

**TUGAS AKHIR**

**PROTOTYPE SMART WEIGHTBRIDGE MENGGUNAKAN LOADCELL  
TERINTEGRASI DENGAN DATABASE**

*Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**TAUFIK DARMANSYAH**

**2107220040**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2026**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Taufik Darmansyah  
NPM : 2107220040  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : **PROTOTYPE SMART WEIGHTBRIDGE  
MENGUNAKAN LOADCELL TERINTEGRASI DENGAN DATABASE**  
Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 7 Mei 2026

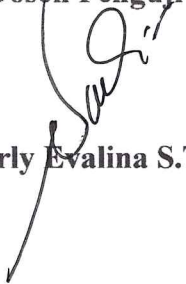
**Mengetahui dan Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing**



**(Rahmat Fauzi Siregar S.T.,M.T)**

**Dosen Penguji I**



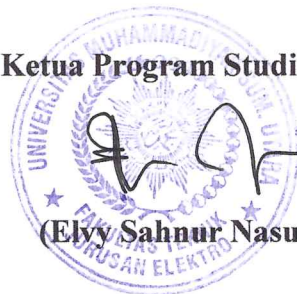
**(Noorly Evalina S.T.,M.T)**

**Dosen Penguji II**



**(Benny Oktarialdi S.T.,M.T)**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro**



**(Ely Sahnur Nasution S.T., M.T.)**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Taufik Darmansyah

NPM : 2107220040

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 15 Oktober 2003

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul:

### **PROTOTYPE SMART WEIGHTBRIDGE MENGGUNAKAN LOADCELL TERINTEGRASI DENGAN DATABASE**

Bukan merupakan plagiarisme, pencuri hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / kesarjanaan saya. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

**Medan, 7 Mei 2026**



**Taufik Darmansyah**

**2107220040**

## ABSTRACT

The logistics industry faces challenges in improving the efficiency and accuracy of vehicle weighing systems (weighbridges), which still largely rely on manual processes that are slow and prone to human error. This study designs a Smart Weighbridge Prototype based on the Internet of Things (IoT) to perform automatic weighing, vehicle identification, and real-time data recording to a database. The prototype system was developed using a load cell as the main sensor, processed through a high-precision HX711 ADC, and controlled by an ESP32 microcontroller. The device also integrates an RFID RC522 module for vehicle identification, a 1602 LCD for displaying measurement results, a thermal printer for receipt printing, and wireless data transmission via Wi-Fi using an API protocol. The test results show that the system has high measurement accuracy with an average error of only 0.1%–0.2%, a data transmission success rate of 100% with a latency of 0.6 seconds, and very low power consumption of 6.0  $\mu$ A. Overall, the Smart Weighbridge Prototype proved to be accurate, stable, efficient, and capable of improving operational effectiveness by reducing dependence on manual weighing processes.

**Keywords:** Smart Weighbridge, IoT, Load Cell, HX711, ESP32, RFID, Latency

## ABSTRACT

Industri logistik menghadapi tantangan dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi sistem penimbangan kendaraan (weighbridge), yang masih banyak bergantung pada proses manual sehingga lambat dan rentan terhadap human error. Penelitian ini merancang Prototype Smart Weighbridge berbasis Internet of Things (IoT) untuk melakukan penimbangan otomatis, identifikasi kendaraan, serta pencatatan data secara real-time ke database. Sistem prototipe dikembangkan dengan menggunakan Loadcell sebagai sensor utama yang diolah melalui ADC presisi tinggi HX711, dan diproses oleh mikrokontroler ESP32. Perangkat ini juga mengintegrasikan RFID RC522 untuk identifikasi, LCD 1602 untuk menampilkan hasil, printer thermal untuk mencetak struk, serta pengiriman data nirkabel melalui Wi-Fi menggunakan protokol API. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi pengukuran yang tinggi dengan rata-rata error hanya 0,1%–0,2%, tingkat keberhasilan transmisi data 100% dengan latensi 0,6 detik, serta konsumsi daya yang sangat rendah yaitu 6,0  $\mu$ A. Secara keseluruhan, Prototype Smart Weighbridge terbukti akurat, stabil, efisien, dan mampu meningkatkan efektivitas operasional dengan mengurangi ketergantungan pada proses penimbangan manual.

**Kata Kunci:** *Smart Weighbridge*, IoT, Loadcell, HX711, ESP32, RFID, Latensi.

## KATA PENGHANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatnya penulis dapat mengajukan tugas akhir ini yang disusun guna memenuhi syarat untuk pembuatan skripsi. Adapun judul yang penulis ajukan adalah sebagai berikut ***"PROTOTYPE SMART WEIGHTBRIDGE MENGGUNAKAN LOADCELL TERINTEGRASI DENGAN DATABASE"***.

Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Peneliti menyadari bahwa isi yang terkandung dalam skripsi ini belum sempurna, hal ini disebabkan oleh terbatasnya waktu, kemampuan dan pengalaman yang peneliti miliki dalam penyajiannya. Oleh karena itu dengan hati yang sangat tulus peneliti menerima kritik dan saran serta masukan yang membangun dari para pembaca. Pada kesempatan ini juga peneliti sertakan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas karunia dan rahmat-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir tepat waktu.
2. Ayah dan Ibu tercinta selaku orang tua yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan dan motivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Teruntuk, Cinta Elvina Hassan. pihak yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Rahmat fauzi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Elvy Sahnur Nasution S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas

Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2021, 2022, 2023, 2024 dan 2025

Dalam bagian akhir kata penghantar ini, penulis mohon maaf apabila terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karna itu, segala kritik dan saran penulis terima dengan senang hati demi kesempurnaan skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan.

**Medan, 7 Mei 2026**

**Penulis**



**Taufik Darmansyah**

**2107220040**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>SURAHbT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGHANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu .....	7
2.2 Konsep Dasar Sistem Timbangan Digital .....	8
2.2.1 Loadcell.....	9
2.2.2 HX711 Loadcell Amplifier .....	11
2.2.3 Prinsip Kerja Loadcell dan HX711 .....	12
2.3 Mikrokontroler ESP32 .....	12
2.3.1 Fitur dan Spesifikasi ESP32.....	13
2.3.3 Komunikasi Serial dan WiFi ESP32 .....	15
2.4 LCD 1602.....	15
2.4.1 Interface LCD 1602 dengan I2C .....	16
2.4.2 Cara Kerja LCD 1602 .....	17
2.5 Sensor RFID RC522 .....	18
2.5.1 Prinsip Kerja RFID .....	19

2.5.2 Komponen RFID: Tag dan Reader .....	20
2.6 Kartu RFID 13.56 MHz .....	20
2.6.1 Sistem Identifikasi Otomatis .....	21
2.6.2 Aplikasi RFID dalam Sistem Timbangan .....	22
2.7 Printer Mini (Thermal Printer) .....	22
2.7.1 Cara Kerja dan Kelebihan Printer Mini .....	23
2.7.2 Format Output Cetak Timbangan .....	24
2.8 Breadboard dan Kabel Jumper .....	24
2.8.1 Fungsi Breadboard dalam Rangkaian Prototype .....	25
2.8.2 Jenis dan Fungsi Kabel Jumper .....	26
2.9 Modul Bracket Traffic Light Simulator .....	26
2.9.1 Fungsi Lampu Indikator Timbangan .....	27
2.9.2 Pengendalian Lampu pada Sistem Timbangan .....	28
2.10 Catu Daya Sistem .....	28
2.10.1 Rangkaian Power Supply 5V DC .....	29
2.10.2 Power Management pada Sistem Timbangan .....	29
2.11 Internet of Things (IoT) .....	30
2.11.1 Konsep dan Manfaat IoT .....	31
2.11.2 Integrasi IoT dengan Smart Weighbridge .....	31
2.12.1 Jenis Database yang Digunakan (PostgreSQL) .....	32
2.12.2 Metode Pengiriman Data dari ESP32 ke Database .....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1. Metodologi Penelitian .....	34
3.1.1. Metode Penelitian (Perancangan dan Eksperimen) .....	34
3.1.2. Waktu Perancangan .....	35
3.1.3. Tempat Perancangan .....	36
3.2. Identifikasi Kebutuhan Sistem .....	36
3.2.1. Bahan dan Alat .....	36
3.2.1.1. Bahan Perancangan (Komponen Hardware) .....	36
3.2.1.2. Alat Perancangan (Tools Pendukung) .....	37
3.2.2. Kebutuhan Perangkat Lunak ( <i>Software Requirements</i> ) .....	37
3.3. Diagram Blok Perancangan .....	39
3.3.1. Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras .....	39

3.3.2 Diagram Blok Perancangan Perangkat Lunak .....	40
3.3.3. Flowchart Sistem.....	41
3.4. Perancangan Perangkat Keras ( <i>Hardware Design</i> ).....	42
3.4.1. Perancangan Alat (Desain Mekanik/Fisik) .....	42
3.4.2. Rancangan Alat Keras ( <i>Wiring Diagram</i> ) .....	43
3.4.3. Rancangan Rangkaian Keseluruhan.....	44
3.4.4. Rancangan Alat Keseluruhan (Visualisasi Prototype Akhir).....	45
3.5. Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software Design</i> ).....	45
3.5.1. Konfigurasi Mikrokontroler dan Sensor .....	45
3.5.2. Perancangan Database dan Integrasi Cloud .....	45
3.6. Prinsip Kerja Sistem.....	47
3.6.1. Rangkaian Kerja Sistem.....	48
3.6.2. Mekanisme Kerja Alat dan Aliran Data.....	50
3.7. Kelebihan Sistem .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
4.1 Pengujian Kalibrasi dan Kondisi Awal.....	54
4.2 Hasil Pengujian Sistem pada Kendaraan .....	54
4.2.1 Pengujian Penimbangan dan Pencetakan Data .....	55
4.2.2 Pengujian Integrasi Pengiriman Data (API).....	56
4.3 Analisis Konsumsi Arus dan Daya Listrik.....	58
4.3.1 Data Konsumsi Arus Komponen .....	58
4.3.2 Pengujian Stabilitas Arus Terhadap Variasi Beban .....	59
4.3.3 Perhitungan Konsumsi Daya Total .....	60
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>62</b>
5.1 Kesimpulan .....	62
5.2 Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Loadcell.....	10
Gambar 2. 2 HX711 Loadcell Amplifier .....	11
Gambar 2. 3 Mikrokontroler ESP32.3.1 Fitur dan Spesifikasi ESP32 .....	13
Gambar 2. 4 LCD 1602.....	16
Gambar 2. 5 Sensor RFID RC522 .....	19
Gambar 2. 6 Kartu RFID 13.56 MHz .....	21
Gambar 2. 7 Printer Mini (Thermal Printer) .....	23
Gambar 2. 8 Breadboard dan Kabel Jumper .....	25
Gambar 2. 9 Modul Bracket Traffic Light Simulator .....	27
Gambar 2. 10 Catu Daya Sistem.....	28
Gambar 3. 1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras.....	39
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Perangkat Lunak .....	40
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem.....	41
Gambar 3. 4 Wiring Diagram.....	43
Gambar 3. 5 Rancangan Rangkaian Keseluruhan.....	44
Gambar 3. 6 Rangkaian Kerja Sistem.....	48
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Berat Kendaraan Uji .....	56
Gambar 4. 2 Grafik Latensi Pengiriman Data ke Server .....	57
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Konsumsi Arus Komponen.....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Perencanaan Kegiatan Penelitian .....	35
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran Kalibrasi.....	54
Tabel 4. 2 Data Hasil Penimbangan Kendaraan (Log Printer) .....	55
Tabel 4. 3 Ringkasan Data Pengujian Transmisi ke API .....	57
Tabel 4. 4 Data Konsumsi Arus Komponen .....	58
Tabel 4. 5Pengujian Stabilitas Arus Terhadap Variasi Beban .....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era digital telah memberikan dampak yang signifikan terhadap berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor transportasi dan logistik. Dalam aktivitas distribusi dan pengangkutan barang, sistem penimbangan kendaraan atau *weighbridge* memegang peranan penting untuk memastikan kendaraan tidak membawa muatan melebihi batas yang ditentukan serta untuk mendukung pencatatan distribusi barang secara akurat.

Namun, sistem jembatan timbang yang masih banyak digunakan di lapangan umumnya bersifat konvensional dan belum terintegrasi dengan sistem digital. Sistem ini memiliki berbagai kelemahan, seperti proses penimbangan yang lambat, tingginya potensi kesalahan pencatatan, serta lemahnya pengawasan terhadap kendaraan bermuatan berlebih (*overload*). Penelitian menunjukkan bahwa fungsi jembatan timbang belum berjalan secara optimal, sehingga masih banyak kendaraan *overload* yang lolos dari pengawasan dan berdampak pada rendahnya akuntabilitas sistem penimbangan [1].

Kondisi tersebut menjadi tantangan besar bagi perusahaan maupun instansi yang memiliki intensitas logistik tinggi. Ketidakefisienan dalam proses penimbangan dapat menghambat alur distribusi barang, meningkatkan beban kerja operasional, serta menimbulkan kerugian dari sisi waktu dan biaya. Selain itu, pencatatan hasil penimbangan yang masih dilakukan secara manual menyebabkan data rentan terhadap kesalahan input, duplikasi, maupun kehilangan data, yang dapat berdampak pada proses audit dan pelaporan operasional dalam jangka panjang [2].

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan sistem otomatisasi, muncul solusi berupa *Smart Weighbridge*, yaitu sistem jembatan timbang digital yang bekerja secara otomatis dan terintegrasi dengan sistem komputer. *Smart Weighbridge*

dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi penimbangan kendaraan secara *real-time*, mengurangi ketergantungan pada operator manusia, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya kesalahan pencatatan data [3].

Salah satu komponen utama dalam sistem Smart Weighbridge adalah sensor *load cell* bertegangan 5 V DC. Load cell berfungsi untuk mengubah beban mekanik menjadi sinyal listrik yang kemudian diproses oleh sistem. Penggunaan load cell 5 V DC dinilai lebih hemat daya dan mudah diintegrasikan dengan berbagai jenis mikrokontroler, seperti Arduino maupun ESP32, sehingga cocok diterapkan pada sistem timbangan digital berbasis otomatisasi [4].

Mikrokontroler berperan sebagai pusat pengendali sistem yang mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman hasil penimbangan ke perangkat keluaran maupun sistem penyimpanan data. Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem timbangan digital berbasis mikrokontroler dengan tingkat akurasi yang baik dan kemampuan pemrosesan data yang efisien [5].

Selain itu, Smart Weighbridge juga didukung oleh sistem database terintegrasi yang memungkinkan hasil penimbangan tersimpan secara otomatis dalam basis data terpusat. Sistem ini memudahkan proses pelacakan riwayat penimbangan, pembuatan laporan, serta analisis data operasional. Dukungan teknologi *Internet of Things* (IoT), seperti penggunaan RFID dan jaringan komunikasi data, memungkinkan identifikasi kendaraan dan pemantauan sistem dilakukan secara otomatis tanpa intervensi manual [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan suatu inovasi sistem penimbangan kendaraan yang mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keandalan proses penimbangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Weighbridge berbasis load cell 5 V DC yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan sistem database, sehingga diharapkan mampu menjadi solusi modern yang lebih efektif dibandingkan sistem jembatan timbang konvensional.

## 1.2 Identifikasi Masalah

- a. *Weighbridge* masih memerlukan sumber daya manusia dan kadang bisa terjadi *human error* sehingga *Smart Weighbridge* bisa menjadi solusi bagi perusahaan.
- b. Pemanfaatan teknologi *Smart Weighbridge* di industri masih terbatas, sehingga potensi pengembangan dan efektivitasnya belum optimal.
- c. Penerapan sistem jembatan timbang digital masih terbatas, yang menghambat optimalisasi efisiensi waktu dan mempermudah perusahaan dalam mengolah data kendaraan yang masuk dan keluar.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih fokus dan tidak meluas dari pembahasan yang dimaksud, penelitian ini hanya membahas tentang perancangan dan implementasi sistem *Smart Weighbridge* menggunakan sensor *loadcell* bertegangan 5V DC, yang terhubung dengan *mikrokontroler ESP32*, serta terintegrasi secara otomatis dengan *database*.

## 1.4 Rumusan Masalah

- a. Bagaimanakah cara mengevaluasi kinerja sistem *Smart Weighbridge* dalam melakukan proses penimbangan kendaraan secara digital?
- b. Sejauh mana potensi pemanfaatan teknologi *Smart Weighbridge* dalam meningkatkan efektivitas sistem penimbangan di masa mendatang?
- c. Bagaimana strategi optimalisasi efisiensi waktu dan penggunaan sumber daya manusia melalui penerapan sistem jembatan timbang berbasis teknologi digital?

## 1.5 Tujuan Penelitian

- a. Merancang dan mengembangkan sistem *Smart Weighbridge* yang dapat melakukan penimbangan kendaraan secara akurat menggunakan sensor *loadcell* bertegangan 5V DC.
- b. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja sistem *Smart Weighbridge*, terutama dalam hal akurasi hasil penimbangan dan keandalan sistem secara keseluruhan.
- c. Mengkaji potensi pemanfaatan teknologi *Smart Weighbridge* untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya manusia dalam proses penimbangan kendaraan.
- d. Menyediakan solusi sistem digital untuk pengelolaan data penimbangan secara otomatis dan *real-time* melalui integrasi dengan *database*.

## 1.6 Manfaat Penelitian

### Manfaat bagi Penulis

- a. Pengembangan pengetahuan dan keterampilan  
Penelitian ini memberikan kesempatan bagi penulis untuk mengembangkan pemahaman lebih dalam mengenai teknologi *Smart Weighbridge*, sensor *loadcell*, serta integrasi sistem digital dengan *database*, yang berguna untuk meningkatkan keterampilan di bidang teknologi dan sistem informasi.
- b. Peningkatan kemampuan riset  
Penulis memperoleh pengalaman dalam merancang dan mengimplementasikan sistem berbasis teknologi, serta kemampuan dalam menganalisis dan menguji kinerja sistem, yang berguna untuk pengembangan karir di bidang riset dan pengembangan teknologi.
- c. Penerapan teori ke praktik  
Penulis dapat mengaplikasikan teori-teori yang diperoleh selama perkuliahan dalam implementasi dunia nyata, khususnya di bidang teknologi otomasi dan sistem penimbangan digital.

Manfaat bagi Universitas:

- a. Kontribusi dalam Pengembangan Teknologi  
Penelitian ini dapat menjadi kontribusi bagi pengembangan teknologi di bidang penimbangan kendaraan, khususnya dalam pemanfaatan teknologi sensor dan *database* untuk meningkatkan efisiensi operasional di industri.
- b. Peningkatan Reputasi Akademik  
Dengan menghasilkan penelitian yang relevan dan aplikatif, universitas dapat meningkatkan reputasinya sebagai lembaga yang mendukung inovasi dan riset berbasis teknologi yang bermanfaat langsung bagi industri dan masyarakat.
- c. Sumber Referensi Penelitian Selanjutnya  
Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian lebih lanjut di bidang yang sama atau terkait, baik dalam pengembangan sistem *Smart Weighbridge* lebih lanjut maupun penerapan teknologi sensor lainnya.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan Pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungs-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

#### BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

#### BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu**

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, telah banyak dikembangkan sistem penimbangan dan monitoring berbasis sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler serta teknologi Internet of Things (IoT). Penelitian-penelitian tersebut menjadi landasan penting dalam pengembangan sistem Smart Weighbridge yang bertujuan meningkatkan efisiensi, akurasi, dan transparansi proses penimbangan secara otomatis.

Penelitian yang dilakukan oleh Adinda Safura dalam tugas akhir berjudul *“Prototype Sistem Otomatisasi Konversi Biaya Tambahan Bagasi Overload pada Baggage Weighing Scale di Bandar Udara”* membahas sistem penimbangan bagasi berbasis otomatisasi yang mampu mendeteksi kelebihan beban dan mengonversinya menjadi biaya tambahan secara sistematis. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sensor berat dan sistem pemrosesan otomatis dapat meningkatkan kecepatan serta akurasi pengambilan keputusan dalam sistem penimbangan, yang relevan dengan konsep otomatisasi pada Smart Weighbridge [7].

Selanjutnya, penelitian oleh Yohanes Dhimas Sigit Budoyo dan Anna Dara Andriana dengan judul *“Sistem IoT Timbangan Digital Menggunakan Sensor Load Cell di UD. Pangrukti Tani”* mengkaji penggunaan sensor load cell yang terintegrasi dengan sistem IoT untuk penimbangan digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor load cell mampu menghasilkan data berat yang akurat dan dapat dikirimkan secara real-time melalui jaringan internet. Konsep integrasi sensor, mikrokontroler, dan sistem IoT ini menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem Smart Weighbridge berbasis monitoring jarak jauh [8].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Muhammad Zidhan Augestri et al. dalam artikel *“Penerapan Teknologi IoT dalam Optimalisasi Rantai Pasok Industri Logistik”* membahas peran IoT dalam meningkatkan efisiensi proses logistik melalui integrasi

data dan sistem monitoring terpusat. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan IoT mampu mempercepat aliran informasi, meningkatkan transparansi data, serta mendukung pengambilan keputusan secara real-time. Pendekatan ini relevan dengan sistem Smart Weighbridge yang membutuhkan integrasi data penimbangan kendaraan ke dalam sistem logistik secara menyeluruh [9]

Penelitian lain menerapkan sistem kontrol cerdas berbasis logika fuzzy Mamdani pada proses sortir buah tomat untuk meningkatkan kualitas hasil produksi. Sistem ini memanfaatkan sensor sebagai input dan mikrokontroler sebagai pengendali utama dalam pengambilan keputusan otomatis. Konsep pengolahan data sensor dan kontrol otomatis ini relevan dengan pengembangan sistem Smart Weighbridge yang mengandalkan pemrosesan data berat secara real-time [10].

Penelitian lain menganalisis sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis mikrokontroler ATmega8535 yang mampu membaca data sensor dan menampilkannya secara akurat. Studi ini menunjukkan bahwa mikrokontroler efektif digunakan sebagai pusat pengolahan data sensor dalam sistem monitoring. Pendekatan serupa diterapkan pada Smart Weighbridge dalam pengolahan data berat kendaraan [11].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor load cell, mikrokontroler, teknologi IoT, serta sistem otomatisasi dan integrasi data merupakan pendekatan yang efektif dalam membangun sistem penimbangan digital. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem Smart Weighbridge yang mengadopsi konsep-konsep tersebut untuk menghasilkan sistem penimbangan kendaraan yang efisien, akurat, dan transparan secara real-time.

## **2.2 Konsep Dasar Sistem Timbangan Digital**

Sistem timbangan digital modern bekerja dengan mengubah gaya atau beban menjadi sinyal listrik, lalu memproses sinyal tersebut menjadi nilai berat. Komponen utama sistem ini adalah load cell, suatu transduser gaya yang sangat umum digunakan pada banyak aplikasi industri dan penelitian. Load cell umumnya berupa batang logam dengan strain gauge terintegrasi, yang deformasi elastisnya diubah menjadi perubahan

resistansi. Sistem ini sering menggunakan jembatan Wheatstone, di mana saat beban diberikan, terjadi perubahan resistansi elemen-elemen pada jembatan tersebut. Perubahan resistansi ( $R_1$  dan  $R_4$  naik,  $R_2$  dan  $R_3$  turun) menyebabkan beda potensial output yang sebanding dengan gaya yang diberikan. Sinyal output yang masih sangat kecil (dalam skala milivolt) dari load cell kemudian perlu diperkuat dan dikonversi menjadi sinyal digital.

Di sinilah modul HX711 berperan. HX711 adalah penguat sinyal 24-bit ADC presisi tinggi khusus untuk timbangan, yang menguatkan sinyal analog dari load cell dan mengkonversinya menjadi data digital. Spesifikasi HX711 mencakup pengoperasian pada tegangan 5V DC dengan sensitivitas tinggi, sehingga cocok dipadukan dengan load cell 5V. Secara keseluruhan, prinsip dasar sistem timbangan digital adalah: beban mekanik diukur oleh load cell, sinyal analog ditransformasi oleh jembatan Wheatstone dan strain gauge menjadi sinyal listrik, lalu HX711 memperkuat serta mengubahnya menjadi keluaran digital. Hasil pembacaan berat selanjutnya dapat diolah oleh mikrokontroler dan ditampilkan atau disimpan sesuai kebutuhan.

### **2.2.1 Loadcell**

Load cell adalah sensor yang berfungsi mengubah tekanan atau beban menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Prinsip kerjanya memanfaatkan perubahan resistansi pada strain gauge yang ditempelkan pada elemen elastis, sehingga tegangan keluaran berubah sesuai dengan beban yang diterima. Load cell tipe 5 V DC sering digunakan karena hemat daya, mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler, dan memiliki akurasi tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa load cell dapat digunakan dalam berbagai skala, mulai dari timbangan buah digital hingga sistem penimbangan kendaraan.

Salah satu jenis load cell yang paling banyak digunakan dalam aplikasi berbasis mikrokontroler adalah strain gauge load cell. Pada tipe ini, beberapa strain gauge dilekatkan pada elemen logam yang elastis. Ketika elemen tersebut menerima beban, terjadi perubahan resistansi akibat tegangan, yang kemudian diproses melalui jembatan

Wheatstone untuk menghasilkan sinyal tegangan yang proporsional terhadap beban. Karena tegangan output-nya sangat kecil, maka digunakan penguat seperti IC HX711 untuk memperkuat dan mengubah sinyal tersebut menjadi bentuk digital. Keunggulan utama dari strain gauge load cell terletak pada akurasinya yang tinggi, kemampuan pengukuran dalam rentang luas (dari gram hingga ton), serta efisiensi biaya yang cukup baik untuk kinerja yang andal

Pada sistem smart weighbridge, beberapa load cell dipasang di bawah platform timbangan kendaraan. Ketika kendaraan melintas atau berhenti di atasnya, beban dari roda akan diteruskan ke load cell, yang kemudian menghasilkan sinyal analog sesuai dengan berat kendaraan. Sinyal ini masuk ke modul HX711 untuk diperkuat dan dikonversi menjadi data digital, lalu dibaca oleh mikrokontroler seperti NodeMCU atau Arduino.

Selanjutnya, data berat hasil pengukuran dikalibrasi dan dikirim ke database melalui antarmuka komunikasi seperti Wi-Fi, Ethernet, atau serial. Proses ini memungkinkan pencatatan berat kendaraan secara otomatis dan real-time. Dengan demikian, integrasi antara load cell, HX711, dan sistem mikrokontroler meningkatkan efisiensi operasional serta akurasi pencatatan data penimbangan kendaraan.



**Gambar 2. 1 Loadcell**

### 2.2.2 HX711 Loadcell Amplifier

HX711 adalah modul penguat sinyal (amplifier) dan konverter analog ke digital (ADC) yang dirancang khusus untuk load cell. Modul ini memperkuat sinyal yang sangat kecil dari load cell hingga dapat diproses oleh mikrokontroler. Penggunaan HX711 pada sistem penimbangan terbukti mampu menghasilkan pembacaan berat yang stabil dan real-time.

Modul ini memiliki penguat internal (PGA) dengan penguatan 32, 64, atau 128 kali, serta dua saluran input diferensial. HX711 bekerja pada tegangan 5V DC dan memiliki dua pin utama, DT dan SCK, untuk komunikasi serial dengan mikrokontroler.

Dalam pembuatan Smart Weighbridge, HX711 digunakan untuk membaca tegangan kecil dari loadcell, memperkuatnya, dan menghasilkan nilai digital resolusi tinggi. Dengan demikian, HX711 memungkinkan mikrokontroler ESP32 membaca hasil timbangan dalam bentuk data digital yang akurat. Penggunaan HX711 sangat menguntungkan karena sensitivitas tinggi dan kemampuannya mendeteksi perubahan kecil pada sinyal beban, sehingga meningkatkan akurasi timbangan. Modul ini juga menyederhanakan desain perangkat karena tidak memerlukan penguat eksternal; cukup sambungkan loadcell ke HX711 dan hubungkan ke mikrokontroler.



**Gambar 2. 2 HX711 Loadcell Amplifier**

### **2.2.3 Prinsip Kerja Loadcell dan HX711**

Gabungan antara load cell dan HX711 adalah inti dari sistem pengukuran berat. Saat beban diletakkan pada platform atau mekanik penyangga load cell, elemen logam dalam load cell tertekan sehingga strain gauge menghasilkan perubahan resistansi. Perubahan ini disusun dalam jembatan Wheatstone sehingga keluaran analog ( $\Delta V$ ) muncul sesuai beban. Keluaran analog ini kemudian masuk ke HX711, yang bertindak sebagai penguat diferensial.

Pada HX711, tegangan diferensial input tersebut dikalibrasi melalui pengaturan gain (umumnya 128x), diproses oleh ADC internal, lalu dikodekan menjadi data digital 24-bit. Data digital dari HX711 selanjutnya dikirim ke mikrokontroler (ESP32) melalui antarmuka digital (pin DT dan SCK).

Mikrokontroler membaca data dari HX711 dengan protokol clock sederhana, kemudian melakukan komputasi seperti kalibrasi (misal mengkalibrasi faktor beban) dan konversi ke satuan berat. Dengan cara ini, beban mekanik telah berhasil diubah menjadi nilai numerik yang dapat ditampilkan ataupun dikirim ke database. Secara ringkas, load cell menghasilkan sinyal analog pertama, sementara HX711 menguatkan dan mentransformasikan sinyal tersebut menjadi format digital yang siap diproses lebih lanjut

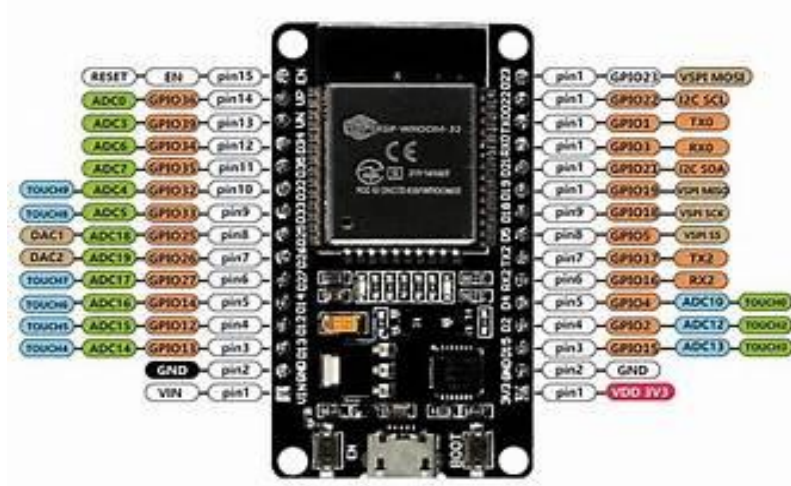
## **2.3 Mikrokontroler ESP32**

Mikrokontroler merupakan komponen utama dalam sistem Smart Weighbridge yang berfungsi sebagai pusat pengendali seluruh proses kerja sistem. Mikrokontroler bertugas mengolah data dari sensor, mengendalikan perangkat keluaran, serta mengatur komunikasi data dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT).

Pengembangan Trainer KIT mikrokontroler Arduino Uno berbasis IoT menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat digunakan sebagai pusat pengendali sistem sekaligus sebagai penghubung antara sensor dan jaringan internet. Penelitian tersebut membuktikan bahwa mikrokontroler mampu mengolah data dari sensor dan mengirimkannya ke sistem monitoring secara daring. Konsep ini relevan dengan

penggunaan ESP32 pada sistem Smart Weighbridge sebagai pengendali utama dan penghubung ke sistem monitoring berbasis IoT [12].

Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler ESP32 karena telah dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Fitur ini mendukung pengiriman data berat dan identitas kendaraan ke server secara real-time, serta memungkinkan pencetakan struk hasil penimbangan melalui printer Bluetooth. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ESP32 memiliki koneksi yang stabil untuk aplikasi monitoring berbasis IoT [13].



*Gambar 2. 3 Mikrokontroler ESP32.3.1 Fitur dan Spesifikasi ESP32*

### 2.3.1 Fitur dan Spesifikasi ESP32

ESP32 dilengkapi dengan fitur-fitur unggulan untuk aplikasi tertanam. Selain prosesor dual-core, ESP32 memiliki kapasitas memori internal yang cukup besar (520 KB SRAM, 448 KB ROM). Konektivitas nirkabel bawaannya sangat kuat: selain Wi-Fi 802.11 b/g/n, ia juga mendukung Bluetooth (BR/EDR & BLE). Pada level perifer, ESP32 menyediakan hingga 34 pin GPIO yang dapat diprogram.

Setiap GPIO tersebut fleksibel: sebagian digital-only, sebagian mendukung fungsi ADC, dan beberapa mendukung sensor sentuhan kapasitif. Perangkat keras ini

juga menonjol dalam hal kemampuan analog: ia memiliki dua ADC 12-bit (18 saluran input analog) dan dua DAC 8-bit. Fitur lainnya termasuk koneksi komunikasi seperti SPI (4 buah), I<sup>2</sup>C (2 buah), UART (3 buah) dan beberapa antarmuka khusus (PWM, Remote Controller, counter kuadratur). Kombinasi ini membuat ESP32 serba guna untuk menghubungkan sensor, modul tampilan, dan aktuator.

Untuk sistem timbangan digital, prosesor cepat dan kemampuan multi-GPIO ESP32 memastikan pembacaan HX711 dapat dilakukan dengan presisi tinggi, sementara Wi-Fi dapat dimanfaatkan untuk mentransmisikan data. Semua fitur ini menjadikan ESP32 cocok sebagai “otak” bagi timbangan digital berbasis IoT

### **2.3.2 Konfigurasi Pin ESP32**

Secara fisik, papan pengembangan ESP32 (misalnya ESP32 DevKit) memiliki dua baris header pin. Masing-masing pin diberi nomor GPIO dan memiliki kemampuan beragam. Ada pin yang hanya berfungsi sebagai digital input/output, dan ada pula yang mendukung fungsi analog (ADC) atau sentuhan kapasitif. Pola penomoran pin perlu diperhatikan: beberapa pin ADC hanya bisa sebagai input saja (GPIO34–39 input-only), sedangkan pin lainnya dapat diatur sebagai input atau output. Selain itu, pin-power (3.3V, GND) juga tersedia pada board untuk suplai dan referensi ground. Dalam perancangan, pemilihan pin perlu disesuaikan: contohnya, modul HX711 membutuhkan dua pin digital (untuk DT dan SCK), sementara modul LCD I2C hanya memerlukan dua pin untuk SDA dan SCL.

Secara keseluruhan, konfigurasi pin ESP32 sangat fleksibel, memungkinkan koneksi berbagai komponen sekaligus, seperti sensor, modul display, dan modul nirkabel. Karena bersifat solderless pada papan devkit, pin-pin ini dapat langsung dihubungkan menggunakan kabel jumper ke breadboard atau modul lain, mempermudah pembuatan prototipe rangkaian

### 2.3.3 Komunikasi Serial dan WiFi ESP32

Untuk komunikasi data, ESP32 memiliki antarmuka serial dan nirkabel yang dapat diandalkan. Tiga buah UART hardware disediakan untuk komunikasi serial standar. Hal ini memungkinkan ESP32 terhubung ke modul berseri lain (misalnya GPS, GSM) atau ke komputer via USB-serial. Dalam konteks timbangan, komunikasi UART dapat digunakan untuk debugging atau mengirim data ke perangkat lain. Selain itu, kemampuan WiFi internal ESP32 memungkinkan konektivitas ke jaringan lokal atau internet. Sebagai contoh, ESP32 dapat mengirim hasil penimbangan melalui protokol HTTP ke sebuah server atau berlangganan/mempublikasikan pesan melalui MQTT ke broker publik. Ini memberi sistem timbangan akses jarak jauh: data berat dapat tersimpan dalam database cloud dan dimonitor di mana saja.

Dalam level protokol, modul WiFi ESP32 mendukung standar 802.11 b/g/n, sedangkan Bluetooth-nya mendukung Bluetooth Classic dan BLE. Ketersediaan kedua mode nirkabel membuat ESP32 fleksibel: WiFi untuk koneksi stabil ke jaringan, dan Bluetooth untuk aplikasi jarak dekat. Dengan demikian, ESP32 menggabungkan kemampuan komunikasi serial (UART) dan nirkabel (WiFi/Bluetooth) dalam satu platform kompak, sangat bermanfaat untuk pengembangan smart weighbridge terintegrasi.

### 2.4 LCD 1602

LCD 1602 adalah modul tampilan dua baris yang mampu menampilkan hingga 16 karakter per baris. Modul ini digunakan untuk menampilkan informasi berat, ID kendaraan, atau status sistem. Dalam beberapa inovasi, LCD dilengkapi dengan output suara untuk membantu pengguna. LCD jenis ini menggunakan teknologi *Liquid Crystal Display* untuk menampilkan huruf, angka, dan simbol. Dalam proyek *Smart Weighbridge*, LCD 1602 berfungsi menunjukkan nilai timbangan, status operasi, dan informasi lain kepada operator secara langsung di lokasi timbangan. Modul ini dikendalikan oleh driver HD44780 (atau kompatibel) yang telah menyediakan *character generator* internal untuk huruf bawaan. Dengan menulis kode ASCII ke

alamat tertentu pada controller, karakter-karakter ditampilkan pada baris dan kolom sesuai posisi yang diinginkan. LCD 1602 juga dilengkapi lampu latar (backlight) sehingga tulisan terlihat jelas.

Secara garis besar, data karakter dan perintah dikirim ke pin-pin data (D4–D7 jika menggunakan mode 4-bit) dengan pin RS untuk memilih register perintah/data, pin RW untuk memilih read/write, dan pin E untuk latch data. LCD kemudian akan menampilkan karakter sesuai kode ASCII pada alamat memori tampilan (DDRAM) yang ditetapkan. Sifat utama layar LCD 1602 adalah tidak langsung memproses teks secara serial seperti LED, melainkan memerlukan proses komunikasi register dengan chip pengontrol. Meski demikian, modul ini mudah digunakan karena cukup mengirimkan kode karakter dan perintah minimalis, lalu kristal cair di layar akan menampakan teks sesuai setting yang diberikan



**Gambar 2. 4 LCD 1602**

#### **2.4.1 Interface LCD 1602 dengan I2C**

Secara default, LCD 1602 menggunakan antarmuka paralel (7-8 pin digital) untuk data dan kontrol. Hal ini memakan banyak pin mikrokontroler. Untuk mengatasi keterbatasan pin, sering digunakan modul I2C expander (misalnya berbasis chip PCF8574) yang menghubungkan LCD ke mikrokontroler hanya lewat dua jalur SDA dan SCL. Dengan modul ini, semua sinyal LCD dikendalikan melalui jalur I2C dua arah, sehingga mikrokontroler hanya perlu mengirim data serial via I2C sebagai master dan LCD bertindak sebagai slave.

Sebagai ilustrasi, tanpa I2C, dibutuhkan koneksi ke pin RS, RW, E, dan D4–D7 (total 6 pin digital) ditambah pin VCC dan GND. Setelah memakai modul I2C, hanya diperlukan empat kabel: VCC, GND, SDA, dan SCL. Melalui komunikasi I2C, data yang dikirim berupa urutan byte ke chip PCF8574, yang kemudian menyalurkan sinyal tersebut ke pin-pin LCD. Hal ini mempermudah instalasi dan pengurangan ruwet kabel pada prototipe. Dalam modul ini, terdapat logika internal yang mirip shift register: data I2C menuju chip PCF8574 akan menggerakkan pin pin yang terhubung ke LCD. Dengan kata lain, modul I2C ini menyederhanakan antarmuka agar hanya dua pin SDA/SCL yang digunakan, menjadikan LCD 1602 lebih efisien dalam penggunaan pin

#### **2.4.2 Cara Kerja LCD 1602**

LCD 1602 bekerja dengan prinsip susunan dot-matrix untuk tiap karakter. Setiap karakter ditampilkan dalam matriks 5x8 atau 5x10 titik cairan kristal, dikendalikan oleh chip HD44780 yang terintegrasi. Chip ini sudah memiliki memori tampilan (DDRAM) dan penyandi karakter internal yang mencakup font ASCII standar. Ketika mikrokontroler mengirim kode perintah atau data ke LCD (melalui antarmuka paralel atau I2C), controller menempatkan karakter tersebut ke DDRAM. Controller kemudian menyalurkan pola bit dari DDRAM ke panel LCD yang menyebabkan segmen kristal cair menyesuaikan orientasi untuk memblokir atau membiaskan cahaya tertentu, membentuk karakter yang terlihat. HD44780 memungkinkan definisi hingga delapan karakter khusus (custom) jika diperlukan. Dengan demikian, proses dasar LCD 1602 meliputi penerimaan perintah data karakter, penyimpanan dalam memori internal, dan pemancaran sinyal ke panel kristal untuk menghasilkan tampilan teks.

## 2.5 Sensor RFID RC522

RFID (Radio Frequency Identification) adalah teknologi identifikasi objek menggunakan gelombang radio. Sistem ini terdiri dari *tag* dan *reader* yang memungkinkan pembacaan data secara otomatis tanpa kontak fisik. Dalam sistem *Smart Weighbridge*, RFID digunakan untuk mengidentifikasi kendaraan secara cepat dan akurat. Pemanfaatan modul RFID RC522 terbukti efektif sebagai media validasi kehadiran atau akses objek karena menawarkan kecepatan pembacaan yang tinggi [14].

Sistem RFID terdiri dari tiga komponen utama. antena pemancar, transceiver pembaca, dan transponder (*tag*). Ketika *tag* (kartu RFID) berada dalam medan elektromagnetik pembaca, ia menyerap energi gelombang tersebut dan secara induktif mengirimkan kembali informasi unik yang terpatri di dalam chip-nya.

Pembaca RC522 mengumpulkan gelombang yang dipancarkan *tag* tersebut dan menerjemahkannya menjadi data ID yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Dalam modul RC522, terdapat chip MFRC522 yang telah mencakup rangkaian RF dan digital untuk pengolahan komunikasi RFID. Modul ini bekerja sebagai pembaca/writer, cocok digunakan untuk membaca *tag* berfrekuensi 13.56 MHz seperti MIFARE. Proses pembacaan biasanya melibatkan login ke *tag*, lalu pengambilan nilai identitas yang tersimpan. Oleh karena itu, dalam sistem timbangan cerdas, RC522 berfungsi sebagai antarmuka identifikasi – misalnya membaca kartu pengenalan pengguna atau kendaraan sebelum proses penimbangan.

Dalam sistem *Smart Weighbridge*, sensor RC522 digunakan untuk membaca data identitas dari *tag* RFID (misalnya kartu supir atau *tag* pada kendaraan) secara nirkontak. Modul RC522 menghasilkan medan elektromagnetik 13.56 MHz untuk menyalakan *tag* pasif, kemudian menerima sinyal respon dari *tag* tersebut. Komunikasi antara RC522 dan mikrokontroler dilakukan melalui antarmuka SPI (Serial Peripheral Interface) berkecepatan tinggi. Intinya, saat *tag* RFID mendekat ke pembaca, RC522 memancarkan sinyal RF dan mengambil data unik dari *tag*, lalu mengirimkannya ke ESP32 untuk diproses.



**Gambar 2. 5 Sensor RFID RC522**

### **2.5.1 Prinsip Kerja RFID**

RFID (Radio Frequency Identification) bekerja dengan menggunakan gelombang radio untuk melakukan identifikasi otomatis terhadap objek yang diberi tag. Dalam sistem RFID minimal dibutuhkan dua komponen: tag (transponder) dan reader (pembaca). Reader memancarkan gelombang radio untuk menyalakan dan berkomunikasi dengan tag yang berada dalam jangkauannya. Tag, yang melekat pada suatu objek, kemudian mengirimkan data yang tersimpan di dalamnya (seperti ID unik) kembali ke reader melalui respons elektromagnetik. Proses ini memungkinkan pembacaan identitas objek tanpa perlu kontak fisik langsung. Misalnya, ketika pembaca RFID mendeteksi keberadaan tag, pembaca tersebut menangkap sinyal balasan dari tag dan mengubahnya menjadi informasi yang dapat diolah lebih lanjut

Kelebihan lainnya adalah kecepatan pembacaan dan kemampuan membaca beberapa tag bersamaan (tergantung implementasi), yang tidak dimiliki teknologi manual seperti barcode. Intinya, RFID memungkinkan pengenalan otomatis melalui induksi frekuensi radio, memastikan tag pasif hanya perlu mendekat ke area pembaca untuk diidentifikasi

### **2.5.2 Komponen RFID: Tag dan Reader**

RFID Tag (Transponder): Tag RFID adalah perangkat elektronik kecil yang terdiri dari chip penyimpanan data dan antena. Chip dapat menyimpan sejumlah data (biasanya puluhan hingga ribuan byte) berupa ID atau informasi lain. Tag bersifat pasif (tanpa baterai) atau aktif (dengan baterai). Tag pasif lebih umum digunakan karena ukurannya kecil dan biayanya rendah. Contoh tag pasif adalah kartu RFID MIFARE; ada versi read-only dan read/write tergantung kemampuan pembaruan datanya. Ketika berada dalam medan radio dari reader, tag pasif menggunakan energi yang ditangkap untuk mengirimkan data kembali ke reader

RFID Reader: Reader atau pembaca RFID adalah perangkat yang memancarkan sinyal interogasi ke tag dan menerima balasan dari tag. Reader aktif berfungsi mengirimkan medan radio (yang juga menginduksi tag pasif) dan membaca respon autentikasi dari tag. Data yang diterima oleh reader kemudian didekode dan dikirim ke mikrokontroler atau sistem backend untuk diproses lebih lanjut. Dalam perangkat *Smart Weighbridge*, RC522 bertindak sebagai reader: ia memancarkan gelombang 13.56 MHz, menerima sinyal dari tag yang terdekat, dan menyalurkan ID tag tersebut ke ESP32.

### **2.6 Kartu RFID 13.56 MHz**

Kartu RFID 13.56 MHz (sering berupa kartu MIFARE) adalah media identifikasi nirkontak yang menggunakan gelombang radio frekuensi tinggi untuk transmisi data. Kartu jenis ini berisi chip semikonduktor dan antena terintegrasi, serta bekerja pada frekuensi 13.56 MHz.. Dalam konteks *Smart Weighbridge*, kartu RFID digunakan untuk mengidentifikasi kendaraan atau operator yang sedang menimbang, sehingga setiap proses timbangan dapat dikaitkan dengan identitas tertentu secara otomatis. Saat kartu dibawa ke dekat reader RC522, kartu ini akan merespons medan elektromagnetik dari pembaca dan mengirimkan data ID yang tersimpan di dalamnya ke sistem. Dengan demikian, kartu RFID berfungsi sebagai kunci akses atau tag

identifikasi dalam sistem, memungkinkan pencatatan data timbang yang akurat dan otomatis tanpa perlu memasukkan data secara manual.



**Gambar 2. 6 Kartu RFID 13.56 MHz**

### **2.6.1 Sistem Identifikasi Otomatis**

Sistem identifikasi otomatis (Automatic Identification) adalah teknologi yang memungkinkan pengenalan objek atau entitas tanpa kontak fisik langsung dan tanpa campur tangan manusia secara langsung. RFID merupakan salah satu bentuk sistem identifikasi otomatis menggunakan gelombang radio untuk mentransfer data antara tag elektronik dan pembacanya. Dalam sistem otomatisasi seperti *Smart Weighbridge*, konsep ini berarti setiap kendaraan atau bahan yang melewati timbangan secara otomatis diidentifikasi melalui tag RFID atau media serupa. Identitas tersebut kemudian digunakan untuk mencatat informasi timbangan yang bersangkutan dalam database, menghilangkan kebutuhan input manual dan mempercepat proses pengukuran.

### **2.6.2 Aplikasi RFID dalam Sistem Timbangan**

Dalam sistem timbangan cerdas, RFID berperan sebagai alat identifikasi otomatis yang melengkapi data pengukuran berat. Misalnya, setiap kendaraan atau operator dapat memiliki kartu RFID unik. Ketika kendaraan masuk area penimbangan, reader RFID akan membaca ID kartu tersebut. Data identitas ini kemudian otomatis dihubungkan dengan hasil penimbangan yang diukur oleh sensor berat. Dengan begitu, proses pencatatan menjadi tersistem: “data berat” dan “data identifikasi” dipasangkan secara otomatis dalam basis data. Sebagaimana dipaparkan dalam kajian timbangan berbasis RFID UHF, setiap pengiriman atau kendaraan diberi tag RFID. Ketika ditimbang, sistem secara otomatis membaca tag RFID dan “mengikat” data berat dengan informasi tag sebelum menyimpan ke sistem.

Hal ini meningkatkan akurasi pencatatan berat karena mencegah kesalahan input manual. Selain itu, data tersebut dapat langsung diarsipkan di database internal atau cloud, memudahkan pelacakan historis. Secara keseluruhan, penggunaan RFID 13.56 MHz dalam timbangan digital memungkinkan identifikasi objek secara otomatis, mempercepat proses timbang muat, dan memastikan keamanan data tertimbang dalam sistem terintegrasi.

### **2.7 Printer Mini (Thermal Printer)**

Printer thermal adalah perangkat pencetak yang menggunakan panas untuk membentuk teks atau gambar pada kertas sensitif panas. Teknologi ini banyak digunakan pada sistem penimbangan untuk mencetak struk hasil penimbangan karena cepat, hemat, dan tidak memerlukan tinta [15]. Pada printer mini (terutama model portabel) biasanya menggunakan direct thermal: kertas termal langsung dipanaskan oleh print head, menyebabkan senyawa kimia pada kertas itu berubah warna menjadi hitam di area yang dipanaskan. Karena tidak memerlukan tinta atau ribbon, printer ini sangat ideal untuk aplikasi sederhana seperti cetakan timbangan.

Kelebihan printer mini antara lain ukuran kompak, pencetakan cepat, dan biaya operasional rendah karena tidak perlu mengganti tinta. Selain itu, printer thermal

cenderung lebih senyap dan tahan lama karena sedikit sekali bagian mekanis yang aus. Dengan sifat-sifat tersebut, printer thermal mini menjadi pilihan tepat untuk sistem timbangan lapangan yang membutuhkan cetak hasil penimbangan secara instan.



**Gambar 2. 7 Printer Mini (Thermal Printer)**

### **2.7.1 Cara Kerja dan Kelebihan Printer Mini**

Saat perintah cetak dikirim, controller printer mengirimkan sinyal ke elemen pemanas (pixel print head). Setiap elemen pemanas akan memanaskan area tertentu pada kertas termal sesuai pola cetakan. Kertas termal ini dilapisi bahan kimia yang menggelap bila terkena panas, sehingga baris huruf atau angka terbentuk sesuai input data. Proses ini menjadikan struktur printer thermal sederhana: tanpa toner atau tinta, hanya elemen pemanas yang beroperasi.

Kelebihan: Ketiadaan tinta/toner membuat biaya operasional rendah; pengguna hanya perlu mengganti kertas secara periodik. Maintenance juga rendah karena komponen minim, serta kecepatan cetak tinggi cukup untuk keluaran data timbangan. Namun harus diperhatikan bahwa hasil cetak pada kertas termal mudah pudar jika terpapar panas atau sinar, namun untuk keperluan penimbangan sehari-hari, ketahanan cetak umumnya sudah memadai. Secara keseluruhan, kecepatan dan kesederhanaan

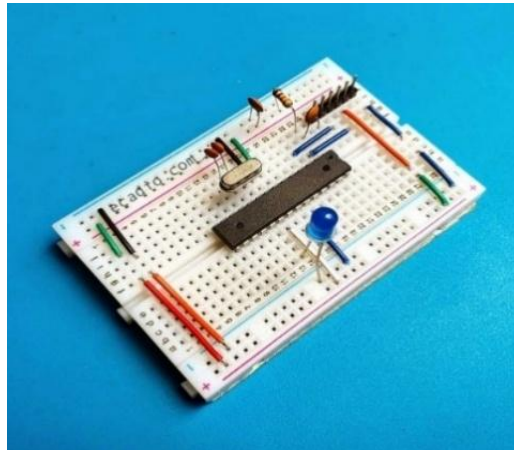
printer mini thermal membuatnya populer di titik penjualan, timbangan retail, dan aplikasi mobile, termasuk smart weighbridge.

### **2.7.2 Format Output Cetak Timbangan**

Format cetakan hasil timbangan umumnya memuat informasi penting untuk dokumentasi dan bukti timbang. Menurut pedoman tiket timbangan komersial, struk timbangan mencantumkan antara lain tanggal dan waktu pengukuran, identitas kendaraan atau akun (misalnya nomor polisi atau ID tag), berat kotor (kendaraan + muatan), berat tara (kendaraan kosong), dan berat bersih (muatan saja). Informasi tersebut tersusun secara teratur sehingga jelas dibaca dan mudah direkap. Pada *Smart Weighbridge*, printer mini thermal akan menghasilkan struk yang mencatat data-data di atas secara otomatis setiap selesai penimbangan, sehingga pengguna dapat menyimpan catatan berat untuk keperluan administrasi atau penagihan

## **2.8 Breadboard dan Kabel Jumper**

Dalam tahap prototipe, breadboard adalah elemen penting untuk merakit rangkaian elektronik secara tidak permanen. Breadboard adalah papan plastik dengan deretan lubang yang saling terhubung secara internal melalui strip logam. Keunggulan utamanya adalah kemudahan modifikasi: komponen dan kabel dapat ditancapkan tanpa penyolderan, sehingga komponen tetap utuh dan dapat dipindah-pindah. Hal ini memungkinkan pengembangan cepat dan debugging: apabila timbul kesalahan, komponen dapat dengan mudah dipindahkan atau disusun ulang tanpa merusak komponen asli. Contohnya, pada breadboard terdapat kumpulan lubang vertikal di tengah papan untuk meletakkan IC dan komponen lainnya, serta jalur horizontal di sisi untuk suplai tegangan (+/-). Pola koneksi ini memudahkan penempatan rangkaian karena setiap strip memiliki keterhubungan yang jelas dalam koordinat papan.



**Gambar 2. 8 Breadboard dan Kabel Jumper**

### **2.8.1 Fungsi Breadboard dalam Rangkaian Prototype**

Breadboard berfungsi sebagai platform penghubung komponen elektronika saat merancang prototype sirkuit. Dengan breadboard, pengembang dapat menguji rangkaian timbangan beserta komponen seperti ESP32, HX711, RFID, LCD, dan printer tanpa menyolderi. Misalnya, pin-pin ESP32 bisa dihubungkan ke breadboard dan dihubungkan ke modul lain menggunakan kabel jumper. Jika terjadi bug atau kesalahan rangkaian, breadboard memungkinkan penggantian komponen dengan cepat. Breadboard juga mempermudah kolaborasi karena rangkaian dapat diduplikasi atau dimodifikasi tanpa kerusakan permanen. Oleh karena itu, peran breadboard sangat krusial dalam pengembangan awal smart weighbridge sebelum mencapai skema final yang mungkin dilebur menjadi papan PCB.

### **2.8.2 Jenis dan Fungsi Kabel Jumper**

Kabel jumper adalah kabel fleksibel yang digunakan untuk menyambung komponen pada breadboard atau antara modul. Terdapat beberapa jenis jumper: male-to-male (pria ke pria), male-to-female (pria ke betina), dan female-to-female (betina ke betina). Pilihan jenis jumper tergantung pin koneksi komponen. Misalnya, modul sensor atau display yang memiliki pin male biasanya dipasangkan jumper male-to-female ke pin female pada papan devkit ESP32. Kegunaan kabel jumper adalah menghubungkan sumber daya, sinyal, dan ground antarkomponen. Dalam prototipe timbangan, kabel jumper dipakai untuk menyambung pin ESP32 ke modul HX711, LCD, RFID, dan printer. Kabel dengan ujung konektor Dupont ini memudahkan penyusunan dan pemeliharaan, karena mudah dicabut tanpa alat khusus. Seperti yang disarankan dalam praktik perakitan papan prototipe, kombinasi breadboard dan kabel jumper sangat membantu merakit dan memperbaiki rangkaian untuk analisis lebih lanjut.

### **2.9 Modul Bracket Traffic Light Simulator**

Modul *bracket* traffic light simulator adalah rangkaian lampu indikator tiga warna (merah, kuning, hijau) yang meniru lampu lalu lintas. Modul ini umumnya berupa papan kecil dengan tiga LED berukuran 8 mm untuk tiap warna, berbasis rancangan common cathode. Dalam konteks timbangan digital, modul ini berfungsi sebagai indikator visual untuk mengatur arus kendaraan selama proses penimbangan. Lampu merah dapat menandakan perintah berhenti (misalnya menunggu hingga timbangan siap), sedangkan lampu hijau menandakan kendaraan dapat melanjutkan perjalanan setelah selesai. Penerapan lampu indikator ini sangat berguna untuk keamanan dan kelancaran operasi: sinyal cahaya merah/hijau yang terang memastikan pengelolaan lalu lintas kendaraan di timbangan berjalan cepat dan aman. Sebagai tambahan, LED umumnya lebih tahan lama dan hemat energi, sehingga modul ini dapat beroperasi terus-menerus dalam lingkungan industri.



*Gambar 2. 9 Modul Bracket Traffic Light Simulator*

### **2.9.1 Fungsi Lampu Indikator Timbangan**

Dalam aplikasi smart weighbridge, lampu indikator berfungsi memandu pengguna dengan sinyal visual. Sebagai contoh, lampu hijau dapat menandakan timbangan siap menerima muatan, lampu kuning untuk menunggu atau dalam proses timbang, dan lampu merah untuk menunjukkan timbangan penuh atau proses timbangan selesai. Modul traffic light R-Y-G LED 5V menyediakan ketiga warna ini dalam satu paket kecil, sehingga tidak perlu menghubungkan tiga LED terpisah. Setiap LED pada modul ini dihubungkan ke pin input digital terpisah, namun seluruh katoda LED disatukan ke ground (common cathode).

Dengan modul ini, interaksi dengan kendaraan atau petugas timbangan menjadi lebih teratur: misalnya, saat berat tercapai, ESP32 dapat secara otomatis mengaktifkan lampu merah, sebagai tanda muat tidak boleh bertambah. Implementasi seperti ini memanfaatkan modul traffic light sebagai “indikator pintar” yang langsung menampilkan status sistem timbangan secara intuitif kepada pengguna.

### 2.9.2 Pengendalian Lampu pada Sistem Timbangan

Pengendalian lampu indikator pada *Smart Weighbridge* dilakukan oleh mikrokontroler (ESP32) dengan mengeluarkan sinyal logika pada pin GPIO. Misalnya, saat sistem menunggu kendaraan masuk, ESP32 dapat mengaktifkan lampu merah. Ketika berat stabil telah dicapai, lampu hijau dinyalakan untuk menginformasikan bahwa timbangan selesai. Implementasinya sederhana: output digital dari ESP32 dihubungkan ke lampu LED (melalui resistor atau driver), sehingga ESP32 dapat menyalakan atau mematikan lampu sesuai program kontrol. Dengan demikian, status timbangan dapat dilihat langsung oleh sopir dari jarak jauh melalui sinyal lampu, meningkatkan keamanan dan kejelasan alur kerja.

### 2.10 Catu Daya Sistem

Sistem smart weighbridge memerlukan catu daya stabil 5V DC sebagai sumber tegangan untuk load cell, HX711, ESP32, serta komponen periferil seperti LCD, RFID, printer, dan indikator lampu. Catu daya sistem *Smart Weighbridge* harus menyediakan tegangan stabil 5V DC untuk semua komponen elektronik. Sebagai contoh, regulator tegangan 5V (seperti IC 7805) banyak digunakan; IC 7805 dirancang untuk menghasilkan tegangan keluaran konstan 5V hingga 1.5A jika diberi tegangan masukan 7.3–35V. Konverter ini menurunkan tegangan adaptor AC/DC yang lebih tinggi menjadi 5V stabil yang dibutuhkan oleh modul seperti ESP32, sensor, dan layar. Pada beberapa desain, dapat pula digunakan modul *power bank* atau sumber daya DC lainnya yang dibatasi ke 5V.



Gambar 2. 10 Catu Daya Sistem

### **2.10.1 Rangkaian Power Supply 5V DC**

Sebagai contoh konkret, rangkaian catu daya 5V bisa dibangun dari transformator AC ke AC (misalnya 9V), bridge dioda untuk penyearahan menjadi DC, dan kapasitor filter untuk menyeimbangkan tegangan. Kemudian output DC tersebut disambungkan ke IC regulator 7805, yang menghasilkan output 5V DC stabil. Rangkaian juga biasanya dilengkapi LED indikator di output dan resistor pembatas, sebagai penanda bahwa tegangan 5V sudah tersedia. Desain ini meliputi komponen standar yang mudah diperoleh dan memastikan keluaran 5V aman bagi semua perangkat elektronik dalam timbangan. Penting juga disertakan proteksi seperti dioda zener atau fuse jika diperlukan, agar sistem lebih tahan gangguan tegangan besar.

### **2.10.2 Power Management pada Sistem Timbangan**

Efisiensi energi merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan sistem elektronik, khususnya pada sistem yang beroperasi secara terus-menerus. Penelitian terkait desain inverter sebagai penghemat energi menunjukkan bahwa pengelolaan daya yang tepat dapat meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem secara keseluruhan. Konsep manajemen daya tersebut relevan dengan sistem Smart Weighbridge yang membutuhkan suplai tegangan stabil dan efisien untuk mendukung kinerja sensor, mikrokontroler, serta perangkat pendukung lainnya [16].

Manajemen daya bertujuan untuk menjaga kestabilan tegangan sekaligus mengoptimalkan konsumsi energi. Pada sistem berbasis IoT seperti Smart Weighbridge, meskipun sistem umumnya terhubung ke sumber listrik utama, efisiensi energi tetap menjadi perhatian penting, terutama ketika sistem dilengkapi dengan sumber daya cadangan seperti baterai. Mikrokontroler ESP32 mendukung fitur manajemen daya melalui mode hemat energi, seperti *light sleep* dan *deep sleep*, yang dapat mengurangi konsumsi daya saat sistem tidak melakukan proses penimbangan atau komunikasi data.

Selain pengaturan pada sisi perangkat lunak, perancangan catu daya juga harus diperhatikan secara optimal. Catu daya harus mampu menyediakan arus yang cukup

untuk seluruh komponen sistem serta melindungi rangkaian dari gangguan tegangan dan arus berlebih. Oleh karena itu, manajemen daya dalam Smart Weighbridge mencakup penggunaan regulator tegangan yang sesuai, perlindungan rangkaian seperti sekering dan dioda proteksi, serta strategi perangkat lunak untuk menonaktifkan modul yang tidak aktif. Dengan manajemen daya yang baik, sistem Smart Weighbridge dapat beroperasi secara lebih stabil, efisien, dan andal dalam jangka panjang.

### **2.11 Internet of Things (IoT)**

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana perangkat fisik yang dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan mikrokontroler dapat saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar dan memproses data secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung. Sistem kontrol berbasis IoT telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang untuk melakukan proses monitoring dan pengendalian secara real-time. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sensor yang terhubung dengan mikrokontroler mampu mengirimkan data secara otomatis ke sistem monitoring jarak jauh melalui jaringan internet, sehingga informasi yang diperoleh dapat diakses dengan cepat dan akurat [17].

Dalam implementasinya, sistem IoT terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu perangkat sensor yang berfungsi sebagai pengumpul data, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data, jaringan komunikasi sebagai media pengiriman data, serta server atau cloud sebagai tempat penyimpanan dan pengelolaan data. Data yang tersimpan pada server dapat diakses oleh pengguna melalui berbagai platform, seperti aplikasi web maupun aplikasi mobile, sehingga memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian sistem dilakukan secara jarak jauh dan real-time.

Penerapan teknologi IoT telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, antara lain sistem monitoring lingkungan, sistem peringatan dini bencana, pengelolaan infrastruktur, sistem transportasi, serta otomatisasi industri dan logistik. Penggunaan IoT terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional, mempercepat aliran informasi, serta mengurangi potensi kesalahan yang disebabkan oleh proses manual.

Dalam konteks Smart Weighbridge, konsep IoT berperan penting sebagai penghubung antara sistem penimbangan kendaraan dan sistem penyimpanan data. Data berat kendaraan dan identitas kendaraan yang diperoleh dari sensor dan modul identifikasi diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirimkan secara real-time ke server atau basis data melalui jaringan internet. Dengan adanya integrasi IoT, seluruh proses penimbangan dapat dipantau dan dikelola secara terpusat, sehingga meningkatkan efisiensi, akurasi, transparansi, serta keandalan sistem penimbangan kendaraan secara keseluruhan.

### **2.11.1 Konsep dan Manfaat IoT**

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana objek atau perangkat dilengkapi dengan teknologi seperti sensor dan perangkat lunak agar dapat berkomunikasi serta bertukar data melalui jaringan internet. Artinya, *perangkat pintar* dapat saling berinteraksi dan berbagi informasi tanpa campur tangan manusia langsung. Manfaat utama IoT antara lain peningkatan efisiensi operasional, otomasi pemantauan, dan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time. IoT memungkinkan monitoring dan kontrol jarak jauh yang lebih mudah: misalnya, data berat timbangan dapat langsung dikirim ke server pusat atau cloud, sehingga pengelola dapat memantau aktivitas timbangan dari mana pun. Dengan perkembangan IoT, diharapkan efisiensi sistem (termasuk sistem timbangan) dapat meningkat pesat. IoT juga membuka peluang integrasi analitik lanjutan (data analytics) serta pengelolaan lebih cerdas dalam berbagai bidang.

### **2.11.2 Integrasi IoT dengan Smart Weighbridge**

Penerapan Internet of Things (IoT) tidak hanya digunakan untuk monitoring data, tetapi juga banyak diterapkan pada sistem kontrol jarak jauh. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT mampu mengendalikan perangkat secara otomatis melalui jaringan internet, seperti pada desain sistem kontrol pintu pagar berbasis IoT yang memungkinkan proses pengoperasian dilakukan tanpa kontak

langsung. Prinsip komunikasi dan pengendalian jarak jauh ini dapat diadaptasi pada sistem Smart Weighbridge untuk mengatur proses operasional penimbangan secara otomatis dan terintegrasi [18].

Dalam sistem Smart Weighbridge, integrasi IoT didukung oleh penggunaan mikrokontroler ESP32 yang telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi. Melalui konektivitas ini, setiap data hasil penimbangan kendaraan dapat dikirimkan secara real-time ke server cloud atau aplikasi berbasis web. Data tersebut tidak hanya digunakan untuk pencatatan, tetapi juga memungkinkan proses pemantauan sistem dilakukan dari jarak jauh.

Seiring perkembangan teknologi, solusi weighbridge modern telah menerapkan konsep cloud-based monitoring, di mana pengguna dapat memantau aktivitas penimbangan, riwayat transaksi, serta status sistem melalui platform online. Selain itu, data yang tersimpan di cloud dapat diolah lebih lanjut menggunakan analitik data untuk menghasilkan laporan statistik maupun mendeteksi anomali pada proses penimbangan. Salah satu contoh penerapan sistem timbangan berbasis IoT ditunjukkan oleh perusahaan Moweigh yang mengintegrasikan pemantauan jarak jauh, analisis data, serta sinkronisasi cloud dalam sistem weighbridge mereka.

Dengan demikian, integrasi IoT pada Smart Weighbridge memungkinkan terwujudnya otomasi penuh dalam proses penimbangan kendaraan, pencatatan data secara real-time, serta pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional, transparansi data, serta keandalan sistem penimbangan kendaraan

### **2.12.1 Jenis Database yang Digunakan (PostgreSQL)**

Sistem Smart Weighbridge memerlukan basis data untuk menyimpan catatan timbangan seperti waktu timbang, ID kendaraan, dan nilai berat. Salah satu jenis basis data yang banyak digunakan dalam sistem modern adalah PostgreSQL, yaitu sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) open-source yang andal dan memiliki fitur

lengkap. PostgreSQL menyimpan data dalam bentuk tabel terstruktur dan mendukung bahasa SQL (Structured Query Language) untuk manipulasi dan pengambilan data.

Keunggulan PostgreSQL dibandingkan RDBMS lain adalah kemampuannya dalam menangani skema data yang kompleks, integritas referensial, dan dukungan terhadap tipe data yang beragam. PostgreSQL sangat cocok digunakan pada sistem berbasis IoT karena mampu menangani volume data besar dan mendukung koneksi dari berbagai sumber secara aman dan stabil. Dalam konteks timbangan digital, PostgreSQL menyimpan log tiap transaksi penimbangan yang selanjutnya dapat dengan mudah ditampilkan, dicetak, atau dianalisis.

### **2.12.2 Metode Pengiriman Data dari ESP32 ke Database**

ESP32 mengirimkan data timbangan ke database PostgreSQL melalui konektivitas Wi-Fi dengan memanfaatkan protokol HTTP. Salah satu metode yang umum digunakan adalah mengirim data melalui permintaan HTTP POST ke server yang menjalankan skrip backend (misalnya menggunakan bahasa PHP, Python Flask, atau Node.js) yang telah dikonfigurasi untuk menangani input data. Dalam praktiknya, ESP32 dapat dikodekan untuk mengirim data berupa parameter seperti API key, ID kendaraan, waktu timbang, dan berat kendaraan ke endpoint tertentu di server web. Skrip backend kemudian mengambil data dari permintaan tersebut dan menyimpannya ke dalam tabel PostgreSQL.

Metode ini cukup efisien dan banyak diterapkan pada sistem IoT karena tidak memerlukan perangkat keras tambahan selain koneksi internet. Alternatif lain yang juga dapat digunakan adalah protokol MQTT atau REST API berbasis JSON. Namun secara umum, konsep utamanya tetap sama yaitu ESP32 bertindak sebagai klien yang mengirim data secara periodik atau berdasarkan event ke sistem backend untuk kemudian disimpan dan dikelola oleh PostgreSQL.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Metodologi Penelitian**

##### **3.1.1. Metode Penelitian (Perancangan dan Eksperimen)**

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem ini merupakan kombinasi antara metode perancangan (*Design Method*) dan metode eksperimen (*Experimental Method*). Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya berfungsi secara mekanis, tetapi juga memiliki performa data yang valid serta reliabel. Secara keseluruhan, penelitian ini mengintegrasikan pengembangan infrastruktur fisik dengan pengujian empiris untuk mencapai hasil yang optimal dalam pengembangan sistem penimbangan berbasis teknologi cerdas.

Dalam tahapan metode perancangan, penelitian difokuskan pada panduan sistematis untuk membangun infrastruktur fisik dan digital sistem *weighbridge*. Proses ini mencakup perancangan bangun fisik konstruksi agar mampu menahan beban sesuai dengan kapasitas target yang direncanakan. Selain itu, dilakukan integrasi perangkat keras dengan menggabungkan sensor *load cell* dan modul penguat sinyal HX711 untuk mengonversi data analog menjadi data digital secara presisi. Analisis akurasi pada modul amplifier ini menjadi aspek krusial guna memastikan bahwa deviasi pembacaan tetap berada dalam batas toleransi yang diizinkan [19]. Selanjutnya, dibangun arsitektur database yang berfungsi sebagai penyimpanan data otomatis berbasis IoT untuk menjamin aliran informasi dari perangkat ke peladen (*server*) berjalan tanpa hambatan. Integrasi antara perangkat keras dan platform web ini memungkinkan pemantauan data dilakukan secara *real-time* dan efisien [20].

Setelah tahap perancangan selesai, metode eksperimen diterapkan untuk menguji fungsionalitas dan kinerja sistem melalui serangkaian pengujian terkontrol. Pengujian pertama difokuskan pada akurasi sensor, di mana tingkat presisi pembacaan beban diuji dengan membandingkan nilai keluaran sistem terhadap timbangan standar atau manual yang telah terkalibrasi. Metode perbandingan ini sangat penting untuk

memvalidasi reliabilitas sensor *load cell* pada alat otomatis yang dikembangkan [21]. Aspek kedua yang diuji adalah konektivitas, yang bertujuan mengukur keberhasilan dan latensi pengiriman data dari mikrokontroler ke database. Melalui proses pencatatan otomatis berbasis IoT ini, data hasil penimbangan dapat diakses secara jarak jauh segera setelah proses selesai dilakukan [22]. Terakhir, dilakukan pengujian integritas data untuk memastikan bahwa informasi yang tersimpan di dalam database tetap konsisten dan sesuai dengan beban *real-time* yang ditimbang tanpa mengalami kehilangan data selama proses transmisi.

### 3.1.2. Waktu Perancangan

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu selama delapan bulan terhitung dari bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Agustus 2025 yang dirangkum dalam matriks sebagai berikut:

NO	Agenda Penelitian	Bulan												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
1	Pengajuan Judul Proposal	■	■											
2	Observasi Pra-Riset			■	■	■								
3	Penyusunan Proposal					■								
4	Bimbingan Proposal						■	■						
5	Revisi Proposal						■	■	■					
6	Seminar Proposal								■					
7	Penyusunan Seminar Hasil								■	■	■			
8	Revisi Seminar Hasil										■	■		
9	Seminar Hasil												■	
10	Sidang Meja Hijau													■

**Tabel 3. 1 Perencanaan Kegiatan Penelitian**

### **3.1.3. Tempat Perancangan**

Perancangan ini dilakukan di rumah. tepatnya di Jl..marelan pasar II barat gg mawar 1 Kecamatan Medan Marelan , Kabupaten Rengas Pulau, Sumatera Utara.

## **3.2. Identifikasi Kebutuhan Sistem**

### **3.2.1. Bahan dan Alat**

#### **3.2.1.1. Bahan Perancangan (Komponen Hardware)**

Bahan perancangan yang digunakan oleh penulis dalam perancangan sistem ini yaitu:

- a. Catu Daya (Power Supply) 5V DC digunakan untuk mengonversi tegangan 220V AC ke 5V DC sebagai sumber daya utama sistem.
- b. Loadcell 5V DC adalah sensor berat yang digunakan untuk mendeteksi beban kendaraan di atas jembatan timbang. Sensor ini mengubah tekanan mekanik menjadi sinyal listrik.
- c. HX711 merupakan modul penguat dan konverter ADC yang digunakan untuk membaca data dari Loadcell secara akurat.
- d. ESP32 adalah mikrokontroler dengan konektivitas WiFi dan Bluetooth yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan dan pengirim data ke database.
- e. LCD 1602 dengan I2C digunakan sebagai media tampilan untuk menampilkan berat kendaraan secara real-time.
- f. RFID Reader RC522 berfungsi untuk membaca kartu identitas kendaraan sehingga sistem dapat mencatat identitas kendaraan yang sedang ditimbang.
- g. Printer Thermal digunakan untuk mencetak bukti hasil penimbangan yang memuat data berat kendaraan dan ID RFID.
- h. Kabel Jumper dan Breadboard digunakan sebagai media koneksi antar komponen elektronika selama tahap pengujian.
- i. Box Panel berfungsi untuk menyatukan dan melindungi semua komponen elektronik dari kerusakan fisik dan gangguan lingkungan.

### **3.2.1.2. Alat Perancangan (Tools Pendukung)**

Alat perancangan yang digunakan oleh penulis dalam perancangan ini yaitu:

- a. Laptop, digunakan untuk menulis kode program dan mengupload-nya ke ESP32 melalui Arduino IDE.
- b. Multimeter, digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan hambatan dalam rangkaian elektronik.
- c. Obeng plus dan minus, digunakan untuk memasang dan melepas sekrup pada komponen dan panel.
- d. Tang potong, digunakan untuk memotong kabel penghubung antar komponen.
- e. Solder dan timah, digunakan untuk menyambungkan komponen secara permanen ke PCB.
- f. Bor listrik, digunakan untuk melubangi box panel atau media penempatan perangkat keras lainnya.
- g. Gunting kabel, digunakan untuk merapikan panjang kabel sesuai kebutuhan perancangan.

### **3.2.2. Kebutuhan Perangkat Lunak (*Software Requirements*)**

Untuk membangun sistem Smart Weighbridge menggunakan Loadcell bertegangan 5 Volt DC yang terintegrasi dengan database, diperlukan beberapa perangkat lunak pendukung. Perangkat lunak ini berperan penting dalam pemrograman mikrokontroler, pengelolaan database, serta pemantauan dan penyajian data. Adapun perangkat lunak yang digunakan antara lain:

- a. Visual Studio Code (VS Code)  
Merupakan code editor yang digunakan untuk menulis program mikrokontroler, seperti ESP32, menggunakan bahasa C/C++ dengan bantuan ekstensi PlatformIO.
- b. PlatformIO  
PlatformIO adalah Integrated Development Environment (IDE) berbasis plugin di dalam VS Code yang mendukung berbagai jenis mikrokontroler, termasuk ESP32.

PlatformIO digunakan untuk mengompilasi dan mengunggah program ke perangkat.

c. Sistem Operasi Windows

Digunakan sebagai sistem operasi utama yang menjalankan seluruh perangkat lunak pengembang, pemantauan serial, dan akses basis data.

d. PostgreSQL

PostgreSQL merupakan sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) yang bersifat open-source dan dikenal memiliki kestabilan, fleksibilitas, serta dukungan terhadap data dalam jumlah besar. Dalam sistem ini, data hasil penimbangan dari Loadcell yang dikirim oleh ESP32 akan disimpan secara langsung ke dalam database PostgreSQL. PostgreSQL dipilih karena kemampuannya dalam menangani transaksi secara aman dan dukungan terhadap fitur-fitur lanjutan seperti JSON, indexing yang kuat, dan integrasi dengan aplikasi berbasis IoT.

e. pgAdmin

pgAdmin adalah graphical user interface (GUI) resmi untuk PostgreSQL yang digunakan untuk mengelola, memantau, dan memvisualisasikan database. pgAdmin mempermudah proses pembuatan tabel, pengujian query SQL, dan analisis data dari sistem penimbangan.

f. Serial Monitor (dalam VS Code / PlatformIO)

Digunakan untuk memantau data komunikasi serial antara ESP32 dan komputer selama proses debugging atau pengujian sistem.

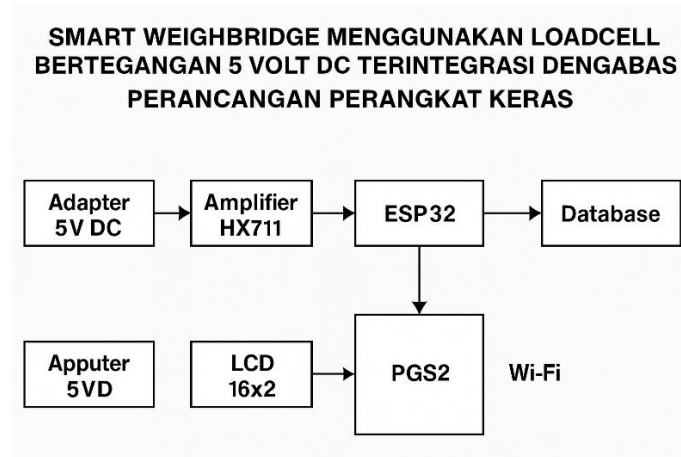
g. Web Browser

Digunakan untuk mengakses antarmuka web berbasis PHP, HTML, atau framework lainnya yang menampilkan data dari sistem penimbangan yang disimpan di PostgreSQL. Untuk komunikasi ini, sistem backend dapat menggunakan bahasa pemrograman seperti Python (dengan Flask atau Django), Node.js, atau PHP yang terhubung dengan database PostgreSQL melalui library seperti psycopg2 atau pg-promise.

### 3.3. Diagram Blok Perancangan

#### 3.3.1. Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras

Diagram blok berikut menggambarkan alur kerja dan hubungan antar komponen pada sistem *Smart Weighbridge*. bertujuan untuk mengintegrasikan seluruh komponen agar dapat bekerja secara selaras dalam melakukan penimbangan kendaraan secara otomatis



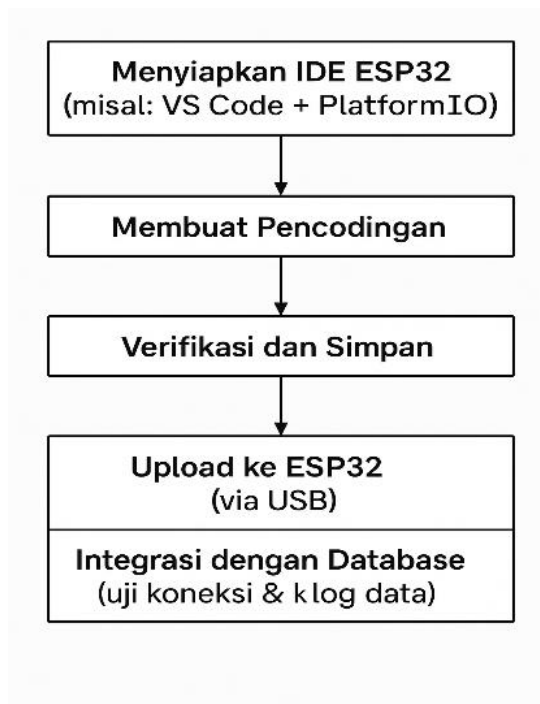
**Gambar 3. 1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras**

Sistem Smart Weighbridge ini dirancang menggunakan sumber daya berupa tegangan 5V DC yang disuplai melalui sebuah adapter. Tegangan ini menjadi sumber utama untuk menghidupkan seluruh komponen dalam sistem. Beban kendaraan yang akan ditimbang akan diterima oleh sensor loadcell. Namun, karena output dari loadcell sangat kecil dan dalam bentuk sinyal analog, maka sinyal tersebut terlebih dahulu dikuatkan dan dikonversi menjadi sinyal digital oleh modul Amplifier HX711. Sinyal digital ini kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. ESP32 berperan sebagai otak dari sistem yang mengelola data hasil penimbangan. Setelah data berat kendaraan diterima, ESP32 akan mengirimkannya secara otomatis ke sistem basis data menggunakan koneksi Wi-Fi sehingga data dapat tersimpan dan diakses secara digital.

Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan modul PGS2 yang berfungsi untuk mengatur alur data ke perangkat output. Salah satu perangkat output yang digunakan adalah LCD 16x2 yang akan menampilkan hasil penimbangan secara langsung kepada pengguna. Agar sistem ini dapat berjalan dengan stabil, digunakan juga suplai tambahan melalui Apputer 5VD untuk memastikan bahwa perangkat-perangkat seperti PGS2 dan LCD mendapatkan sumber daya yang memadai. Dengan integrasi antara sensor, mikrokontroler, jaringan Wi-Fi, dan basis data, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penimbangan kendaraan serta memudahkan proses dokumentasi data secara otomatis dan real-time.

### 3.3.2 Diagram Blok Perancangan Perangkat Lunak

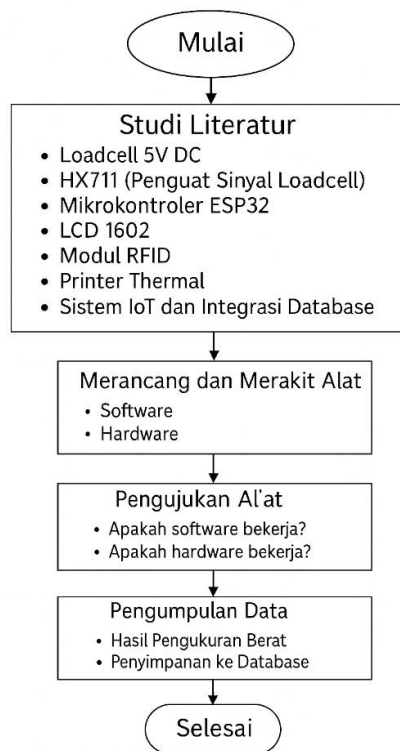
Diagram blok berikut menjelaskan alur proses dan tahapan perancangan perangkat lunak pada sistem *Smart Weighbridge*.



**Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Perangkat Lunak**

Pada proses perancangan sistem, langkah awal adalah menyiapkan IDE untuk ESP32, seperti VS Code dengan PlatformIO. Setelah itu, dilakukan pencodingan sesuai kebutuhan sistem. Program yang telah dibuat kemudian diverifikasi dan disimpan untuk memastikan tidak ada kesalahan. Selanjutnya, program di-upload ke board ESP32 melalui USB. Tahap akhir adalah mengintegrasikan ESP32 dengan database untuk menguji koneksi dan pencatatan data secara otomatis.

### 3.3.3. Flowchart Sistem



**Gambar 3. 3 Flowchart Sistem**

Pertama penulis mencari studi literatur mengenai sistem kontrol, multi media filter, sistem monitoring dan internet of things sehingga dapat dengan maksimal memahami hal-hal tersebut, kemudian mulai merancang dan merakit alat baik software berupa program maupun hardware berupa sensor dan komponen lainnya

agar lebih mudah memahami urutan langkah dari awal hingga akhir proses. Selanjutnya dilakukan pengujian alat guna mengetahui apakah alat dapat berjalan sesuai dengan keinginan, jika alat masih belum sesuai dengan apa yang diinginkan maka dapat dilakukan pengecekan pada software atau hardware hingga alat dapat berjalan sebagaimana mestinya. Setelah pengujian berhasil dilakukan maka pengukuran pun bisa dilakukan guna mendapatkan data hasil pengukuran. Langkah terakhir yang dilakukan ialah menyimpulkan hasil penelitian.

### **3.4. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware Design*)**

Dalam pembuatan smart wightbridge ini membutuhkan beberapa tahapan perancangan, hal ini dimaksudkan agar perancangan mudah dipahami berdasarkan urutan langkah dari awal hingga akhir proses.

#### **3.4.1. Perancangan Alat (Desain Mekanik/Fisik)**

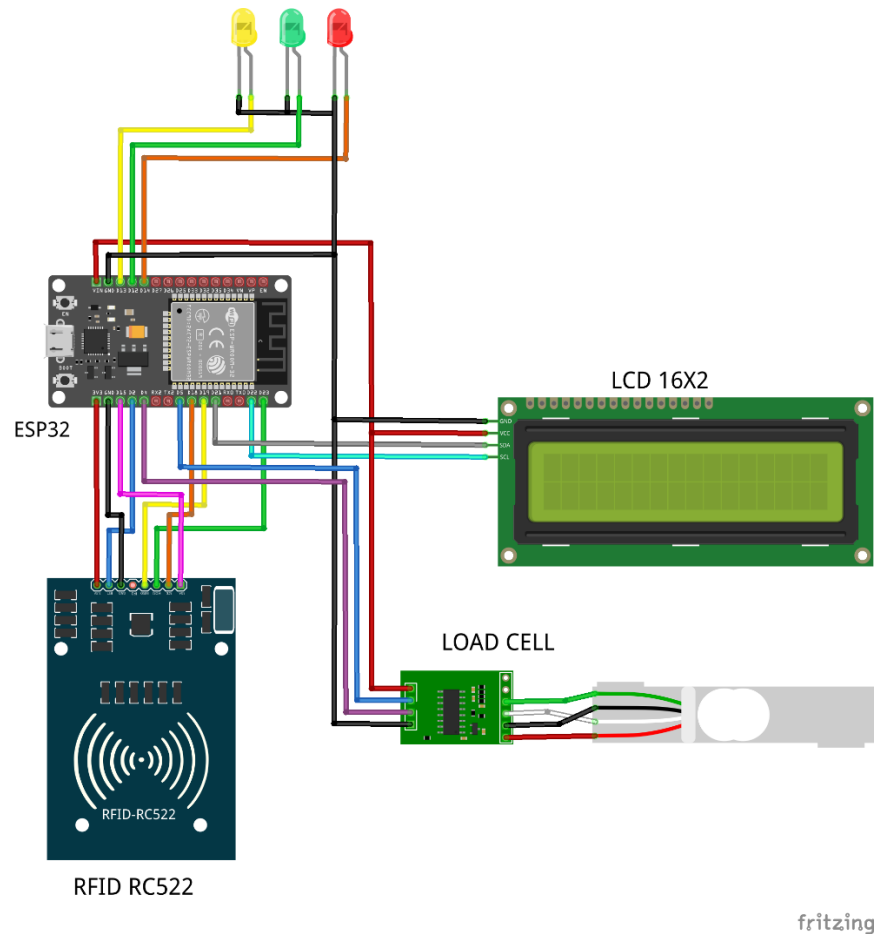
Perancangan mekanik pada sistem *Smart Weighbridge* difokuskan pada pembuatan struktur jembatan timbang yang mampu menyalurkan beban secara terpusat ke sensor *load cell*. Konstruksi ini terdiri dari dua plat utama, yaitu plat dasar sebagai fondasi dan plat atas sebagai media penempatan beban. Di antara kedua plat tersebut, sensor *load cell* dipasang dengan menggunakan baut penyangga agar tercipta celah udara yang memungkinkan sensor mengalami deformasi mekanis (*strain*) saat diberikan beban.

Material yang digunakan dalam perancangan fisik ini adalah [sebutkan materialnya, misal: akrilik/besi/kayu] yang dipotong sesuai dimensi prototype. Penempatan komponen elektronik lainnya seperti ESP32 dan LCD diletakkan di dalam kotak panel terpisah di sisi jembatan timbang untuk menghindari guncangan atau tekanan langsung dari proses penimbangan.

### 3.4.2. Rancangan Alat Keras (*Wiring Diagram*)

Rancangan alat keras atau diagram pengabelan merupakan representasi jalur kelistrikan yang menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan seluruh modul sensor dan aktuator. Pada bagian ini, ESP32 bertindak sebagai pusat kendali. Sensor *load cell* dihubungkan ke modul penguat HX711 untuk mengonversi sinyal analog menjadi digital yang kemudian diteruskan ke pin GPIO 18 dan 19.

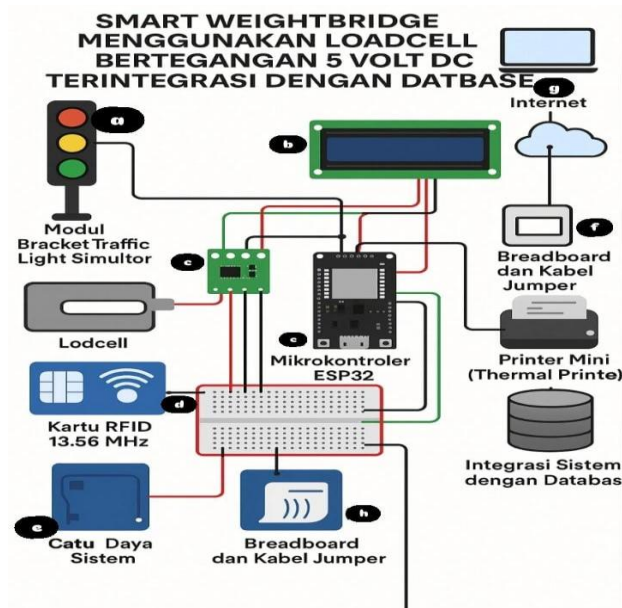
Modul RFID-RC522 dikoneksikan melalui jalur komunikasi SPI (SDA, SCK, MOSI, MISO) untuk proses identifikasi kartu. Selain itu, LCD 16x2 menggunakan antarmuka I2C untuk meminimalisir penggunaan kabel, di mana pin SDA dan SCL LCD masing-masing terhubung ke pin GPIO 21 dan 22 pada ESP32. Tiga buah LED (Merah, Kuning, Hijau) ditambahkan sebagai indikator visual status sistem yang dihubungkan ke GPIO 12, 13, dan 14.



**Gambar 3. 4 Wiring Diagram**

### 3.4.3. Rancangan Rangkaian Keseluruhan

Rancangan rangkaian elektronik menunjukkan bagaimana semua komponen seperti mikrokontroler, sensor, dan modul lainnya saling terhubung. Diagram skematik ini menjadi panduan utama dalam perakitan perangkat keras.



Gambar 3. 5 Rancangan Rangkaian Keseluruhan

Pusat kendali adalah Mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke *Loadcell* melalui modul HX711, RFID Reader, LCD 1602, Printer Mini, dan Lampu Indikator. Semua komponen ini ditenagai oleh Catu Daya 5V DC dan dirakit menggunakan Breadboard dan Kabel Jumper. Data kemudian dikirim ke Database melalui Internet.

#### **3.4.4. Rancangan Alat Keseluruhan (Visualisasi Prototype Akhir)**

Visualisasi prototype akhir menggambarkan bentuk utuh dari sistem *Smart Weighbridge* setelah seluruh bagian mekanik dan elektronik disatukan. Prototype ini menunjukkan posisi sensor RFID yang mudah dijangkau oleh kartu pengguna, layar LCD yang diposisikan untuk visibilitas optimal, dan area penimbangan yang bebas dari hambatan mekanis. Secara visual, alat ini didesain ringkas agar mudah dipindahkan namun tetap kokoh untuk menopang beban uji hingga kapasitas maksimal sensor yang digunakan.

### **3.5. Perancangan Perangkat Lunak (*Software Design*)**

#### **3.5.1. Konfigurasi Mikrokontroler dan Sensor**

Konfigurasi perangkat lunak diawali dengan tahap inisialisasi pada *firmware* yang ditulis menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE. Langkah krusial pada subbab ini adalah proses kalibrasi sensor *load cell*. ESP32 diprogram untuk membaca nilai mentah (*raw data*) dari modul HX711, kemudian dikalikan dengan sebuah konstanta *scaling factor* yang didapatkan melalui pengujian beban standar.

Selain kalibrasi berat, dilakukan konfigurasi pada modul RFID untuk membaca *Unique ID* (UID) dari setiap kartu. Program diatur agar hanya UID yang terdaftar yang dapat melanjutkan proses ke tahap penimbangan. Konfigurasi ini juga mencakup pengaturan *baud rate* komunikasi serial dan inisialisasi alamat I2C untuk layar LCD agar informasi dapat ditampilkan dengan tepat.

#### **3.5.2. Perancangan Database dan Integrasi Cloud**

Sistem ini menggunakan database MySQL yang dihosting pada server lokal atau *cloud* sebagai media penyimpanan data jangka panjang. Struktur database dirancang dalam satu tabel utama yang terdiri dari kolom: id (primary key), uid\_kartu, nama\_pengguna, berat\_benda, dan waktu\_timbang (timestamp).

Integrasi dilakukan dengan memanfaatkan protokol HTTP. ESP32 dikonfigurasi sebagai *HTTP Client* yang mengirimkan data hasil timbangan ke sebuah file PHP (*middleware*) yang berada di server. File PHP tersebut kemudian bertugas mengeksekusi perintah SQL INSERT untuk memasukkan data ke dalam database. Dengan integrasi ini, data hasil penimbangan dapat diakses secara *real-time* melalui antarmuka web atau aplikasi pemantau oleh pihak berwenang.

### 3.5.3 Analisis Konsumsi Daya Sistem

Analisis konsumsi daya merupakan tahapan penting dalam perancangan sistem *Smart Weighbridge* berbasis *Internet of Things* (IoT). Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang memiliki efisiensi energi yang baik serta mampu beroperasi secara stabil dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami gangguan akibat kelebihan arus atau ketidakcukupan catu daya. Hal ini sejalan dengan penelitian mengenai implementasi IoT pada alat penimbangan muatan truk, di mana stabilitas daya menjadi kunci operasional sistem penimbangan otomatis [6].

Sistem *Smart Weighbridge* terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain sensor *load cell* yang terhubung dengan modul HX711, *RFID reader*, LCD 1602 sebagai media tampilan, serta lampu indikator sebagai penanda status sistem. Secara spesifik, penggunaan teknologi RFID dalam sistem ini berfungsi vital untuk proses identifikasi barang atau kendaraan secara otomatis dan nirkabel yang terintegrasi dengan jaringan IoT [23].

Seluruh komponen tersebut dihubungkan secara paralel terhadap sumber tegangan utama. Oleh karena itu, arus total yang dibutuhkan sistem merupakan hasil penjumlahan arus dari masing-masing komponen. Secara umum, perhitungan arus total pada rangkaian paralel dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_{total} = I_{Loadcell} + I_{RFID} + I_{LCD} + I_{Lampu\ indikator}$$

Persamaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan kapasitas catu daya (*power supply*) yang sesuai dengan karakteristik sistem. Dengan mengetahui estimasi konsumsi arus total, perancangan sumber daya dapat dilakukan secara lebih

akurat sehingga sistem mampu bekerja secara optimal, efisien, dan aman dari risiko kelebihan beban.

Hasil perhitungan dan pengujian konsumsi arus dari masing-masing komponen serta total arus sistem disajikan dan dianalisis lebih lanjut pada BAB IV sebagai bagian dari pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

### **3.6. Prinsip Kerja Sistem**

Berikut adalah langkah-langkah utama yang terjadi dari awal hingga akhir proses penimbangan kendaraan secara otomatis

- a. Identifikasi Kendaraan dengan RFID
  - a) Sebelum kendaraan naik ke atas jembatan timbang, pengemudi menempelkan *RFID card* pada pembaca RFID.
  - b) RFID berfungsi sebagai pengenalan identitas kendaraan dan menghubungkan data kendaraan dengan data berat nantinya..
- b. Kendaraan Naik ke Platform Timbang

Setelah proses identifikasi selesai, kendaraan diarahkan naik ke atas jembatan timbang yang dilengkapi dengan sensor loadcell.
- c. Pengukuran Berat oleh Loadcell
  - a) Beban kendaraan memberikan tekanan pada loadcell yang tertanam di bawah platform.
  - b) Tekanan ini menyebabkan perubahan resistansi pada strain gauge dalam loadcell, menghasilkan tegangan analog yang sangat kecil.
- d. Penguatan dan Konversi Sinyal oleh Modul HX711
  - a) Tegangan analog dari loadcell diperkuat oleh modul HX711.
  - b) Modul HX711 juga mengubah tegangan analog menjadi sinyal digital beresolusi tinggi.
- e. Pengolahan Data oleh Mikrokontroler (ESP32)

Sinyal digital dari HX711 dikirim ke mikrokontroler (ESP32). Mikrokontroler mengolah data menjadi nilai berat kendaraan dalam satuan kilogram (kg).

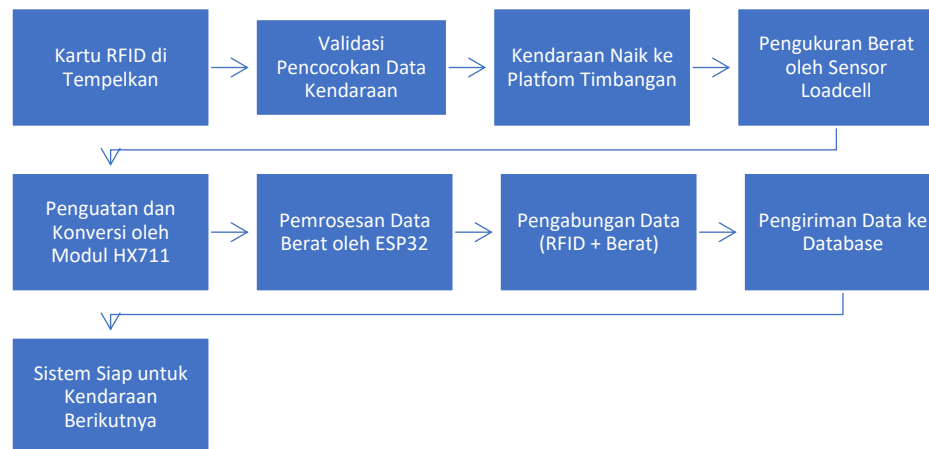
- f. Penyimpanan dan Pengiriman Data ke Database
  - a) Mikrokontroler mengirimkan data berat dan data kendaraan (dari RFID) ke server melalui koneksi Wi-Fi.
  - b) Data kemudian otomatis disimpan dalam database untuk keperluan pemantauan atau dokumentasi.
- g. Monitoring dan Akses Data
 

Data berat kendaraan dan identitasnya dapat diakses melalui aplikasi atau sistem monitoring berbasis web/database.
- h. Otomatisasi Sistem
 

Seluruh proses berjalan secara otomatis tanpa intervensi manual, sehingga sistem menjadi efisien, cepat, akurat, dan cocok untuk kebutuhan industri dan logistik modern.

### 3.6.1. Rangkaian Kerja Sistem

Sistem *Smart Weightbridge* ini merupakan sistem kontrol otomatis yang dirancang untuk melakukan penimbangan kendaraan secara efisien, cepat, dan terintegrasi dengan sistem database. Rangkaian kerja sistem dibagi dalam beberapa tahap, dimulai dari proses pengambilan data berat oleh sensor hingga penyimpanan data di server atau database.



**Gambar 3. 6 Rangkaian Kerja Sistem**

- a. Kartu RFID Ditempelkan ke Reader  
Pengemudi menempelkan kartu RFID ke alat pembaca RFID sebagai identitas kendaraan. Data ID dari kartu akan dibaca dan dikirim ke mikrokontroler (ESP32).
- b. Validasi dan Pencocokan Data Kendaraan  
Mikrokontroler mencocokkan ID RFID dengan data kendaraan dalam sistem (jika sudah terdaftar).
- c. Kendaraan Naik ke Platform Timbang  
Setelah validasi berhasil, kendaraan diarahkan untuk naik ke atas jembatan timbang.
- d. Pengukuran Berat oleh Sensor Loadcell  
Beban kendaraan memberikan tekanan pada sensor loadcell 5V DC. Loadcell menghasilkan sinyal analog kecil sesuai berat kendaraan.
- e. Penguatan dan Konversi oleh Modul HX711  
Sinyal analog dari loadcell diperkuat dan diubah menjadi sinyal digital oleh modul HX711.
- f. Pemrosesan Data Berat oleh ESP32  
Mikrokontroler ESP32 membaca sinyal digital dari HX711 dan menghitung berat kendaraan dalam satuan kilogram (kg).
- g. Penggabungan Data (RFID + Berat)  
Data ID kendaraan (dari RFID) dan data berat (dari loadcell) digabungkan oleh ESP32.
- h. Pengiriman Data ke Database  
ESP32 menggunakan koneksi Wi-Fi untuk mengirim data kendaraan dan berat ke server atau database online.
- i. Tampilan dan Output Data  
Berat kendaraan ditampilkan secara langsung pada LCD 1602.  
Data dapat dicetak menggunakan printer thermal sebagai bukti cetak.
- j. Sistem Siap untuk Kendaraan Berikutnya

setelah data berhasil dikirim dan ditampilkan, sistem siap digunakan kembali untuk kendaraan selanjutnya

### 3.6.2. Mekanisme Kerja Alat dan Aliran Data

Mekanisme kerja sistem *Smart Weighbridge* ini dirancang untuk bekerja secara otomatis dan terintegrasi dalam sebuah siklus aliran data yang terbagi menjadi tiga fase utama identifikasi, pemrosesan sensor, dan transmisi data

#### a. Fase Identifikasi dan Inisialisasi

Sistem bermula dalam kondisi *standby* di mana ESP32 secara kontinu memindai keberadaan kartu RFID melalui modul RC522. Aliran data dimulai ketika pengguna mendekatkan kartu RFID ke *reader*. Data UID (*Unique Identification*) dari kartu akan dibaca dan dicocokkan dengan basis data internal atau variabel yang telah ditentukan. Jika ID valid, sistem akan memberikan instruksi melalui LED hijau dan LCD untuk memulai proses penimbangan. Tahap ini krusial untuk memastikan bahwa setiap data berat yang masuk memiliki atribut pemilik atau identitas yang jelas dalam database .

#### b. Fase Akuisisi dan Stabilisasi Data Berat

Setelah identitas terverifikasi, beban yang diletakkan di atas platform akan menekan sensor *load cell*. Tekanan mekanis ini menyebabkan perubahan hambatan pada *strain gauge* yang menghasilkan sinyal elektrik dalam skala milivolt. Sinyal analog yang sangat lemah ini kemudian masuk ke modul HX711 untuk diperkuat (*amplification*) dan diubah menjadi data digital 24-bit melalui proses ADC (*Analog to Digital Converter*). ESP32 menerima data digital tersebut melalui komunikasi serial dua kabel (DT dan SCK). Di dalam mikrokontroler, algoritma perangkat lunak akan melakukan filterisasi data (rata-rata) untuk memastikan angka yang ditampilkan di LCD adalah angka yang stabil dan bebas dari *noise* getaran

#### c. Fase Transmisi dan Penyimpanan Cloud

Aliran data terakhir terjadi ketika angka berat telah dinyatakan stabil oleh sistem. ESP32 akan membungkus data yang terdiri dari ID\_Kartu, Nilai\_Berat, dan

Status ke dalam protokol komunikasi HTTP. Data dikirimkan secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi menuju server database menggunakan metode *request* ke file *middleware* (PHP). Server kemudian mengeksekusi perintah SQL untuk menyimpan data tersebut secara permanen ke dalam tabel MySQL. Setelah proses penyimpanan berhasil, server mengirimkan umpan balik (*response*) ke ESP32, yang ditandai dengan munculnya notifikasi "Data Terkirim" pada layar LCD dan penyimpanan log selesai

### 3.7. Kelebihan Sistem

Sistem *Smart Weightbridge* yang dirancang dalam penelitian ini memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya lebih unggul dibandingkan sistem penimbangan konvensional. Berikut adalah uraian mengenai kelebihan-kelebihan tersebut:

a. Otomatisasi Proses Penimbangan

Sistem ini mampu melakukan pengukuran berat kendaraan secara otomatis tanpa memerlukan intervensi langsung dari manusia. Dengan demikian, sistem ini mengurangi kemungkinan kesalahan manusia (*human error*) dan meningkatkan efisiensi kerja

b. Akurasi dan Kepekaan Tinggi

Penggunaan sensor *loadcell* yang sensitif terhadap perubahan tekanan dan modul HX711 sebagai penguat serta konverter ADC memungkinkan sistem mendeteksi berat kendaraan dengan akurasi tinggi. Data yang diperoleh lebih presisi dibandingkan sistem manual.

c. Pemrosesan Data yang Cepat dan Efisien

Mikrokontroler Arduino Uno memproses data berat dengan waktu respons yang sangat cepat. Hal ini memungkinkan kendaraan untuk ditimbang secara instan, tanpa menimbulkan antrean yang panjang di lokasi timbangan.

d. Penyimpanan Data Otomatis

Dengan integrasi modul Wi-Fi ESP8266, data hasil penimbangan dikirim secara otomatis ke database berbasis cloud. Hal ini memudahkan pengelolaan data secara digital dan mengurangi risiko kehilangan data akibat pencatatan manual.

e. Pemantauan Real-time

Sistem ini memungkinkan data penimbangan untuk dipantau secara real-time melalui perangkat digital seperti komputer, laptop, atau smartphone. Hal ini sangat berguna untuk pengawasan logistik, audit, atau keperluan administrasi lainnya.

f. Portabilitas dan Fleksibilitas

Karena menggunakan komponen yang ringkas dan mudah diprogram, sistem ini dapat dengan mudah dimodifikasi atau dikembangkan sesuai kebutuhan. Selain itu, sistem juga dapat dipindahkan ke lokasi lain dengan penyesuaian minimal.

g. Efisiensi Biaya Operasional

Sistem ini membantu mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja tambahan untuk mengoperasikan jembatan timbang, sekaligus meminimalkan biaya pemeliharaan sistem pencatatan manual dan kesalahan administratif.

h. Ramah Lingkungan dan Hemat Energi

Penggunaan tegangan rendah (5 Volt DC) pada sensor loadcell dan mikrokontroler menjadikan sistem ini lebih hemat energi dan aman bagi pengguna serta lingkungan sekitar.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengembangan sistem jembatan timbang (weighbridge) modern saat ini mengarah pada integrasi Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan transparansi data. Hasil pengujian yang diperoleh sejalan dengan penelitian terdahulu yang telah dibahas pada Bab II, di mana timbangan digital berbasis mikrokontroler ATmega8535 mampu membaca beban hingga kapasitas 20 kg dengan tingkat akurasi tinggi [5]. Selain akurasi, penggunaan modul ESP32 memungkinkan monitoring data secara real-time dan pengendalian sistem berbasis IoT, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian sistem monitoring “Smart Waste”.

Sistem Smart Weighbridge yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan sensor load cell dengan modul HX711 sebagai penguat sinyal dan ADC 24-bit, sesuai dengan rancang bangun yang dijelaskan pada Bab III, untuk memastikan presisi pembacaan gaya tekan dari strain gauge. Selain pengukuran berat, identifikasi otomatis kendaraan dilakukan menggunakan teknologi RFID, yang telah terbukti efektif dalam identifikasi objek berbasis IoT [23]. Data yang diperoleh dari sensor dan RFID kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32, dengan kemampuan konektivitas Wi-Fi dan pengiriman data ke server database secara real-time, sebagaimana diterapkan pada sistem monitoring suhu dan kelembaban menggunakan ESP32, Firebase, dan Kodular [13].

Dengan mengikuti prosedur rancang bangun dan pengujian yang telah dijelaskan pada Bab III, sistem Smart Weighbridge mampu membaca beban kendaraan, mengidentifikasi ID pengguna melalui RFID, mengirim data ke server melalui API, dan mencetak struk bukti timbang secara otomatis. Sistem ini juga mampu memonitor status koneksi dan kestabilan hasil pengukuran secara real-time, sehingga menunjukkan kinerja yang efisien dan andal sesuai desain

#### 4.1 Pengujian Kalibrasi dan Kondisi Awal

Pada tahap awal, dilakukan pengujian kondisi nol (*tare*) dan kalibrasi untuk memastikan sensor *load cell* membaca nilai yang akurat sebelum digunakan pada kendaraan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban standar bertingkat untuk mendapatkan *calibration factor* yang tepat. Berikut adalah hasil pengukuran kalibrasi awal:

Beban Referensi (g)	Pembacaan Sistem (g)	Error (%)
0.00	0.00	0.00%
50.00	50.01	0.20%
100.00	100.01	0.10%
200.00	199.80	0.10%

**Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran Kalibrasi**

Dari hasil pengukuran kalibrasi yang telah dilakukan, didapati nilai pembacaan sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata *error* berada di kisaran 0.1% – 0.2%. Nilai ini menunjukkan bahwa modul HX711 dan *load cell* telah terkonfigurasi dengan benar dan siap untuk dilakukan pengujian pada objek kendaraan sesungguhnya.

#### 4.2 Hasil Pengujian Sistem pada Kendaraan

Setelah pengujian kalibrasi alat dilakukan, maka dilanjutkan dengan penerapan sistem pada unit kendaraan nyata sebagai studi kasus operasional. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi integrasi antara pembacaan berat, identifikasi RFID, pencetakan struk, dan pengiriman data ke API.

#### 4.2.1 Pengujian Penimbangan dan Pencetakan Data

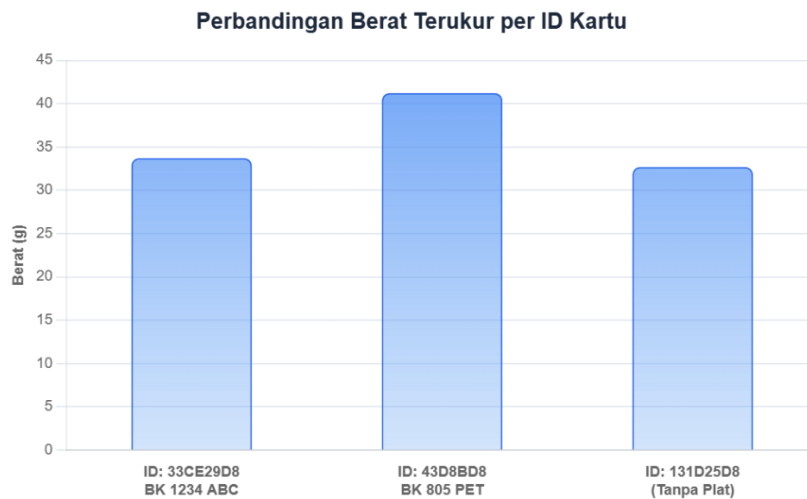
Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan dua kendaraan uji yang berbeda ke atas *platform* timbangan. Sistem secara otomatis membaca kartu RFID pengemudi, menstabilkan pembacaan berat, dan mencetak struk bukti timbang.

Pada pengujian ini telah didapati data berupa hasil pengukuran yang diambil langsung dari *output* printer thermal Bluetooth. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan kinerja stabilitas pembacaan dan waktu respon sistem.

No	Waktu Timbang (WIB)	ID Kartu	Plat Kendaraan	Berat Terukur (g)
1	21:50:28	33CE29D8	BK 1234 ABC	33.69
2	21:54:01	43D8BD8	BK 805 PET	41.21
3	-	131D25D8	-	32.67

**Tabel 4. 2 Data Hasil Penimbangan Kendaraan (Log Printer)**

Tabel 4.2 menampilkan rekaman log dari sistem penimbangan kendaraan yang mencatat tiga aktivitas penimbangan berbeda. Pada dua data pertama, sistem bekerja sempurna dengan mendeteksi waktu, ID kartu, serta identitas kendaraan secara lengkap, yaitu kendaraan BK 1234 ABC seberat 33,69 gram pada pukul 21:50 WIB dan kendaraan BK 805 PET seberat 41,21 gram pada pukul 21:54 WIB. Namun, data ketiga menunjukkan adanya *unregistered card* atau kartu yang belum terdaftar dalam database, ditandai dengan terekamnya ID kartu (131D25D8) dan berat beban (32,67 gram), tetapi kolom waktu dan plat nomor kendaraan kosong atau tidak terbaca oleh sistem.



**Gambar 4. 1** Grafik Perbandingan Berat Kendaraan Uji

Gambar 4.1 di atas merupakan grafik yang memperlihatkan perbandingan hasil akuisisi data berat beban yang terbaca oleh sistem pada tiga sampel pengujian ID kartu. Berdasarkan visualisasi data tersebut, diperoleh beberapa informasi analisis sebagai berikut:

- a. Nilai berat tertinggi tercatat pada pengujian kendaraan dengan identitas BK 805 PET (ID: 43D8BD8) yang menghasilkan pembacaan beban sebesar 41.21 gram.
- b. Nilai berat terendah terdapat pada pengujian ketiga dengan ID Kartu 131D25D8 (Tanpa Plat/Unregistered) dengan nilai beban sebesar 32.67 gram.
- c. Sistem menunjukkan kemampuan stabilitas pembacaan sensor (*load cell*), di mana sistem tetap mampu melakukan pengukuran berat secara presisi meskipun ID kartu yang dipindai tidak memiliki data plat nomor yang terdaftar dalam basis data (*database*).

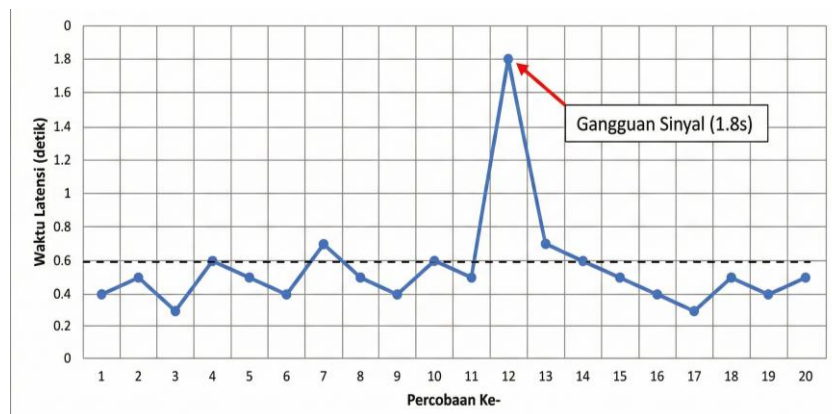
#### **4.2.2 Pengujian Integrasi Pengiriman Data (API)**

Pada pengujian integrasi jaringan, dilakukan evaluasi terhadap kemampuan ESP32 dalam mengirimkan data hasil penimbangan ke *database* server melalui API. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali percobaan pengiriman data (request HTTP POST) untuk mengukur reliabilitas koneksi dan latensi.

Parameter Uji	Hasil Terukur	Keterangan
Jumlah Percobaan	20	Data Sampel
Percobaan Sukses	20	HTTP 200 OK
Rata-rata Latency	0.6 detik	Koneksi Stabil
Maksimum Latency	1.8 detik	Variansi Jaringan

**Tabel 4. 3 Ringkasan Data Pengujian Transmisi ke API**

Berdasarkan Tabel 4.3, dari 20 kali percobaan pengiriman, didapati tingkat keberhasilan sebesar 100%. Data tercatat di *database* tanpa adanya duplikasi atau kehilangan data (*packet loss*).



**Gambar 4. 2 Grafik Latensi Pengiriman Data ke Server**

Gambar 4.2 merupakan grafik yang memperlihatkan fluktuasi waktu pengiriman data (*latency*) dari perangkat ke server API dan didapatkan informasi berupa:

- Waktu pengiriman tercepat tercatat pada 0.3 detik.
- Waktu pengiriman terlama tercatat pada 1.8 detik (terjadi pada percobaan ke-12 akibat fluktuasi sinyal Wi-Fi sesaat).
- Rata-rata waktu pengiriman adalah 0.6 detik, yang mengindikasikan sistem sangat layak untuk implementasi *real-time*.

### 4.3 Analisis Konsumsi Arus dan Daya Listrik

Analisis konsumsi daya listrik merupakan bagian penting dalam evaluasi sistem embedded berbasis IoT karena mempengaruhi efisiensi energi dan kinerja operasional perangkat dalam kondisi nyata. Dalam penelitian sebelumnya yang relevan, konsumsi daya dan performa real-time antara ESP32 dan Raspberry Pi Pico W pada sistem pengukuran suhu berbasis IoT telah dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui perbedaan arus rata-rata dan karakteristik konsumsi energi antara kedua platform tersebut [24]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun ESP32 memiliki performa real-time yang baik, konsumsi dayanya relatif lebih tinggi dibandingkan platform lain, yang menunjukkan pentingnya pengelolaan energi dalam perancangan sistem IoT seperti Smart Weighbridge.

Oleh karena itu, pengukuran arus pada setiap komponen utama yang terpasang pada sistem Smart Weighbridge, seperti sensor load cell yang terhubung dengan modul HX711, RFID reader, LCD 1602, dan lampu indikator, dilaksanakan pada tegangan operasi 5 V DC untuk memastikan bahwa sumber catu daya dapat memenuhi kebutuhan sistem tanpa mengalami kelebihan beban serta untuk mengevaluasi efisiensi energi dari perangkat yang dirancang.

#### 4.3.1 Data Konsumsi Arus Komponen

Berdasarkan hasil pengukuran dan spesifikasi teknis masing-masing komponen, diperoleh data konsumsi arus seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

No	Komponen	Konsumsi Arus ( $\mu\text{A}$ )	Tegangan
1	Loadcell (HX711)	1,2	5V
2	RFID Reader	1,0	5V
3	LCD 1602	2,8	5V
4	Lampu Indikator	1,0	5V
<b>Total</b>	<b>Jumlah (<math>I_{total}</math>)</b>	6,0	

**Tabel 4. 4 Data Konsumsi Arus Komponen**

### 4.3.2 Pengujian Stabilitas Arus Terhadap Variasi Beban

Untuk menjawab pertanyaan mengenai stabilitas sistem saat menerima beban yang berbeda, dilakukan pengujian pengukuran arus total pada saat Load Cell diberikan beban fisik yang bervariasi. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa tekanan mekanis pada sensor tidak menyebabkan lonjakan arus listrik (current spike) yang dapat mengganggu performa mikrokontroler.

No	Sampel Pengujian	Variasi berat beban	Arus Terukur (mA)	Status Sistem
1	Kondisi Standby	0.00	6,0	Normal
2	Beban Ringan	50.00	6,0	Normal
3	Beban Sedang	100.00	6,1	Normal
4	Kendaraan Uji 1	33.69	6,0	Normal
5	Kendaraan Uji 2	41.21	6,0	Normal

**Tabel 4. 5 Pengujian Stabilitas Arus Terhadap Variasi Beban**

Berdasarkan Tabel 4.5, terlihat bahwa konsumsi arus tetap stabil di angka 6,0 mA hingga 6,1 mA meskipun berat beban yang diletakkan di atas timbangan berubah-ubah. Analisis Teknis: Hal ini terjadi karena Load Cell bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi kecil pada strain gauge yang disusun dalam jembatan Wheatstone. Tegangan eksitasi yang diberikan oleh modul HX711 ke Load Cell bersifat konstan. Saat beban diberikan, yang berubah adalah sinyal output dalam orde milivolt (mV), bukan konsumsi arus inputnya. Dengan demikian, sistem Smart Weighbridge ini dinyatakan aman secara elektrik karena tidak terjadi fluktuasi daya saat proses penimbangan berlangsung, sehingga risiko kerusakan komponen akibat lonjakan arus dapat dihindari.

### 4.3.3 Perhitungan Konsumsi Daya Total

Berdasarkan arus rata-rata yang diperoleh sebesar 6,0 mA (0,006 A) dengan tegangan operasi 5 V, maka total daya listrik yang dikonsumsi adalah:

$$P = V \times I$$

$$P = 5V \times 0,006A$$

$$P = 0,03 \text{ Watt}$$

Hasil ini menunjukkan tingkat efisiensi energi yang sangat tinggi, dimana sistem hanya memerlukan daya sebesar 0,03 Watt untuk beroperasi secara penuh. Perhitungan arus total sistem dilakukan dengan menjumlahkan konsumsi arus dari masing-masing komponen, sesuai dengan persamaan rangkaian paralel yang telah dijelaskan pada BAB III, yaitu:

$$I_{total} = I_{Loadcell} + I_{RFID} + I_{LCD} + I_{Lampu\ indikator}$$

$$I_{total} = 1,2 \mu A + 1,0 \mu A + 2,8 \mu A + 1,0 \mu A.$$

$$I_{total} = 6,0 \mu A$$

Untuk menyesuaikan dengan satuan arus yang umum digunakan dalam spesifikasi catu daya, nilai tersebut dikonversi ke satuan miliampere (mA) menggunakan persamaan::

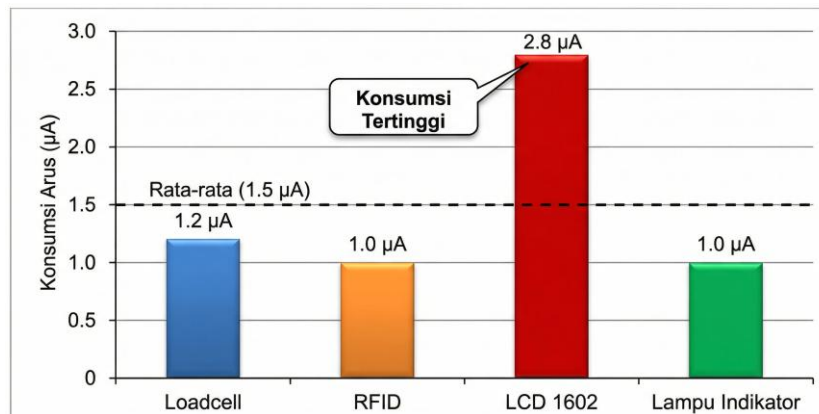
$$I_{total(mA)} = \frac{I_{total(\mu A)}}{1000}$$

Sehingga diperoleh:

$$I_{total(mA)} = \frac{6,0}{1000} = 0,006 \text{ mA}$$

Pembahasan Hasil Konsumsi Daya Berdasarkan hasil perhitungan, total arus yang dibutuhkan oleh sistem Smart Weighbridge adalah sebesar 6,0  $\mu A$  atau setara dengan 0,006 mA. Nilai konsumsi arus yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki efisiensi energi yang baik dan tidak memberikan beban yang signifikan terhadap sumber catu daya. Dengan konsumsi daya yang rendah, sistem

berpotensi untuk dioperasikan secara kontinu dalam jangka waktu yang lama dengan tingkat stabilitas yang baik.



**Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Konsumsi Arus Komponen**

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan distribusi konsumsi arus pada masing-masing komponen penyusun sistem dan didapatkan informasi berupa:

- Konsumsi arus tertinggi terdapat pada komponen LCD 1602 dengan nilai 2,8 µA, yang menyumbang porsi terbesar dari total daya.
- Konsumsi arus terendah terdapat pada komponen RFID dan Lampu Indikator dengan nilai masing-masing 1,0 µA.
- Rata-rata konsumsi arus per komponen adalah sebesar 1,5 µA Distribusi beban arus didominasi oleh komponen antarmuka (display), sedangkan sensor (Loadcell/RFID) bekerja dengan daya yang sangat minim.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan penelitian ini ditarik berdasarkan tujuan penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sistem *Prototype Smart Weighbridge* berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor Loadcell, modul HX711, RFID RC522, dan mikrokontroler ESP32.

- a. Pengembangan Sistem Berhasil dan Fungsional Perancangan dan implementasi sistem *Smart Weighbridge* berhasil dilakukan dengan mengintegrasikan sensor dan modul komunikasi. Sistem mampu bekerja secara otomatis untuk membaca beban, mengidentifikasi kendaraan melalui RFID, mencetak struk, dan mengirimkan data penimbangan ke database server secara *real-time*.
- b. Akurasi dan Presisi Pengukuran Tinggi Sistem *Smart Weighbridge* terbukti memiliki tingkat akurasi yang tinggi pada pengujian kalibrasi, yaitu dengan rata-rata *error* berkisar 0,1% – 0,2%. Nilai ini menunjukkan bahwa modul HX711 (ADC 24-bit) telah dikonfigurasi dengan optimal untuk memastikan presisi pembacaan data dari *Loadcell*.
- c. Efisiensi Daya yang Baik Analisis konsumsi daya menunjukkan bahwa sistem hanya membutuhkan total arus yang sangat rendah, yaitu 6,0  $\mu\text{A}$  (setara 0,006 mA). Efisiensi energi yang tinggi ini menjadikan sistem sangat cocok untuk operasional jangka panjang dan meminimalkan beban pada sumber catu daya.
- d. Kinerja Transmisi Data *Real-Time* yang Stabil Pengujian integrasi jaringan menunjukkan reliabilitas koneksi yang sempurna dengan tingkat keberhasilan pengiriman data 100% (20 dari 20 percobaan). Dengan rata-rata latensi 0,6 detik, sistem ini sangat layak digunakan untuk aplikasi *monitoring* data timbangan secara *real-time*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi *Prototype Smart Weighbridge* ini, berikut adalah saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem di masa mendatang:

- a. Pengembangan Skala dan Kapasitas Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji sistem menggunakan *Loadcell* dengan kapasitas berat yang lebih besar (misalnya, ton) serta melakukan pengujian akurasi dengan beban standar yang lebih berat untuk memvalidasi kinerja sistem pada skala operasional industri sesungguhnya.
- b. Peningkatan Keamanan Data Perlu ditambahkan lapisan keamanan data pada transmisi API dengan mengimplementasikan protokol HTTPS/SSL alih-alih HTTP untuk mengamankan data yang dikirim dari perangkat ESP32 ke server, sehingga meningkatkan integritas dan kerahasiaan data penimbangan.
- c. Pengujian Jaringan Multi-Sinyal Untuk mengukur stabilitas di lingkungan industri yang kompleks, disarankan untuk melakukan pengujian *latency* dan *packet loss* di bawah berbagai kondisi jaringan, termasuk saat sinyal Wi-Fi lemah dan saat server menerima beban permintaan (request) yang tinggi.
- d. Desain Antarmuka Pengguna (Web/Mobile) Mengembangkan *dashboard* monitoring berbasis *web* atau aplikasi *mobile* yang menampilkan data penimbangan secara visual (selain log printer) akan sangat meningkatkan kemudahan akses dan manajemen data bagi pengguna akhir.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Informasi, P. Kendaraan, R. Handry, H. Simatupang, W. Sartono, and H. C. H, “( Studi Kasus Daerah Istimewa Yogyakarta ),” pp. 822–831.
- [2] B. Sulaeman, M. Muhallim, T. Informatika, and S. Selatan, “TIMBANGAN DIGITAL BERBASIS IOT DI PETERNAKAN BROILER PT . JASS MANDIRI SEJAHTERA BELOPA,” vol. 13, no. 2, 2025.
- [3] S. F. Arianti, A. Silaen, A. Sitinjak, and C. Sitompul, “Rancang Bangun Alat Pengukur Berat Muatan Truk dengan Strain gauge,” vol. 02, no. 01, 2021.
- [4] N. N. Sam, M. Rifaldi, N. R. Wibowo, and M. Nur, “Rancang Bangun Modul Praktik Load Cell dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Arduino Nano,” pp. 3–8.
- [5] P. M. N. Manege, E. K. Allo, and J. T. Elektro-ft, “Rancang Bangun Timbangan Digital Dengan Kapasitas 20Kg Berbasis Microcontroller,” vol. 6, no. 1, pp. 57–62, 2017.
- [6] I. IoT Pada Alat Penimbangan Muatan Truk Berbasis RFID, A. Rabbi Sugara, A. Taqwa, and A. Rakhman, “Implementasi Internet of Things Pada Alat Penimbangan Muatan Truk Berbasis RFID,” *J. Ris. Sist. Inf. Dan Tek. Inform.*, no. 4, pp. 142–150, 2019, [Online]. Available: <http://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik>
- [7] “Prototype sistem otomatisasi konversi biaya tambahan bagasi overload pada baggage weighing scale di bandar udara tugas akhir,” 2025.
- [8] D. I. Ud *et al.*, “SISTEM IoT TIMBANGAN DIGITAL MENGGUNAKAN SENSOR LOAD CELL”.
- [9] M. Z. Augestri, A. Fauzi, A. N. Khairunnisa, and D. Ayu, “Penerapan Teknologi IoT dalam Optimalisasi Rantai Pasok Industri Logistik,” vol. 3, no. 2, pp. 158–173, 2025.
- [10] R. F. Siregar, A. R. Nasution, H. Arifin, M. Alwi, and R. Harahap, “Fuzzy Logic Mamdani-Based Simulation of Solanum,” vol. 8, no. 1, pp. 130–140, 2024, doi: 10.31289/jesce.v6i2.11835.
- [11] B. Oktrialdi, P. Harahap, M. Adam, and R. F. Siregar, “Analisis Sistem

- Monitoring Suhu Dan Kelembaban Berbasis,” vol. 5, no. 2, pp. 98–102, 2023.
- [12] M. F. Wardiyanto, “BERBASIS IOT SEBAGAI MEDIA PENUNJANG PEMBELAJARAN PADA MATA PELAJARAN SISTEM KONTROL TERPROGRAM DI SMK NEGERI 1 JENANGAN Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universitas Negeri Surabaya Email : eppyundra@unesa.ac.id,” pp. 139–148.
- [13] M. Esp and F. D. A. N. Kodular, “IMPLEMENTASI IOT PADA SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN,” vol. 9, no. 1, pp. 1781–1787, 2025.
- [14] P. Harahap, B. Oktrialdi, and R. F. Siregar, “MEMANFAATKAN SENSOR GETAR”.
- [15] E. Jurnal and N. D. Setiawan, “Rancang Bangun Sistem Real-Time Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan ESP32,” vol. 18, no. 1, pp. 447–453, 2025.
- [16] F. I. Pasaribu, N. Evalina, and P. Harahap, “Inverter Starting Energy Saver Design For Electric Power Efficiency in Water Pumps,” vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [17] R. F. Siregar, A. R. Nasution, and I. Tanjung, “IoT Smart Control System : Smoke and Fire Detection Using SIM900A Module,” vol. 7, no. 2, pp. 48–56, 2023.
- [18] F. I. Pasaribu, B. S. Kusuma, N. Evalina, E. Sahnur, F. Rizky, and E. Sipahutar, “Desain Sistem Kontrol Jarak Jauh Pintu Pagar Melalui Internet of Things,” pp. 1–6, 2024.
- [19] Y. Mukhammad, A. Santika, and S. Haryuni, “Analisis Akurasi Modul Amplifier HX711 untuk Timbangan Bayi,” no. 1, 2022.
- [20] C. Science, “Internet of Things and Web Integration for Real-Time Monitoring and Control of Tates Irrigation Integrasi Internet of Things dan Web untuk Monitoring Kendali Irigasi Tates Secara Real Time,” vol. 5, no. October, pp. 1481–1489, 2025.
- [21] A. Rahman and M. Nawawi, “Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual,” vol. 5, no. 2, pp.

207–220, 2017.

- [22] R. Yulianto and A. Amiruddin, “Sistem Pengukur Berat Badan Dan Tinggi Badan Dengan Pencatatan Otomatis Berbasis Internet Of Things,” 2022.
- [23] A. R. Hakim *et al.*, “Jurnal riset sistem informasi,” vol. 2, no. 3, pp. 121–125, 2025.
- [24] A. Info, “COMPARATIVE ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION AND REAL-TIME PERFORMANCE BETWEEN ESP32 AND RASPBERRY PI PICO W IN IOT-BASED TEMPERATURE,” vol. 16, no. 1, pp. 176–182, 2025.

## Lampiran

```
#include <HX711_ADC.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include "BluetoothSerial.h"

// ==== HX711 ====
#define DT 4
#define SCK 5
HX711_ADC scale(DT, SCK);
float calFactor = 234.2; // calibration factor

// ==== LCD ====
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// ==== RFID RC522 (SPI) ====
#define SS_PIN 15
#define RST_PIN 2
MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);

// ==== WiFi credentials ====
const char* ssid = "beliklaaa";
const char* password = "bujanggg";

// ==== API endpoint ====
```

```
const char* serverUrl = "https://weighing-system-io-t-be.vercel.app/api/log-  
weight";
```

```
// ==== Bluetooth Printer ====
```

```
BluetoothSerial SerialBT;
```

```
String btName = "ESP32-BT-Master";
```

```
String pin = "0000";
```

```
String MACadd = "86:67:7A:17:D1:AE";
```

```
uint8_t address[6] = { 0x86, 0x67, 0x7A, 0x17, 0xD1, 0xAE };
```

```
// ==== LED Pins ====
```

```
#define LED_GREEN 12
```

```
#define LED_YELLOW 13
```

```
#define LED_RED 14
```

```
void connectWiFi() {
```

```
  lcd.clear();
```

```
  // lcd.print("Connecting WiFi");
```

```
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```
  int retries = 0;
```

```
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && retries < 20) {
```

```
    delay(500);
```

```
    lcd.print(".");
```

```
    retries++;
```

```
  }
```

```
  lcd.clear();
```

```
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
```

```
    lcd.print("Proses Data");
```

```

    Serial.println("[INFO] WiFi Connected");
  } else {
    lcd.print("Proses Data Gagal");
    Serial.println("[ERROR] WiFi Failed");
  }
}

void disconnectWiFi() {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    WiFi.disconnect(true);
    WiFi.mode(WIFI_OFF);
    Serial.println("[INFO] WiFi dimatikan sementara");
  }
}

void connectBluetooth() {
  Serial.println("\n[INFO] Mengaktifkan Bluetooth...");
  if (!SerialBT.begin(btName.c_str(), true)) {
    Serial.println("[ERROR] Gagal memulai Bluetooth.");
    return;
  }

  SerialBT.setPin(pin.c_str(), pin.length());
  bool connected = SerialBT.connect(address);

  if (connected) {
    Serial.println("[SUCCESS] Terhubung ke printer thermal!");
  } else {
    Serial.println("[FAIL] Gagal terhubung ke printer. Mencoba ulang...");
    while (!SerialBT.connected(10000)) {

```

```
        Serial.println("[RETRY] Coba ulang koneksi printer...");
    }
    Serial.println("[SUCCESS] Terhubung ulang ke printer.");
}
}
```

```
void disconnectBluetooth() {
    if (SerialBT.hasClient()) {
        SerialBT.disconnect();
        SerialBT.end();
        Serial.println("[INFO] Bluetooth dimatikan sementara");
    }
}
```

```
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // LED setup
    pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
    pinMode(LED_YELLOW, OUTPUT);
    pinMode(LED_RED, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_GREEN, LOW);
    digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);
    digitalWrite(LED_RED, LOW);

    // LCD
    lcd.begin();
    lcd.backlight();

    // WiFi (aktif awal)
```

```

connectWiFi();

// HX711 Setup
scale.begin();
scale.start(2000);
scale.setCalFactor(calFactor);
scale.tare();

// RFID
SPI.begin();
rfid.PCD_Init();

// Bluetooth aktif setelah setup
connectBluetooth();
}

void loop() {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Tempel Kartu...");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("          ");

  if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() && rfid.PICC_ReadCardSerial()) {
    String uidStr = "";
    for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
      uidStr += String(rfid.uid.uidByte[i], HEX);
    }
    uidStr.toUpperCase();

    lcd.clear();

```

```

lcd.print("Menimbang...");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Tunggu...");

float total = 0;
int samples = 0;
while (samples < 20) {
  if (scale.update()) {
    total += scale.getData();
    samples++;
  }
  delay(100);
}

float weight = total / samples;
if (weight < 15.0) weight = 0;

Serial.println("Kartu: " + uidStr);
Serial.print("Berat: ");
Serial.println(weight);

lcd.clear();
lcd.print("ID: ");
lcd.print(uidStr.substring(0, 6));
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Berat: ");
lcd.print(weight, 2);
lcd.print(" g");

// ==== KIRIM DATA API ====

```

```

disconnectBluetooth();
delay(1500);
connectWiFi();

String platNo = "-"; // default jika gagal ambil plat
String timeStamp = "-";

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    digitalWrite(LED_YELLOW, HIGH);
    HTTPClient http;
    http.begin(serverUrl);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");

    String weightStr = (weight == 0.0 || isnan(weight)) ? "\\0\\" : String(weight,
2);

    String jsonPayload = "{\"card_id\\\":\"" + uidStr + "\",\"weight\\\":\"" +
weightStr + "\"}";

    Serial.println("Mengirim data: " + jsonPayload);
    int httpResponseCode = http.POST(jsonPayload);
    String response = http.getString();
    Serial.print("HTTP Response: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
    Serial.println("Response: " + response);

    digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);

    if (httpResponseCode > 0 && response.indexOf("\"success\\\":true") != -1)
{
    digitalWrite(LED_GREEN, HIGH);

```

```

// ==== Ambil plat_no dari response ====
int platIndex = response.indexOf("\"plat_no\":");
if (platIndex != -1) {
    platIndex += 11; // panjang "\"plat_no\":"
    int platEnd = response.indexOf("\"", platIndex);
    if (platEnd != -1) {
        platNo = response.substring(platIndex, platEnd);
    }
}

// Ambil created_at dari response
int timeIndex = response.indexOf("\"created_at\":");
if (timeIndex != -1) {
    timeIndex += 14;
    int timeEnd = response.indexOf("\"", timeIndex);
    if (timeEnd != -1) {
        timeStamp = response.substring(timeIndex, timeEnd);
    }
}

// Tampilkan plat no di LCD
lcd.clear();
lcd.print("Plat: ");
lcd.print(platNo);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Berat: ");
lcd.print(weight, 2);
lcd.print(" g");

```

```

    } else {
        digitalWrite(LED_RED, HIGH);
    }

    http.end();
} else {
    Serial.println("[ERROR] WiFi tidak tersambung");
    digitalWrite(LED_RED, HIGH);
}

disconnectWiFi();
delay(2000);

// === PRINT BLUETOOTH ===
connectBluetooth();
delay(1500);

if (SerialBT.connected()) {
    String printText = "\n==== Timbangan ==== \n";
    printText += "ID Kartu: " + uidStr + "\n";
    printText += "Berat: " + String(weight, 2) + " g\n";
    printText += "Plat No: " + platNo + "\n";
    printText += "Waktu: " + timeStamp + "\n";
    printText += "=====\n\n";
    SerialBT.println(printText);
    Serial.println("Data dikirim ke printer via Bluetooth.");
} else {
    Serial.println("[WARNING] Printer tidak terhubung.");
}

```

```
delay(3000);  
lcd.clear();  
digitalWrite(LED_GREEN, LOW);  
digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);  
digitalWrite(LED_RED, LOW);  
  
rfid.PICC_HaltA();  
rfid.PCD_StopCrypto1();  
}  
  
delay(200);  
}
```