                       |
| Program Studi | : | Teknologi Rekayasa Otomasi                                                                      |
| Jenjang Studi | : | Diploma 4                                                                                       |
| Jenis Karya   | : | Tugas Akhir                                                                                     |
| Judul Karya   | : | Rancang Bangun <i>Wireless Sensor Network</i> pada Sistem Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan |

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung  
Pada tanggal : 12 – 07 – 2024  
Yang Menyatakan,

(Hafyyan Tashbir)  
NIM 219441009

## PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

|               |   |                                                                                                 |
|---------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nama          | : | Hafyyan Tashbir                                                                                 |
| NIM           | : | 219441009                                                                                       |
| Jurusan       | : | Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika                                                       |
| Program Studi | : | Teknologi Rekayasa Manufaktur                                                                   |
| Jenjang Studi | : | Diploma 4                                                                                       |
| Jenis Karya   | : | Tugas Akhir                                                                                     |
| Judul Karya   | : | Rancang Bangun <i>Wireless Sensor Network</i> pada Sistem Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan |

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaannya berada di bawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung  
Pada tanggal : 12 – 07 – 2024  
Yang Menyatakan,

(Hafyyan Tashbir)  
NIM 219441009

## **MOTO PRIBADI**

“Selesaikanlah semua apa yang sudah dimulai.”

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Rancang Bangun *Wireless Sensor Network* pada Sistem Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materiel baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.A.B.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi , Ibu Nuryanti S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Dr. Aris Budiarto, S.T., M.T. dan Bapak Abyanuddin Salam, S.ST., M.Eng.

5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T., Bapak Wahyu Adhie Candra, S.T., M.Sc., dan Bapak Rizqi Aji Pratama, M.Pd.
6. Panitia tugas akhir Bapak Rizqi Aji Pratama, S.Pd., M.Pd. dan Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk perempuan yang saya cintai Anindi Putri Utami yang telah mendukung segalanya secara totalitas dan tulus dimulai dari memberikan semangat, motivasi, dan do'a agar diberikan kelancaran sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan tuntas.
9. Mochammad Rava Ardiantoro dan Hery Ardiyanto selaku teman penulis yang telah membantu dan mendukung penulis selama penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 12 Juli 2024

Penulis

## ABSTRAK

Jembatan merupakan sebuah konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai sarana transportasi. Oleh sebab itu, ketika jembatan mengalami kerusakan akibat dari bencana alam atau penuaan umur jembatan maka mobilitas akan menjadi terganggu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan cara membuat suatu sistem manajemen kesehatan struktur (SMKS) jembatan yang terdiri dari sensor DHT 11 untuk pemantauan suhu dan kelembapan, sensor *loadcell* untuk pemantauan berat, sensor GY-521 untuk pemantauan getaran dan kemiringan, sensor *time of flight* dan ultrasonik digunakan untuk pemantauan pergeseran. Sistem ini menerapkan *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan topologi *star* dalam pengambilan dan pengiriman data sehingga data sensor dari *node* akan dikirimkan secara nirkabel menuju *base station* lalu ditampilkan pada *dashboard Node-Red*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua *node* sensor dapat melakukan pembacaan kondisi jembatan dan mengirimkannya kepada *base station* dengan rata – rata *delay* pengiriman data sebesar 525ms, nilai rata – rata *packet loss* sebesar 0 %, nilai rata – rata *throughput* sebesar 2180,74 bps, dan nilai rata – rata *jitter* sebesar 16,82 ms. Sistem yang dibangun berhasil mendapatkan nilai 3 dari pengujian *Quality of Service* dengan kategori “Memuaskan”.

**Kata kunci:** Node-Red, QoS, SMKs, topologi *star*, WSN

## **ABSTRACT**

*A bridge is a construction that serves as a transportation facility. Therefore, when a bridge experiences damage due to natural disasters or aging, mobility will be disrupted. To address this issue, a Structural Health Monitoring System (SHMS) for bridges was developed consisting of DHT 11 sensor for monitoring temperature and humidity, loadcell for monitoring weight, GY-521 sensor for monitoring vibration and inclination, time of flight and ultrasonic sensor for displacement monitoring. This system implements a Wireless Sensor Network (WSN) using a star topology for data acquisition and transmission, enabling sensor data from nodes to be wirelessly sent to a base station and displayed on a Node-Red dashboard. Test result indicate that all sensor nodes can read bridge conditions and transmit them to the base station whit an average data transmission delay of 525ms, an average packet loss rate of 0%, an average throughput of 2180,74 bps, and an average jitter of 16,82ms. The developed system successfully received a score of 3 from the Quality-of-Service test, categorized as “Satisfied”.*

*Keywords: Node-Red, QoS, SHMS, star topologi, WSN*

## DAFTAR ISI

|                                                        |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                | i           |
| PERNYATAAN ORISINALITAS.....                           | ii          |
| PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI) .....        | iii         |
| MOTO PRIBADI .....                                     | iv          |
| KATA PENGANTAR.....                                    | v           |
| ABSTRAK .....                                          | vii         |
| ABSTRACT .....                                         | viii        |
| DAFTAR ISI.....                                        | ix          |
| DAFTAR TABEL .....                                     | xi          |
| DAFTAR GAMBAR.....                                     | xiii        |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                  | xv          |
| DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....                      | xvi         |
| <b>I BAB I PENDAHULUAN.....</b>                        | <b>I-1</b>  |
| I.1 Latar Belakang .....                               | I-1         |
| I.2 Rumusan Masalah .....                              | I-3         |
| I.3 Batasan Masalah.....                               | I-3         |
| I.4 Tujuan dan Manfaat .....                           | I-3         |
| I.5 Sistematika Penulisan .....                        | I-4         |
| <b>II BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                | <b>II-1</b> |
| II.1 Tinjauan Teori.....                               | II-1        |
| II.1.1 Metodologi VDI 2206 .....                       | II-1        |
| II.1.2 Sistem Manajemen Kesehatan Struktur (SMKS)..... | II-2        |
| II.1.3 <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....       | II-9        |
| II.1.4 <i>Quality of Service</i> (QoS) .....           | II-11       |
| II.2 Tinjauan Alat.....                                | II-14       |
| II.2.1 Raspberry Pi .....                              | II-14       |
| II.2.2 ESP32.....                                      | II-15       |
| II.2.3 Sensor GY-521.....                              | II-15       |
| II.2.4 Sensor DHT 11.....                              | II-16       |
| II.2.5 Sensor Ultrasonik .....                         | II-16       |
| II.2.6 Sensor <i>Time of Flight</i> .....              | II-17       |
| II.2.7 Sensor <i>Strain Gauge</i> .....                | II-18       |
| II.2.8 Modul NRF24L01.....                             | II-18       |

|            |                                                                    |              |
|------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| II.2.9     | Baterai Li-ion .....                                               | II-19        |
| II.2.10    | <i>Battery Shield</i> 18650 .....                                  | II-19        |
| II.2.11    | <i>Real Time Clock</i> (RTC) DS3231 .....                          | II-20        |
| II.2.12    | Node-Red .....                                                     | II-20        |
| II.2.13    | MySQL.....                                                         | II-21        |
| II.3       | Studi Penelitian Terdahulu .....                                   | II-22        |
| <b>III</b> | <b>BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH .....</b>               | <b>III-1</b> |
| III.1      | Metodologi Penelitian .....                                        | III-1        |
| III.1.1    | <i>Requirements</i> .....                                          | III-2        |
| III.1.2    | <i>System Design</i> .....                                         | III-3        |
| III.1.3    | <i>Domain Specific Design</i> .....                                | III-5        |
| III.1.4    | <i>System Integration</i> .....                                    | III-17       |
| III.1.5    | <i>Verification/Validation</i> .....                               | III-17       |
| <b>IV</b>  | <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                           | <b>IV-1</b>  |
| IV.1       | Implementasi .....                                                 | IV-1         |
| IV.1.1     | Perangkat Keras .....                                              | IV-1         |
| IV.1.2     | Perangkat Lunak.....                                               | IV-4         |
| IV.2       | Pengujian Sistem Manajemen Kesehatan Jembatan .....                | IV-7         |
| IV.2.1     | Pengujian <i>Login</i> dan <i>Logout</i> .....                     | IV-7         |
| IV.2.2     | Pengujian Pengaturan Batas Atas dan Bawah Setiap <i>Node</i> ..... | IV-9         |
| IV.2.3     | Pengujian Alarm Pada Setiap <i>Node</i> .....                      | IV-13        |
| IV.2.4     | Pengujian Pembacaan Histori Data Pada Setiap <i>Node</i> .....     | IV-19        |
| IV.2.5     | Pengujian Fitur Unduh Laporan pada Setiap <i>Node</i> .....        | IV-25        |
| IV.2.6     | Pengujian Sistem Penilaian Kesehatan Jembatan .....                | IV-30        |
| IV.3       | Pengujian Sistem WSN .....                                         | IV-36        |
| IV.4       | Pengujian Parameter <i>Quality of Service</i> .....                | IV-36        |
| IV.4.1     | Pengujian Parameter <i>Throughput</i> .....                        | IV-37        |
| IV.4.2     | Pengujian Parameter <i>Packet Loss</i> .....                       | IV-38        |
| IV.4.3     | Pengujian Parameter <i>Jitter</i> .....                            | IV-40        |
| IV.4.4     | Pengujian Parameter <i>Delay</i> .....                             | IV-40        |
| <b>V</b>   | <b>BAB V PENUTUP .....</b>                                         | <b>V-1</b>   |
| V.1        | Kesimpulan .....                                                   | V-1          |
| V.2        | Saran.....                                                         | V-1          |
|            | <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                         | <b>xvii</b>  |
|            | <b>LAMPIRAN.....</b>                                               | <b>xxi</b>   |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                     |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabel II.1 Penilaian Kondisi Bangunan Atas Jembatan.....                                                            | II-6   |
| Tabel II.2 Temperatur Jembatan Rata – rata nominal.....                                                             | II-8   |
| Tabel II.3 Nilai QoS.....                                                                                           | II-11  |
| Tabel II.4 Kategori parameter <i>throughput</i> .....                                                               | II-12  |
| Tabel II.5 Kategori parameter <i>packet loss</i> .....                                                              | II-13  |
| Tabel II.6 Kategori parameter <i>delay</i> .....                                                                    | II-13  |
| Tabel II.7 Kategori parameter <i>Jitter</i> .....                                                                   | II-14  |
| Tabel II.8 Penelitian terdahulu sistem pengawasan jembatan .....                                                    | II-22  |
| Tabel II.9 Penelitian terdahulu sistem WSN.....                                                                     | II-23  |
| Tabel II.10 Penelitian terdahulu kualitas jaringan .....                                                            | II-25  |
| Tabel III.1 Kebutuhan sistem.....                                                                                   | III-2  |
| Tabel III.2 Fungsi komponen.....                                                                                    | III-4  |
| Tabel III.3 Perangkat lunak yang digunakan .....                                                                    | III-13 |
| Tabel IV.1 Pengujian <i>login</i> .....                                                                             | IV-8   |
| Tabel IV.2 Pengujian <i>log out</i> .....                                                                           | IV-9   |
| Tabel IV.3 Pengujian batas atas dan bawah untuk parameter suhu dan kelembapan .....                                 | IV-10  |
| Tabel IV.4 Pengujian pengaturan batas atas berat .....                                                              | IV-10  |
| Tabel IV.5 Pengaturan batas atas dan bawah untuk parameter <i>pitch, roll</i> , dan frekuensi.....                  | IV-11  |
| Tabel IV.6 Pengujian pengaturan batas atas dan bawah untuk parameter sumbu X, Y, dan Z.....                         | IV-12  |
| Tabel IV.7 Pengujian batas atas dan bawah untuk parameter sumbu X,Y, Z..                                            | IV-13  |
| Tabel IV.8 Pengujian alarm batas atas dan bawah untuk parameter suhu dan kelembapan .....                           | IV-15  |
| Tabel IV.9 Pengujian pembacaan alarm batas atas untuk parameter berat.....                                          | IV-16  |
| Tabel IV.10 Pengujian pembacaan alarm batas atas dan bawah untuk parameter <i>pitch, roll</i> , dan frekuensi ..... | IV-17  |
| Tabel IV.11 Pengujian pembacaan alarm batas atas dan bawah untuk parameter sumbu X, Y, dan Z .....                  | IV-18  |
| Tabel IV.12 Pengujian pembacaan alarm batas atas dan bawah pada parameter sumbu X, Y, dan Z .....                   | IV-19  |
| Tabel IV.13 Pengujian histori data <i>node</i> DHT 11.....                                                          | IV-21  |
| Tabel IV.14 Pengujian histori alarm batas atas dan bawah <i>node</i> DHT 11 .....                                   | IV-21  |
| Tabel IV.15 Pengujian pembacaan histori data <i>node loadcell</i> .....                                             | IV-22  |
| Tabel IV.16 Pengujian pembacaan histori data <i>node</i> GY-521.....                                                | IV-22  |
| Tabel IV.17 Pengujian histori alarm batas atas dan bawah <i>node</i> GY-521.....                                    | IV-23  |
| Tabel IV.18 Pengujian pembacaan histori data <i>node time of flight</i> .....                                       | IV-24  |
| Tabel IV.19 Pengujian histori alarm batas atas dan bawah <i>node time of flight</i> .....                           | IV-24  |
| Tabel IV.20 Pengujian pembacaan histori data <i>node</i> ultrasonik.....                                            | IV-25  |
| Tabel IV.21 Pengujian histori alarm batas atas dan bawah <i>node</i> ultrasonik....                                 | IV-25  |
| Tabel IV.22 Pengujian fitur unduh laporan pada <i>node</i> DHT 11 .....                                             | IV-27  |
| Tabel IV.23 Pengujian fitur unduh laporan <i>node loadcell</i> .....                                                | IV-28  |
| Tabel IV.24 Pengujian fitur unduh laporan <i>node</i> GY-521.....                                                   | IV-28  |
| Tabel IV.25 Pengujian fitur unduh laporan <i>node</i> ToF .....                                                     | IV-29  |
| Tabel IV.26 Pengujian fitur unduh laporan <i>node</i> ultrasonik.....                                               | IV-30  |

|                                                                                  |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabel IV.27 Pengujian parameter berat .....                                      | IV-31 |
| Tabel IV.28 Pengujian parameter <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan frekuensi ..... | IV-32 |
| Tabel IV.29 Pengujian parameter ToF .....                                        | IV-33 |
| Tabel IV.30 Pengujian parameter ultrasonik .....                                 | IV-34 |
| Tabel IV.31 Pengujian pada semua parameter kesehatan .....                       | IV-35 |
| Tabel IV.32 Pengujian sistem WSN .....                                           | IV-36 |
| Tabel IV.33 Hasil pengujian parameter <i>throughput</i> .....                    | IV-38 |
| Tabel IV.34 Hasil pengujian parameter <i>packet loss</i> .....                   | IV-39 |
| Tabel IV.35 Hasil pengujian parameter <i>jitter</i> .....                        | IV-40 |
| Tabel IV.36 Pengujian <i>delay node</i> DHT 11 .....                             | IV-40 |
| Tabel IV.37 Pengujian <i>delay node loadcell</i> .....                           | IV-41 |
| Tabel IV.38 Pengujian <i>delay node</i> GY-521 .....                             | IV-42 |
| Tabel IV.39 Pengujian <i>delay node time of flight</i> .....                     | IV-43 |
| Tabel IV.40 Pengujian <i>delay node</i> ultrasonik .....                         | IV-43 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                             |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| Gambar II.1 V model VDI 2206 [23].....                                      | II-1   |
| Gambar II.2 Arsitektur WSN [8] .....                                        | II-9   |
| Gambar II.3 Topologi <i>bus</i> [10] .....                                  | II-10  |
| Gambar II.4 Topologi <i>star</i> [10].....                                  | II-10  |
| Gambar II.5 Topologi <i>mesh</i> [10].....                                  | II-11  |
| Gambar II.6 Raspberry Pi .....                                              | II-14  |
| Gambar II.7 ESP32 [31].....                                                 | II-15  |
| Gambar II.8 Sensor GY-521 [33] .....                                        | II-16  |
| Gambar II.9 Prinsip kerja ultrasonik [30] .....                             | II-17  |
| Gambar II.10 Prinsip kerja sensor <i>Time of Flight</i> [35] .....          | II-18  |
| Gambar II.11 Sensor <i>Loadcell</i> [38].....                               | II-18  |
| Gambar II.12 <i>Battery shield</i> 18650 [41] .....                         | II-19  |
| Gambar II.13 Modul <i>Real Time Clock</i> DS3231 [42] .....                 | II-20  |
| Gambar II.14 Tampilan pemrograman Node-Red [43].....                        | II-21  |
| Gambar III.1 Model VDI 2206 [23].....                                       | III-1  |
| Gambar III.2 Diagram alir proses pemantauan kondisi jembatan.....           | III-2  |
| Gambar III.3 Diagram alir sistem .....                                      | III-3  |
| Gambar III.4 Gambaran umum sistem.....                                      | III-4  |
| Gambar III.5 Perancangan prototipe jembatan .....                           | III-6  |
| Gambar III.6 Perancangan kotak panel <i>node</i> .....                      | III-6  |
| Gambar III.7 Rancangan rangkaian elektrik <i>node</i> DHT 11 .....          | III-7  |
| Gambar III.8 Rancangan desain PCB <i>node</i> DHT 11 .....                  | III-8  |
| Gambar III.9 Rancangan rangkaian elektrik <i>node loadcell</i> .....        | III-8  |
| Gambar III.10 Rancangan desain PCB <i>node loadcell</i> .....               | III-9  |
| Gambar III.11 Rancangan rangkaian <i>node</i> GY-521 .....                  | III-9  |
| Gambar III.12 Rancangan desain PCB <i>node</i> GY-521 .....                 | III-10 |
| Gambar III.13 Rancangan rangkaian elektrik <i>node time of flight</i> ..... | III-10 |
| Gambar III.14 Rancangan desain PCB <i>node time of flight</i> .....         | III-11 |
| Gambar III.15 Rancangan rangkaian elektrik <i>node</i> ultrasonik .....     | III-11 |
| Gambar III.16 Rancangan desain PCB <i>node</i> ultrasonik.....              | III-12 |
| Gambar III.17 Rancangan rangkaian elektrik <i>node</i> master.....          | III-12 |
| Gambar III.18 Rancangan desain PCB <i>node</i> master .....                 | III-13 |
| Gambar III.19 Diagram alir antarmuka Node-Red .....                         | III-14 |
| Gambar III.20 Rancangan desain halaman log in .....                         | III-15 |
| Gambar III.21 Rancangan desain halaman pembacaan sensor .....               | III-15 |
| Gambar III.22 Data <i>flow</i> diagram MySQL .....                          | III-16 |
| Gambar III.23 Integrasi sistem.....                                         | III-17 |
| Gambar IV.1 Purwarupa jembatan.....                                         | IV-1   |
| Gambar IV.2 Perangkat keras <i>node</i> DHT 11 .....                        | IV-2   |
| Gambar IV.3 Perangkat keras <i>node loadcell</i> .....                      | IV-2   |
| Gambar IV.4 Perangkat keras <i>node</i> GY-521 .....                        | IV-3   |
| Gambar IV.5 Perangkat keras <i>node time of flight</i> .....                | IV-3   |
| Gambar IV.6 Perangkat keras <i>node</i> ultrasonik .....                    | IV-3   |
| Gambar IV.7 Perangkat keras <i>node</i> master.....                         | IV-4   |
| Gambar IV.8 Tampilan pembacaan sensor dan alarm .....                       | IV-4   |
| Gambar IV.9 Tampilan grafik pembacaan sensor.....                           | IV-5   |

|                                                                                                              |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Gambar IV.10 Pengaturan parameter batas atas dan bawah .....                                                 | IV-5  |
| Gambar IV.11 Tampilan histori data .....                                                                     | IV-6  |
| Gambar IV.12 Tampilan fitur unduh data.....                                                                  | IV-6  |
| Gambar IV.13 Tampilan histori data berupa grafik .....                                                       | IV-7  |
| Gambar IV.14 Halaman <i>log in</i> .....                                                                     | IV-8  |
| Gambar IV.15 Pengaturan batas atas dan bawah dari parameter suhu dan kelembapan .....                        | IV-9  |
| Gambar IV.16 Pengaturan batas atas untuk parameter berat .....                                               | IV-10 |
| Gambar IV.17 Pengaturan batas atas dan bawah untuk parameter <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan frekuensi..... | IV-11 |
| Gambar IV.18 Pengaturan batas atas dan bawah untuk parameter sumbu X, Y, Z .....                             | IV-12 |
| Gambar IV.19 Pengaturan batas atas dan bawah untuk parameter sumbu X, Y, Z .....                             | IV-13 |
| Gambar IV.20 Alarm batas atas suhu dan kelembapan .....                                                      | IV-14 |
| Gambar IV.21 Alarm batas bawah suhu dan kelembapan .....                                                     | IV-14 |
| Gambar IV.22 Alarm batas atas berat .....                                                                    | IV-15 |
| Gambar IV.23 Alarm batas atas untuk parameter <i>pitch</i> , <i>roll</i> , dan frekuensi ...                 | IV-16 |
| Gambar IV.24 Alarm batas bawah untuk parameter <i>pitch</i> dan <i>roll</i> .....                            | IV-17 |
| Gambar IV.25 Alarm batas atas untuk parameter sumbu X, Y, dan Z .....                                        | IV-17 |
| Gambar IV.26 Alarm batas bawah sumbu X, Y, dan Z .....                                                       | IV-18 |
| Gambar IV.27 Alarm batas atas pada parameter sumbu X, Y, dan Z.....                                          | IV-18 |
| Gambar IV.28 Alarm batas bawah pada parameter sumbu X, Y, Z .....                                            | IV-19 |
| Gambar IV.29 Pengujian pembacaan histori data.....                                                           | IV-20 |
| Gambar IV.30 Pengujian pembacaan grafik histori data .....                                                   | IV-20 |
| Gambar IV.31 Fitur unduh laporan.....                                                                        | IV-26 |
| Gambar IV.32 Laporan pembacaan sensor dalam format PDF .....                                                 | IV-26 |
| Gambar IV.33 Laporan pembacaan sensor dalam format Excel/CSV.....                                            | IV-27 |
| Gambar IV.34 Pengujian <i>throughput</i> .....                                                               | IV-37 |
| Gambar IV.35 Terminal <i>base station</i> saat pengambilan data <i>packet loss</i> .....                     | IV-39 |
| Gambar IV.36 Serial monitor <i>node</i> sensor pada saat pengambilan data <i>packet loss</i> .....           | IV-39 |

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** *Datasheet* ESP32
- Lampiran 2** *Datasheet* Raspberry Pi 3 B+
- Lampiran 3** *Datasheet* modul nRF24L01
- Lampiran 4** *Datasheet* sensor DHT 11
- Lampiran 5** *Datasheet* sensor GY-521
- Lampiran 6** *Datasheet* sensor *load cell*
- Lampiran 7** *Datasheet* modul HX711
- Lampiran 8** *Datasheet* sensor *time of flight* VL53L0X
- Lampiran 9** *Datasheet* sensor US-100
- Lampiran 10** *Datasheet* modul RTC DS3231
- Lampiran 11** *Datasheet* *battery shield* 18650

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

|        |                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------|
| WSN    | = <i>Wireless Sensor Network</i>                         |
| SMKS   | = <i>Sistem Manajemen Kesehatan Struktur</i>             |
| M2M    | = <i>Machine to Machine</i>                              |
| IoT    | = <i>Internet of Things</i>                              |
| SHM    | = <i>Structural Health Monitoring</i>                    |
| NDT    | = <i>Non-destructive Testing</i>                         |
| SoC    | = <i>System on Chip</i>                                  |
| MEMS   | = <i>Micro Electro Mechanical Systems</i>                |
| ToF    | = <i>Time of Flight</i>                                  |
| CNT    | = <i>Carbon Nanotube</i>                                 |
| ISM    | = <i>Industrial, Scientific, and Medical</i>             |
| KM     | = <i>Kilometer</i>                                       |
| Li-Ion | = <i>Lithium-Ion</i>                                     |
| TCP/IP | = <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> |
| RDBMS  | = <i>Relational Database Management System</i>           |
| RTC    | = <i>Real Time Clock</i>                                 |
| MISO   | = <i>Master In Slave Out</i>                             |
| MOSI   | = <i>Master Out Slave In</i>                             |
| PCB    | = <i>Printed Circuit Board</i>                           |
| IC     | = <i>Integrated Circuit</i>                              |
| SRAM   | = <i>Static Random Access Memory</i>                     |
| CSV    | = <i>Comma Separated Values</i>                          |
| QoS    | = <i>Quality of Service</i>                              |
| bps    | = <i>bit per second</i>                                  |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki keadaan geografis yang terdapat banyak pegunungan, lembah, dan aliran air [1]. Penghubung seperti konstruksi jembatan dibutuhkan sebagai upaya memaksimalkan hubungan dua tempat yang dipisahkan oleh kondisi alam [2]. Jembatan memiliki peran penting bagi masyarakat sebagai sarana transportasi untuk melakukan kegiatan ekonomi dari satu tempat ke tempat lain. Indonesia memiliki 18.014 unit jembatan dengan panjang 481.926 pada tahun 2016 [3].

Penurunan performa dan proses kerusakan pada fisik dari sebuah konstruksi jembatan tidak dapat dihindari yang diakibatkan oleh kepadatan lalu lintas dan juga beban kendaraan yang berlebih [4]. Di Indonesia, kasus kegagalan jembatan yang disebabkan oleh beban yang berlebih atau *overloading* pernah terjadi pada tahun 2004 yaitu kasus runtuhnya jembatan Cipunagara di Subang [5]. Sistem pengawasan struktur jembatan menjadi sangat penting agar dapat mendeteksi perubahan struktur yang terjadi akibat penggunaan normal atau faktor lingkungan seperti kelembapan dan suhu. Pendeteksian deformasi struktur jembatan secara teratur juga perlu dilakukan setelah terjadinya kondisi ekstrem seperti gempa bumi [6].

Sistem Manajemen Kesehatan Struktur (SMKS) merupakan sistem yang dapat mengumpulkan data secara *real-time* dalam sebuah interval waktu, data yang dikumpulkan adalah data respons struktur, perubahan struktur, dan proses konstruksi. Sistem ini dapat digunakan untuk mendeteksi adanya deformasi atau kerusakan pada struktur [2]. Deformasi atau kerusakan tersebut diartikan sebagai perubahan bentuk dari sifat material. Terdapat empat tingkat deteksi yang umum digunakan, yaitu deteksi kerusakan, lokasi kerusakan, jenis kerusakan, dan taraf kerusakan. SMKs ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang berhubungan dengan pemantauan kondisi kesehatan dari sebuah struktur terutama jembatan yang memiliki beban hidup yang tinggi, membuat perencanaan pemeliharaan yang ekonomis, serta dapat mengetahui penyebab terjadinya kerusakan pada struktur

jembatan [7]. Metode pengiriman data konvensional pada SMKS menggunakan sistem kabel yang memerlukan biaya yang tinggi dan kemampuan skalabilitas yang sulit serta tidak fleksibel jika dibandingkan dengan sistem nirkabel [8].

*Wireless Sensor Network* (WSN) adalah suatu kumpulan *node* sensor yang tersebar di suatu area tertentu yang saling terhubung satu sama lain melalui jaringan nirkabel yang dapat digunakan untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan. Setiap *node* sensor bertugas untuk mengumpulkan data serta informasi untuk kemudian dikirim kepada *webserver/base station* [9]. Adapun beberapa topologi jaringan yang umum digunakan pada WSN yaitu topologi *bus* [10], topologi *star* [11], topologi *tree* [12], topologi *mesh* [13], topologi *point to point* [14]. Kitsda, dkk. mengemukakan bahwa topologi *star* mendapatkan kinerja yang lebih baik ketika dibandingkan dengan topologi *tree* menggunakan perangkat XBEE-S2 yang dibuktikan dengan hasil pengujian *throughput*, topologi *star* memiliki nilai *throughput* lebih besar [15]. Ma'tang, dkk. juga menyebutkan pada hasil penelitiannya bahwa topologi *star* masih unggul dalam hal *packet loss* [16]. Pramono, dkk. mengungkapkan pada jurnalnya bahwa topologi *star* lebih unggul jika dibandingkan dengan topologi *multihop* dalam hal *delay*, *throughput*, dan *packet loss* [17]. Sistem WSN digunakan pula pada aplikasi SMKS untuk keperluan pemantauan kondisi dari sebuah jembatan [6], [7], [18], [19]. Penerapan WSN pada aplikasi SMKS berada pada peringkat ke dua paling banyak digunakan dalam metode pengambilan data [20].

Berdasarkan latar belakang dan studi literatur yang sudah dipaparkan sebelumnya, maka dibutuhkan sebuah sistem yang dapat memantau kondisi kesehatan dari sebuah struktur jembatan dengan menerapkan WSN sebagai metode pengambilan data [21]. Pemilihan topologi *star* merupakan pilihan yang tepat karena memiliki kinerja yang bagus [15]. Pemilihan Raspberry pi sebagai *controller* pada *server* agar aplikasi Node-Red dapat langsung dipasang pada *controller* Raspberry pi [22]. Dengan penerapan WSN pada aplikasi pemantauan kesehatan jembatan diharapkan dapat memberikan informasi kondisi jembatan secara aktual, kemudian informasi tersebut dapat digunakan sebagai bahan analisis lebih lanjut untuk penentuan keputusan oleh ahli teknisi jembatan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, terdapat masalah yang dapat diidentifikasi dalam beberapa pertanyaan berikut.

1. Bagaimana rancangan sistem manajemen kesehatan struktur jembatan agar mampu menilai kondisi sebuah jembatan?
2. Bagaimana rancangan WSN pada sistem manajemen kesehatan struktur jembatan?
3. Bagaimana kualitas jaringan pada sistem pemantauan jembatan dengan WSN?

## **I.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Pengujian sistem manajemen kesehatan struktur jembatan dilakukan dengan cara membuat jembatan dalam kondisi tidak aman.
2. Pengujian jarak pengiriman data dilakukan untuk menguji sistem WSN.
3. Pengujian kualitas jaringan dilakukan pada parameter *delay*, *throughput*, *jitter*, dan *packet loss*.
4. Penelitian ini tidak berfokus pada manajemen daya baterai.
5. Penelitian ini tidak membahas karakteristik sensor.
6. Rancangan sistem antarmuka pemantauan kondisi jembatan menggunakan Node-Red.
7. Sistem pemantauan kondisi jembatan ini diaplikasikan pada sebuah purwarupa jembatan dengan lebar 16 cm, panjang 30 cm, dan tinggi 12 cm menggunakan bahan dasar akrilik.

## **I.4 Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sebuah alat yang dapat melakukan pemantauan dan memberikan informasi kondisi dari sebuah jembatan.
2. Memberikan data pembacaan sensor yang akurat pada sistem SMKS.
3. Mengetahui kualitas jaringan WSN pada SMKS.

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini meliputi sebagai berikut:

1. Manfaat praktis yakni penelitian ini diharapkan dapat merancang prototipe sistem manajemen kesehatan struktur jembatan.
2. Manfaat teoritisnya diharapkan pengimplementasian WSN pada SMKS memberikan sumbangsih keilmuan dalam bidang otomasi dan juga bidang sipil.

### **I.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil penelitian tugas akhir berupa implementasi dan pengujian sistem.

BAB V KESIMPULAN, berisi kesimpulan pada hasil penelitian tugas akhir berdasarkan rumusan masalah yang dibuat.