

Rancang Bangun Sistem Load Cell Untuk Pengujian Beban Tekan Berbasis Arduino

Marshela Nur Annisa¹, Feby Noor Fadilla¹, Mochammad Luthfi¹, Syarif Hidayat¹, Citra Asti Rosalia^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : marshela.nur.aer22@polban.ac.id

E-mail : feby.noor.aer21@polban.ac.id

E-mail : mluthfi@polban.ac.id

E-mail : syahid@polban.ac.id

E-mail : citra.asti@polban.ac.id

ABSTRAK

Keselamatan dan keandalan merupakan aspek fundamental dalam industri penerbangan, sehingga diperlukan sistem monitoring dan pengujian struktural yang akurat untuk menjamin integritas komponen pesawat. Salah satu metode pengujian yang paling penting adalah uji tekan, yang berfungsi untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menahan beban statis maupun dinamis selama operasi penerbangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengukuran gaya tekan berbasis *load cell* dengan kapasitas maksimum 20 kg, menggunakan sensor *strain gauge* sebagai elemen utama deteksi deformasi. Sistem ini mengintegrasikan rangkaian pengolahan sinyal yang terdiri atas amplifier HX711 dan mikrokontroler Arduino Uno untuk konversi dan pemrosesan data, serta modul LCD sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan hasil pengukuran secara *real-time*. Kalibrasi sistem dilakukan secara sistematis untuk memastikan linieritas, akurasi, dan sensitivitas alat terhadap variasi beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur gaya tekan secara presisi, serta dapat digunakan sebagai perangkat bantu dalam kegiatan praktikum maupun pengujian material di lingkungan akademik dan laboratorium teknik. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan alat uji tekan berbiaya rendah namun memiliki performa yang andal dan aplikatif.

Kata Kunci

Uji tekan, *Load Cell*, Arduino, Kalibrasi

Safety and reliability are critical aspects of the aviation industry, requiring accurate monitoring and structural testing systems to ensure the integrity of aircraft components. One of the essential testing methods is compression testing, which evaluates the material's ability to withstand static and dynamic loads during operation. This study presents the design and development of a compressive force measurement system using a 20 kg-capacity load cell integrated with a strain gauge sensor. The system combines a signal conditioning circuit with an HX711 amplifier and an Arduino Uno microcontroller for data conversion and processing. An LCD module is used as a user interface to display real-time measurement results. Although the system was not fully calibrated, an initial measurement was successfully conducted using a single weight sample, demonstrating the system's basic functionality. The developed prototype shows potential for application in laboratory-based educational activities and material testing, offering a cost-effective and functional alternative for small-scale compression measurement.

Keywords

Compression test, Load Cell, Arduino, Calibration

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia penerbangan, keselamatan dan keandalan struktur merupakan aspek krusial. Kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan struktur seperti tabrakan antar pesawat atau *bird strike* seringkali menunjukkan pentingnya pengujian kekuatan material. Uji tekan merupakan suatu metode pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan suatu material dalam menahan gaya tekan hingga mengalami kerusakan atau patah (1). Load cell adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan uji tekan tersebut.

Load cell adalah sensor transduser yang mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sistem ini banyak digunakan pada timbangan digital maupun alat uji kekuatan material. Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem load cell dengan strain gauge yang diintegrasikan ke dalam platform Arduino Uno, dengan pembacaan real-time melalui LCD.

Sitorus et al. (2018) meneliti tentang “Rancang Bangun Load cell Kapasitas 20 kN untuk beban kerja tarik dan tekan”. Jurnal tersebut merancang load cell tipe column berkapasitas 20 kN untuk beban tarik dan tekan menggunakan baja HSLA (ASSAB 70) dan strain gauge 350 Ohm. Sistem memiliki sensitivitas 1 mV/V dan ketidakpastian pengukuran sebesar 0,24% untuk tarik dan 0,23% untuk tekan. Namun, hasil

kalibrasi menunjukkan bahwa load cell tidak memenuhi kelas standar ISO 376:2011 (2).

Alfian et al. (2022) dalam penelitiannya yang berjudul “Pemanfaatan Sensor Load Cell Dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portabel”. Pada penelitian tersebut berhasil dirancang suatu prototipe alat uji tekan portable menggunakan sensor load cell sebagai alat pengukur gaya tekan serta dukungan mikrokontroler Atmega328 yang dihubungkan dengan modul ADC HX711 serta berhasil ditampilkan dalam LCD. Sistem diuji pada rentang gaya 10 – 5000 N dan dilakukan perbandingan dengan alat standar UTM-TENSILON. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pembacaan sebesar 98.7% dengan deviasi pengukuran relatif < 1% yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan hasil pengukuran yang presisi dan dapat diandalkan untuk aplikasi lapangan (3)

Suparman et al. (2023) meneliti mengenai “Rancang Bangun Timbangan Menggunakan Sensor Load Cell dan Mikrokontroler Berbasis *Internet of Things* (IoT)”. Jurnal tersebut membahas mengenai perancangan sebuah prototipe timbangan digital otomatis yang memanfaatkan sensor load cell berkapasitas 100 kg dengan menggunakan mikrokontroler ESP-32 berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem tersebut dilengkapi dengan modul HX711 sebagai penguat sinyal dan tampilan hasil yang akan terbaca pada LCD serta smartphone. Hasil uji kalibrasi pada beban 25-100 kg menunjukkan tingkat akurasi sebesar 98,97% dengan toleransi 1,03%. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan pembacaan berat yang cukup presisi (4).

Najmih Sam et al. (2020) meneliti tentang “Rancang Bangun Load Modul Praktik Load Cell Dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Arduino Nano”. Jurnal tersebut merancang dan mengembangkan modul praktik timbangan digital berbasis sensor load cell sebesar 20 kg dan Arduino Nano sebagai pengendali utama. Sistem ini menggunakan HX711 sebagai penguat sinyal dan konverter analog-to-digital, dengan tampilan output pada LCD 16x2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat akurasi tinggi dengan kesalahan pengukuran hanya 0,2% pada skala gram dan 0,1% pada skala kilogram, serta ketelitian hingga 1 gram. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan hasil pengukuran yang sangat presisi untuk aplikasi laboratorium atau praktik pendidikan (5).

Unang dan Suhartono (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Hasil Ukur Sensor Load Cell Untuk Penimbang Berat Beras, Paket dan Buah Berbasis Arduino”. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa akurasi sensor load cell sangat dipengaruhi oleh jenis objek, di mana beras memiliki error tertinggi sebesar 6,4% dan buah yang paling akurat dengan error hanya 4%. Sistem tersebut berbasis Arduino dan HX711 dengan hasil yang mengindikasikan bahwa sensor load cell bekerja lebih efisien dan akurat pada benda padat dibandingkan dengan objek granular (6).

Dalam penelitian ini, telah berhasil melakukan rancang bangun sebuah sistem load cell berkapasitas 20 kg yang dirancang secara menyeluruh mulai dari tahap perancangan mekanik, pemilihan sensor, hingga integrasi sistem elektronik dan pemrograman. Sistem ini menggunakan strain gauge sebagai elemen sensorik utama serta mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit pemroses data. Meskipun memiliki kapasitas yang relatif kecil, sistem ini mampu menghasilkan pengukuran gaya tekan yang akurat dan presisi. Pendekatan berbasis Arduino memberikan keunggulan dalam hal kesederhanaan, efisiensi biaya, dan fleksibilitas pengembangan, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan dalam kegiatan praktikum, simulasi struktural skala kecil, maupun sebagai prototipe awal dalam penelitian lanjutan. Keberhasilan perancangan ini menunjukkan potensi sistem load cell sebagai alat uji yang aplikatif dan edukatif di lingkungan akademik dan laboratorium teknik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Load Cell

Load cell adalah transduser elektromekanik yang dapat mengubah suatu gaya mekanik menjadi sinyal listrik dengan menggunakan prinsip deformasi material akibat adanya tegangan mekanis (7). *Load cell* berfungsi untuk mengukur beban gaya tekan atau tarik dengan tingkat akurasi yang tinggi. *Load cell* dapat diklasifikasikan berdasarkan arah gaya yang diukur, seperti *load cell* tekan, *load cell* tarik, dan *load cell* tarik-tekan. Adapun bentuk-bentuk *load cell* yang sering digunakan, yaitu *load cell* tipe button, *load cell* tipe column (canister), *load cell* tipe S, dan *load cell* tipe pancake (low profile) (2).



Gambar 1. *Load Cell*

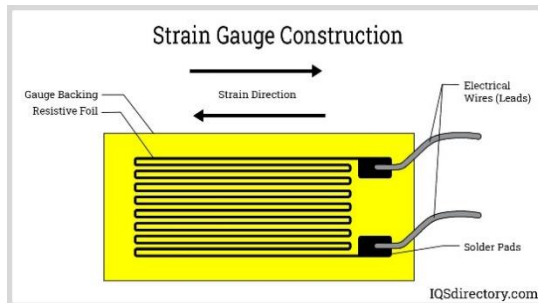
Prinsip kerja *load cell* umumnya didasarkan pada penggunaan *strain gauge* seperti yang terlihat pada Gambar 1, yaitu sensor kecil yang ditempelkan pada permukaan material *load cell*. Ketika suatu *load cell* diberi sebuah beban atau gaya, material *load cell* akan mengalami deformasi yang akan menyebabkan *strain gauge* mengalami perubahan bentuk. Perubahan ini akan mengubah resistansi listrik dari *strain gauge*, yang kemudian akan diubah menjadi sinyal listrik melalui rangkaian penguat (amplifier).

2.2 Strain Gauge

Strain gauge merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengukur tekanan atau beban suatu benda.

Strain gauge berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat penghantar arus listrik berdiameter sekitar 1 mm seperti yang terlihat pada Gambar 2. Strain gauge mengubah kekuatan tekanan, tegangan, berat dan lainnya menjadi besaran hambatan listrik yang akan mempengaruhi nilai tegangan yang terukur (3).

Hambatan ini akan diterjemahkan menjadi sinyal tegangan melalui rangkaian Wheatstone Bridge. Tetapi karena tegangan yang dihasilkan akan sangat kecil, biasanya dalam skala millivolt, dibutuhkan penggunaan amplifier untuk memperkuat sinyal tersebut. Ada beberapa jenis load cell, diantaranya adalah beam load cell, single point load cell dan compression load cell (8).



Gambar 2. Strain Gauge

2.3 Modul HX711

Modul HX711 merupakan converter analog to digital (ADC) dengan presisi 24-bit untuk timbangan digital dan aplikasi kontrol industri yang dirancang khusus untuk digunakan bersama dengan sensor berbasis jembatan *Wheatstone* (9). HX711 menggunakan rangkaian elektronik untuk mengkonversi perubahan resistansi yang dapat diukur menjadi nilai tegangan dan menggunakan TTL232 untuk berkomunikasi dengan komputer atau mikrokontroler (10). Modul HX711 mempunyai desain yang sederhana serta mudah digunakan, dapat diandalkan karena bisa menampilkan hasil yang stabil, memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi serta mampu mengukur dengan cepat seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Modul HX711

2.4 Arduino Uno

Arduino merupakan papan rangkaian elektronik *open-source* yang dilengkapi dengan komponen utama berupa mikrokontroler. Mikrokontroler yaitu chip kecil yang

berfungsi sebagai pengendali utama dalam sebuah sistem elektronik. Mikrokontroler memiliki berbagai fitur seperti memori, pin komunikasi, pin output dan input, serta sistem konversi analog ke digital (11).



Gambar 4. Arduino Uno

Salah satu jenis Arduino yang umum digunakan yaitu Arduino Uno. Arduino Uno merupakan papan elektronik yang menggunakan mikrokontroler berbasis ATmega328. Papan ini memiliki 14 pin input/output digital (6 diantaranya mendukung fitur PWM), 6 pin input analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, Jack power supply, header ICSP, dan tombol reset seperti yang terlihat pada Gambar 4 (12).

2.5 LCD 20x4

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk menampilkan informasi seperti data, huruf, angka, atau grafik sesuai dengan yang diinginkan (13). Gambar 5 merupakan LCD yang bekerja dengan teknologi CMOS logic dan tidak dapat menghasilkan cahaya sendiri. Pencahayaan pada LCD berasal dari *polarizer* yang dipasang secara vertikal dan horizontal dengan tingkat terang layar sesuai dengan besar tegangan listrik yang diberikan (14).



Gambar 5. LCD 20x4

2.6 I2C LCD

Inter Integrated Circuit atau adalah standar komunikasi data dua arah secara serial yang menggunakan dua jalur utama. Jalur tersebut yaitu SCL (Serial Clock) sebagai pengatur waktu dan SDA (Serial Data) sebagai jalur untuk mengirim data. Kedua jalur ini dirancang untuk memungkinkan pertukaran data antara perangkat I2C dengan sistem pengontrolnya secara sederhana dan efisien (15).

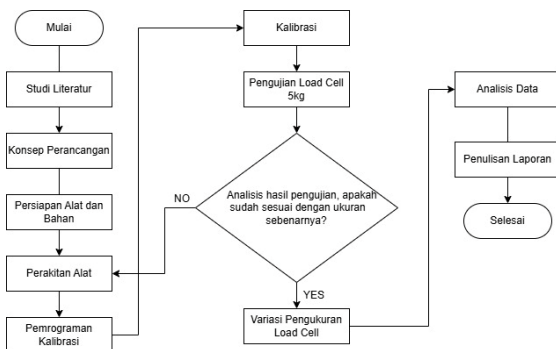
2.7 Prinsip Kerja Load Cell

Prinsip dasar kerja load cell yang menggunakan strain gauge adalah perubahan resistansi yang terjadi pada strain gauge di elemen pengukur ketika material mengalami regangan. Saat beban diterapkan pada load cell, elemen pengukur akan mengalami regangan, dan strain gauge yang terpasang akan mendeteksi perubahan resistansi tersebut.

Sinyal resistansi yang dihasilkan kemudian dikirim ke rangkaian penguat, seperti *amplifier* HX711, untuk diperkuat dan diubah menjadi sinyal tegangan atau arus yang dapat dibaca dan diukur. Output dari load cell ini umumnya berupa tegangan yang sebanding dengan gaya tekan yang diterima oleh elemen pengukur, dan hasil pengukuran tersebut dapat ditampilkan pada LCD yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Uno.

3. METODOLOGI

Diagram alir atau flowchart merupakan salah satu metode rangkaian terstruktur yang didalamnya terdapat metode atau langkah-langkah untuk pengerjaan tugas akhir. Pada Gambar 6 dijelaskan mengenai tahapan dalam penyelesaian tugas akhir melalui diagram alir.



Gambar 6. Flowchart

3.1 Penentuan DRO

Design Requirements and Objectives merupakan dua komponen dalam proses desain dan pengembangan produk. DRO berfungsi untuk memastikan bahwa hasil akhir dapat memenuhi kebutuhan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada Tabel 1 akan dijelaskan mengenai DRO yang dibutuhkan.

Tabel 1. Design Requirement and Objective

Category	Design Requirement & Objective
<i>Functional</i>	
M	Load cell dengan kapasitas 20 kg hanya mampu mengukur beban tekan hingga 20 kg dan tidak boleh digunakan melebihi batas tersebut.
M	Sistem harus mampu mengukur beban tekan dari 1 – 20 kg.

Category	Design Requirement & Objective
M	Load cell harus terpasang stabil dan terkalibrasi dengan baik agar pembacaan akurat.
M	Menggunakan load cell berjenis strain gauge untuk mengukur gaya tekan yang bekerja.
M	Menggunakan modul amplifier HX711 untuk konversi sinyal analog ke digital.
M	Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai alat pengolah sinyal.
M	Menggunakan LCD 20x4 untuk menampilkan beban secara real time.

Material

M	Housing load cell terbuat dari bahan akrilik yang kokoh dan transparan.
M	Menggunakan screw untuk menahan load cell agar posisi tetap dan aman.

Safety

M	Sistem harus aman saat dioperasikan tanpa risiko tersengat listrik atau kerusakan alat.
---	---

Manufacturing

M	Komponen mudah dirakit secara manual menggunakan alat sederhana.
M	Prototipe mudah dibongkar-pasang untuk keperluan pengembangan lanjutan.

Economics

M	Komponen yang digunakan tersedia luas di pasaran dan mudah diperoleh.
M	Biaya pembuatan sistem diusahakan serendah mungkin namun tetap fungsional.

Note: M = *Must*

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan alat dan bahan sesuai yang tertera pada Tabel 2 untuk merakit *load cell* agar bisa terbaca dalam LCD dengan ukuran yang sebenarnya. Alat yang dibutuhkan yaitu: *load cell* dengan beban 20 kg, amplifier HX711, mikrokontroler Arduino uno, kabel jumper female-male, *breadboard*, LCD 20x4 dan batu timbangan dengan beban yang berbeda-beda.

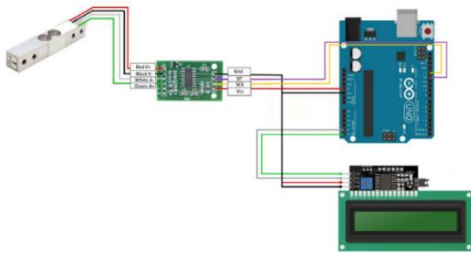
Tabel 2. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Fungsi
1	Load cell 20 kg	Load cell adalah sensor yang digunakan untuk mengukur gaya atau beban.
2	Amplifier HX711	HX711 adalah modul penguat sinyal dan konverter analog-ke-digital (ADC) khusus untuk load cell.

No	Alat dan Bahan	Fungsi
3	Mikrokontroler Arduino Uno	Arduino Uno adalah mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Arduino membaca data digital dari HX711, memprosesnya (misalnya mengkonversi sinyal menjadi satuan berat seperti gram/kilogram)
4	LCD 20x4	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) 20x4 digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran berat.
5	Jumper Cable Female-Male	Kabel jumper ini digunakan untuk menghubungkan pin-pin pada komponen elektronik, terutama antara modul seperti HX711 dan Arduino atau LCD.
6	Kabel USB Type A to Type B	Kabel ini digunakan untuk menghubungkan Arduino Uno ke computer.
7	Batu Timbangan	Batu timbangan digunakan sebagai beban standar saat mengkalibrasi sistem timbangan.

3.3 Perakitan Alat

Dalam penelitian ini dilakukan dua tahap perakitan, yaitu perakitan secara hardware yang seperti yang terlihat pada Gambar 7. meliputi pemasangan komponen seperti load cell, modul HX711, Arduino Uno, dan LCD. Sedangkan perakitan software mencakup pemrograman sistem menggunakan Arduino IDE untuk membaca, mengolah, dan menampilkan data hasil pengukuran.



Gambar 7. Skema *Load Cell*

3.3.1 Rangkaian Hardware

Di bawah ini merupakan langkah-langkah dalam penyusunan rangkaian hardware *load cell* dengan beban 20 kg.

1. Setelah menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan, selanjutnya yaitu memulai untuk proses perakitan. Tahap pertama yaitu pastikan *load cell* sudah terpasang dengan kabel yang terhubung dengan *strain gauge*.

2. Selanjutnya sambungkan kabel *strain gauge* dengan amplifiier modul HX711.
 - a. Kabel berwarna merah dihubungkan dengan cara disolder pada bacaan Red E+ pada modul HX711 yang bertujuan untuk memberikan tegangan positif.
 - b. Kabel berwarna hitam dihubungkan pada Black E- untuk memberikan tegangan negative.
 - c. Kabel berwarna Abu dihubungkan dengan White A- dengan tujuan untuk menerima sinyal output yang kemudian akan dikirimkan pada modul HX711.
 - d. Kabel berwarna hijau dihubungkan dengan Green A+ untuk menerima sinyal output yang akan dikirimkan ke modul HX711.
3. Setelah kabel *strain gauge* terpasang dengan modul HX711, langkah selanjutnya yaitu menyambungkan antara modul HX711 dengan Arduino Uno yang berfungsi sebagai mikrokontroler dengan cara berikut:
 - a. GND pada modul HX711 dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
 - b. DT pada modul HX711 dihubungkan ke pin 9 pada Arduino.
 - c. SCK pada modul HX711 dihubungkan ke pin 8 pada Arduino.
 - d. VCC pada modul HX711 dihubungkan ke pin 5V pada Arduino.
4. Saat modul HX711 sudah tersambung dengan Arduino, langkah selanjutnya yaitu menyambungkan kabel dari Arduino ke LCD agar data berat bisa terbaca. Berikut ini adalah langkah-langkah pemasangannya:
 - a. Seperti pada langkah sebelumnya, GND dari LCD dihubungkan dengan pin GND kembali pada Arduino.
 - b. VCC dari LCD dihubungkan dengan pin 5V pada Arduino.
 - c. SDA dari LCD dihubungkan dengan pin SDA pada Arduino.
 - d. SCL dari LCD dihubungkan dengan pin SCL pada Arduino.
 - e. Setelah semua kabel terpasang, sambungkan kabel USB dari Arduino ke laptop.

3.3.2 Rangkaian Software

Perakitan perangkat lunak dimulai dengan menginstal Arduino IDE dan menambahkan dua pustaka utama, yaitu HX711 untuk membaca sinyal dari sensor load cell, dan `LiquidCrystal_I2C` untuk menampilkan hasil pengukuran pada LCD. Pin DT dan SCK dari modul HX711 dihubungkan ke pin digital 9 dan 8 pada Arduino Uno.

Setelah itu, program dikembangkan untuk menginisialisasi komunikasi serial, kalibrasi, dan pembacaan data berat. Nilai berat dikonversi menjadi gaya tekan, kemudian dihitung tegangan (MPa) dan regangan. Semua parameter ditampilkan secara real-time di LCD. Nilai faktor kalibrasi disesuaikan hingga hasil pengukuran sesuai dengan nilai beban aktual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan suatu proses rancang bangun sistem *load cell* berbasis Arduino yang ditujukan untuk pengukuran dan pengujian beban tekan hingga 20 kg. Sistem terdiri dari sensor *strain gauge* sebagai komponen utama, modul HX711 sebagai penguat dan konverter sinyal analog ke digital, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pemroses data, serta LCD 20x4 sebagai media tampilan hasil pengukuran.

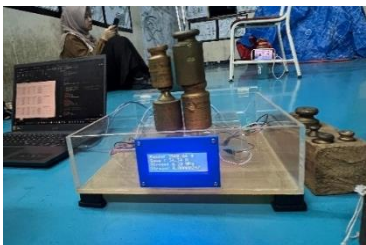
Perakitan dilakukan dalam dua tahap, yaitu perakitan hardware dan software. Perakitan hardware mencakup penyusunan komponen elektronik sesuai skema sistem, sementara perakitan software dilakukan dengan menyusun program Arduino IDE agar sistem dapat membaca sinyal dari sensor dan menampilkannya dalam bentuk massa, gaya, tegangan, dan regangan pada layar LCD.

Selanjutnya dilakukan uji coba pengukuran menggunakan satu sampel timbangan standar seberat 1000 gram. Hasil pengukuran pada LCD menunjukkan bahwa sistem mampu membaca beban dengan respon yang sesuai, menandakan bahwa sistem bekerja sebagaimana mestinya. Gambar 8 berikut ini menunjukkan dokumentasi sistem saat berhasil membaca beban seberat 1000 gram.



Gambar 8. *Load Cell* Beban 1000 Gram

Setelah berhasil dilakukan pengukuran pada housing A dengan menggunakan beban 1000 gram, sistem juga diuji pada housing B yang telah dirancang menggunakan timbangan standar seberat 3500 gram seperti pada Gambar 9 dan berhasil menampilkan data pengukuran dengan akurat dan mampu bekerja pada lebih dari satu jenis housing.



Gambar 9. *Load Cell* Beban 3500 Gram

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan perakitan sistem *load cell* berbasis Arduino yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu beroperasi secara efektif dalam melakukan pengukuran beban tekan hingga kapasitas maksimum 20 kg dengan tingkat akurasi yang tinggi. Beberapa poin kesimpulan yang dapat ditarik dari pencapaian penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah berhasil dilakukan rancang bangun dan perakitan sistem *load cell* berbasis Arduino hingga bisa menghasilkan produk yang dapat menampilkan suatu nilai pengukuran secara digital.
2. Sistem terdiri dari *strain gauge*, modul HX711, Arduino Uno, dan LCD 20x4 yang terintegrasi dengan baik.
3. Pengujian menggunakan sampel timbangan standar menunjukkan bahwa sistem mampu membaca beban dan menampilkannya secara *real time* yang menandakan bahwa sistem berhasil menjalankan fungsinya sebagai alat ukur beban tekan.

5.2 Saran

Agar sistem yang telah dirancang dapat digunakan secara lebih optimal dan menghasilkan data yang presisi, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Diperlukan proses kalibrasi terhadap sistem agar hasil pengukuran lebih akurat dan dapat diandalkan secara teknis.
2. Perlu dilakukan pengujian secara berulang kali dengan variasi beban yang berbeda agar sensitivitas dan kestabilan sistem dapat dianalisis.
3. Pengembangan housing agar penyaluran beban dapat disempurnakan untuk mendukung ketelitian pengukuran dan meningkatkan keamanan selama pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muchlisin M. Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Aplikasi Augmented Reality Alat Uji Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Aplikasi Augmented Reality Alat Uji Kuat Tekan Beton. *J Penelit Pendidik Indones.* 2023;8(1):2477–3921.
2. Wahyuni SS, Ajat S, Rezki LK. Rancang Bangun Load Cell Kapasitas 20 kN Untuk Beban Kerja Tarik dan Tekan. *J Ilm GIGA.* 2018;21(1):15–23.
3. Alfian R, Wirawan R, Hudha LS, Qomariyah N, Rahayu S, Marzuki M. Pemanfaatan Sensor Load Cell Dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portabel. *Wahana Fis.* 2022;7(1):82–92.
4. Supriyanto G, Kumara Jurusan Teknik Pertanian A, Teknologi Pertanian F, Pertanian Stiper Yogyakarta Jl I. Rancang Bangun Timbangan Menggunakan Sensor Load Cell dan Mikrokontroler Berbasis Internet of Things (IoT). *AE Innov J [Internet].* 2024;2(01):62–8. Available from: <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/AEI>

5. Sam NN, Rifaldi M, Wibowo NR, Nur M, Bosowa P. Rancang Bangun Modul Praktik Load Cell dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Arduino Nano. *Mechatronics J Prof Entrep.* 2020;2(1):21–6.
6. Unang Achlison, Bambang Suhartono. Analisis Hasil Ukur Sensor Load Cell untuk Penimbang Berat Beras, Paket dan Buah berbasis Arduino. *E-Bisnis J Ilm Ekon dan Bisnis.* 2020;13(1):96–101.
7. Nadi, Ilyas Hadikusuma M, Indah Rahayu W. RANCANG BANGUN MESIN PENERING GABAH BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN REKAYASA SUHU BUATAN. 2024;5(1). Available from: <https://ejournal.warunayama.org/index.php/kohesi/article/view/6772/6243>
8. Widharma IGS, Wiarta IK. Sensor strain gauge dalam pengukuran tegangan dan regangan. 2020;(November):1–19.
9. Sari A, Bella C. Rancang Bangun Koper Pintar Dengan Menggunakan Arduino. *Portaldata.org.* 2021;1(3):1–21.
10. Rachmawati P. Perancangan Simulasi Timbangan Digital Menggunakan Sensor Hx711 Dengan Tambahan Buzzer Berbasis Esp32. *Med Trada.* 2023;4(2):22–8.
11. Simanjuntak IUV, Rochendi AD, Silalahi LM, Salamah KS. Penggunaan Strain Gauge Sebagai Kendali Kursi Roda. *J Ilm Teknol dan Rekayasa.* 2021;26(2):154–69.
12. Pratama D. Implementasi Pulse Width Modulation (Pwm) Pada Sistem Blending Kacang Menggunakan Sensorloadcell Berbasis Mikrokontroler. *J Tek.* 2021;1(1):1.
13. Rahardjo P. Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali. *Maj Ilm Teknol Elektro.* 2022;21(1):31.
14. Natsir M, Rendra DB, Anggara ADY. Implementasi IOT Untuk Sistem Kendali AC Otomatis Pada Ruang Kelas di Universitas Serang Raya. *J PROSISKO (Pengembangan Ris dan Obs Rekayasa Sist Komputer).* 2021;6(1):69–72.
15. Oktari P. Mengembangkan Alat Ukur Batas Kapasitas Tas Sekolah Anak Menggunakan Mikrokontroler. *J Portal Data.* 2021;1(3):1–16.