

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam hal pengukuran massa suatu barang secara presisi, penimbangan merupakan prosedur penting di berbagai sektor industri, termasuk manufaktur, perdagangan, pertanian, dan logistik. Pencatatan data yang akurat, kualitas produk, dan efisiensi alur kerja—semuanya bergantung pada hasil penimbangan. Baik di lingkungan industri maupun usaha kecil, penimbangan masih umum dilakukan menggunakan timbangan mekanis atau digital konvensional yang mengharuskan pencatatan hasil secara manual. Selain menurunkan efisiensi operasional—terutama saat menangani volume produk yang besar—metode ini juga berisiko menimbulkan kesalahan pembacaan dan keterlambatan dalam pencatatan data (OIML, 2020).

Timbangan digital otomatis yang mampu melakukan prosedur penimbangan secara lebih cepat, akurat, dan efektif telah dikembangkan berkat kemajuan teknologi instrumentasi dan sistem kendali. Timbangan digital bekerja dengan menggunakan sensor untuk mendeteksi beban. Selanjutnya, sebuah mikroprosesor memproses data tersebut untuk menghasilkan nilai massa dalam satuan yang telah ditetapkan. Karena sistem ini meminimalkan kesalahan manusia dalam pembacaan dan pencatatan hasil penimbangan, penggunaannya kini meluas di berbagai sektor komersial dan industri (Setiyono, 2020).

Load Cell merupakan komponen penting yang sering digunakan dalam sistem penimbangan digital. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa gaya atau beban yang diberikan pada elemen pendeteksi (*strain gauge*) menyebabkan perubahan resistansi. Sebuah mikrokontroler memproses sinyal listrik yang dihasilkan dari perubahan resistansi tersebut untuk menentukan berat objek yang sedang ditimbang. Berkat akurasi yang tinggi dan respons yang cepat, *Load Cell* dapat digunakan dalam berbagai kapasitas pengukuran untuk memenuhi kebutuhan aplikasi tertentu. *Load Cell* berkapasitas 200 kilo gram yang digunakan dalam penelitian ini sesuai untuk menimbang objek berukuran sedang hingga besar.

Mikrokontroler diperlukan dalam implementasi sistem penimbangan digital karena berperan sebagai pengendali utama bagi keseluruhan prosedur pengukuran. Dengan menggunakan modul penguat dan konverter analog, ke, digital, mikrokontroler menerima sinyal keluaran dari sensor *Load Cell* dan mengubahnya menjadi nilai berat yang dapat ditampilkan pada perangkat keluaran. Selain memungkinkan penambahan berbagai fungsi—seperti penyimpanan data, konektivitas nirkabel, dan integrasi dengan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT)—penggunaan mikrokontroler juga memungkinkan sistem untuk beroperasi secara otonom dan merespons dengan cepat (El-Abd, 2017).

Meskipun terdapat beragam jenis timbangan digital di pasaran, sebagian besar masih memiliki kekurangan, seperti harga yang relatif tinggi untuk model berkapasitas besar, keterbatasan ruang untuk pengembangan di masa

mendatang, serta ketidakmampuan untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pelanggan. Selain itu, kalibrasi sensor yang kurang memadai menyebabkan ketidakakuratan pembacaan pada beberapa sistem dasar. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem timbangan digital otomatis yang menawarkan akurasi tinggi, memiliki biaya implementasi yang wajar, serta dapat dimodifikasi dengan mudah untuk memenuhi kebutuhan pengguna.

Sensor utama yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan berat objek adalah sensor *Load Cell* dengan kapasitas 200 kilogram. Sebelum diintegrasikan ke dalam sistem, sensor *Load Cell* harus melalui prosedur kalibrasi guna menjamin tingkat akurasi pengukuran yang tinggi. Kalibrasi bertujuan memastikan bahwa hasil pembacaan sensor sangat mendekati berat sebenarnya, sehingga menghasilkan data tepercaya yang dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan. Mengingat pengaruhnya yang besar terhadap akurasi hasil pengukuran, prosedur kalibrasi merupakan langkah krusial dalam pengembangan sistem penimbangan digital ini.

Sistem yang direncanakan perlu diuji dan dikalibrasi untuk memastikan seluruh fiturnya memenuhi kebutuhan pengguna sesuai dengan tujuan yang ditentukan. *Black Box Testing* merupakan teknik pengujian perangkat lunak populer yang mengabaikan struktur internal program dan lebih berfokus pada operasi sistem berdasarkan input serta output. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa setiap bagian sistem—mulai dari pembacaan sensor dan pemrosesan data hingga tampilan hasil penimbangan—beroperasi secara optimal sesuai dengan rancangan (Siraj & Setiani, 2025).

Sistem penimbangan digital yang menggunakan sensor *Load Cell* dan mikrokontroler telah dikembangkan dalam sejumlah penelitian terdahulu. Sebuah sistem penimbangan digital berbasis mikrokontroler yang mampu menampilkan hasil penimbangan secara otomatis dengan tingkat presisi tinggi berhasil dibuat dalam penelitian (Hartanto & Saputra, 2024). Selain itu, prosedur kalibrasi untuk sensor *Load Cell* dapat meningkatkan presisi pengukuran hingga lebih dari 98% (Saputra, et al., 2022). Berdasarkan studi lain, penambahan mikrokontroler pada sistem penimbangan digital meningkatkan kecepatan penimbangan dan mengurangi kesalahan pembacaan dibandingkan dengan metode konvensional (Suparman, et al., 2024). Namun, penelitian, penelitian tersebut umumnya menggunakan sensor berkapasitas lebih kecil atau hanya berfokus pada prosedur penimbangan, tanpa melakukan penilaian menyeluruh terhadap akurasi sensor maupun pengujian fungsi sistem menggunakan metode *Black Box Testing*. Kondisi tersebut menunjukkan masih adanya research gap yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian ini.

Berdasarkan hal tersebut, mikrokontroler ESP32 dan sensor *Load Cell* berkapasitas 200 kilogram perlu digunakan dalam perancangan dan pembuatan sistem penimbangan digital otomatis. Sistem yang dikembangkan ini diharapkan dapat beroperasi secara andal—sebagaimana telah diverifikasi melalui pengujian Black Box—serta mampu melakukan penimbangan otomatis dengan tingkat akurasi tinggi (melalui kalibrasi sensor) dan menyajikan hasil pengukuran yang cepat, akurat, dan mudah digunakan (Aska, et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses

penimbangan, meminimalkan kesalahan pengukuran, serta mendukung pengembangan teknologi instrumentasi berbasis mikrokontroler untuk berbagai aplikasi komersial dan industri.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain:

1. Bagaimana merancang dan membangun alat timbangan digital otomatis menggunakan sensor *Load Cell* 200 kilogram dan mikrokontroler ESP 32?
2. Bagaimana melakukan kalibrasi sensor *Load Cell* untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat serta mengetahui nilai toleransi kesalahan (*error*) alat timbangan digital?
3. Bagaimana hasil implementasi alat timbangan digital otomatis menggunakan sensor *Load Cell* 200 kilogram dan mikrokontroler ESP 32 dalam proses penimbangan benda?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Merancang dan membangun alat timbangan digital otomatis menggunakan sensor *Load Cell* 200 kilogram dan mikrokontroler ESP 32.
2. Melakukan kalibrasi sensor *Load Cell* untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat serta mengetahui nilai toleransi kesalahan (*error*) alat timbangan digital.

3. Mengimplementasikan alat timbangan digital otomatis menggunakan sensor *Load Cell* 200 kilogram dan mikrokontroler ESP 32 dalam proses penimbangan benda.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai sistem tertanam (*embedded systems*), teknologi mikrokontroler, dan sistem instrumentasi. Hasil penelitian ini berfungsi sebagai panduan dalam pembuatan timbangan digital otonom dengan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi, menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor *Load Cell* berkapasitas 200 kilogram. Selain itu, penelitian di masa mendatang mengenai pengembangan sistem penimbangan digital, kalibrasi sensor, dan penerapan teknologi mikrokontroler pada sistem pengukuran otomatis diharapkan dapat menjadikan studi ini sebagai landasan dan acuan.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pihak industri atau pabrik

a. Bagi Pengguna Timbangan Digital

Tujuan penelitian ini adalah menawarkan solusi berupa perangkat penimbangan digital otomatis yang mampu melakukan kegiatan penimbangan secara cepat, akurat, dan mudah digunakan. Alat yang

dikembangkan ini dapat mengurangi kesalahan dalam pembacaan atau pencatatan hasil pengukuran serta meningkatkan efisiensi penimbangan.

b. Bagi Pelaku Usaha dan Industri

Hasil penelitian ini diharapkan menghadirkan sistem penimbangan digital alternatif berbasis mikrokontroler ESP32 yang memiliki tingkat presisi baik serta biaya implementasi yang relatif terjangkau. Sistem ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai sektor—termasuk industri, perdagangan, pergudangan, serta usaha kecil dan menengah—yang membutuhkan prosedur penimbangan yang cepat dan efektif.

c. Bagi Pengembangan Teknologi Instrumentasi

Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan bagaimana sensor *Load Cell* dan teknologi mikrokontroler ESP32 dapat digunakan untuk menciptakan sistem instrumentasi digital. Selain itu, dengan penambahan kemampuan seperti penyimpanan data, koneksi nirkabel, dan integrasi *Internet of Things* (IoT), sistem ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan perangkat ukur digital yang lebih canggih.

d. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian di masa mendatang mengenai pembuatan timbangan digital otomatis, peningkatan akurasi melalui teknik kalibrasi sensor, peningkatan kapasitas beban, serta integrasi sistem pemantauan dan pencatatan data berbasis mikrokontroler dengan *Internet of Things* (IoT) diharapkan dapat menggunakan penelitian ini sebagai acuan.