PERANCANGAN DAN PEMBANGUNAN *UNIVERSAL TESTING MACHINE* SKALA LABORATORIUM EKONOMIS UNTUK PENGUJIAN TARIK DAN TEKAN MATERIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *REVERSE ENGINEERING*

Ilham Arifin Pahlawan[1], Alviani Hesthi Permata Ningtyas[2], Rilo Chandra Muhammadin[3]

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

Email: ilhamarifin@umg.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun Universal Testing Machine (UTM) skala laboratorium yang ekonomis namun tetap akurat untuk pengujian tarik dan tekan material. Metode reverse engineering diterapkan pada beberapa UTM komersial guna memperoleh spesifikasi dan mekanisme kerja yang sesuai untuk kebutuhan internal. Rangkaian mekanik menggunakan sistem penggerak berbasis ulir daya (power threads) dan gearbox untuk menghasilkan gerakan vertikal platform yang stabil. Sistem kelistrikan dikendalikan oleh motor tiga fasa dengan bantuan kontaktor dan saklar pemilih arah putar. Load cell tipe-S digunakan untuk mengukur gaya secara akurat dan dibaca oleh mikrokontroler Arduino melalui modul HX711. Data pengukuran divisualisasikan secara real-time melalui antarmuka komputer. Hasil validasi menunjukkan deviasi kurang dari 1% terhadap timbangan digital standar, membuktikan bahwa sistem ini memiliki akurasi yang dapat diterima secara ilmiah.

Kata kunci: Universal Testing Machine, uji tarik, load cell tipe-S, HX711, Arduino, reverse engineering, kalibrasi, laboratorium, tegangan-regangan, pengujian material.

ABSTRACT

This study aims to design and develop a laboratory-scale Universal Testing Machine (UTM) that is cost-effective yet sufficiently accurate for tensile and compressive material testing. A reverse engineering method was applied to several commercial UTM systems to derive appropriate specifications and mechanical mechanisms for internal use. The mechanical system employs power threads and gearboxes to ensure stable vertical motion of the testing platform. The electrical control system utilizes a three-phase motor with contactors and a direction selector switch. An S-type load cell is used to measure force with high accuracy, interfaced with an Arduino microcontroller through the HX711 module. Measurement data are visualized in real-time using a PC interface. Validation results show a deviation of less than 1% compared to a standard digital scale, indicating that the system achieves a scientifically acceptable level of accuracy.

***Keywords**: Universal Testing Machine, tensile test, S-type load cell, HX711, Arduino, reverse engineering, calibration, laboratory, stress-strain, material testing.*

Jejak Artikel
Upload artikel : 25 April 2025
Revisi : 29 April 2025
Publish : 3 Mei 2025

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan untuk mengetahui kekuatan material sangat penting sebagai dasar perhitungan desain pada produk perangkat keras yang sebenarnya (Biopdi, 2018). Beberapa manufaktur ternama telah memproduksi sejumlah alat pengujian material untuk kekuatan material yang telah terstandarisasi (ZwickRoell, 2020). Namun, dengan mempertimbangkan tingkat ekonomis, ada beberapa komponen yang seharusnya dapat dikurangi dalam segi pembiayaan (Amade-Tech, 2021).

Universal Testing Machine (UTM) merupakan salah satu alat yang umum digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik atau tekan maksimum dari suatu material; selain itu, UTM juga dapat mengukur kekuatan luluh, pertambahan panjang material, daerah ketangguhan, daerah lentingan, dan modulus elastisitas yang bisa didapat dari suatu material (Biopdi, 2018). Secara umum, prinsip kerja dari UTM adalah pembebanan atau pemberian gaya pada suatu material yang nantinya nilai intrinsik kekuatan material akan dinilai seberapa kuat material tersebut menahan beban (Biopdi, 2018).

Pembebanan sendiri dapat dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu pembebanan statik, semi-statik, dan dinamis (Biopdi, 2018). Sementara itu, UTM hanya mampu mengeluarkan beban statik dan semi-statik saja (Biopdi, 2018). Dengan mempertimbangkan material yang akan diuji, perlu juga diingat bahwa setiap material memiliki kekuatan material yang berbeda, yang dapat dibagi menjadi empat kategori besar, yaitu logam, polimer, keramik, dan komposit (Biopdi, 2018). Selain itu, kekuatan material juga bergantung pada dimensi spesimen yang akan diuji (Biopdi, 2018). Dengan kata lain, untuk spesimen dapat menggunakan bentuk standar spesimen uji tarik yang sudah menjadi patokan secara luas seperti ASTM E8, ISO, ataupun sejenisnya (Biopdi, 2018). Spesimen yang digunakan harus dibentuk sedemikian rupa agar tidak terjadi celah untuk pembacaan kuat tarik material yang tidak akurat (Biopdi, 2018). Bagian fixture, bagian cross-section, dan bagian agar tidak ada konsentrasi tegangan, panjang spesimen, serta bentuk spesimen, apakah round bar atau rectangle, patut menjadi perhatian untuk menentukan dimensi dari alat UTM yang akan digunakan untuk pengujian tariknya (Biopdi, 2018).

Beberapa pertimbangan tersebut harus menjadi acuan untuk membuat rancangan alat yang memiliki performa setara tetapi dengan harga yang lebih ekonomis (Amade-Tech, 2021). Alat UTM ini nantinya akan digunakan untuk kebutuhan internal dan tidak untuk dikomersialisasi karena hanya sebatas tahap manufaktur dan perakitan, tidak sampai ke tahap standarisasi produk untuk komersialisasi (Amade-Tech, 2021). Setelah alat UTM ini dibangun, akan dilakukan kalibrasi nilai pembebanan yang dikeluarkan (Amade-Tech, 2021).

2. METODE

Dalam penelitian ini menggunakan metode *reverse engineering* dari beberapa mesin uji tarik yang sudah ada di pasaran untuk disesuaikan kembali dengan kebutuhan replikasi skala laboratorium internal use only. Dari beberapa data tersebut akan disintesis dan didapatkan spesifikasi dan mekanisme baru seperti: alat penggerak utama, sensor yang digunakan, mekanisme penjepitan spesimen material, dan pembacaan grafik tegangan-regangan.

3. SPESIFIKASI

Alat UTM yang dihasilkan dirancang untuk dapat dipakai oleh standar spesimen yang ditetapkan. Dengan ketentuan spesifikasi sebagai berikut:

Tensile max.	20 kN (2 Ton)
Konfigurasi	2 power thread dan 2 column
Mounting	Ground: Vertikal
Load Cell	Type S, 5 Ton
Stroke max.	50 cm
Strain rate	2 mm/s (unloaded condition)
Software	Arduino load cell & Encoder
Weight	100 Kg
Daya Listrik	700 tt, 240 volt

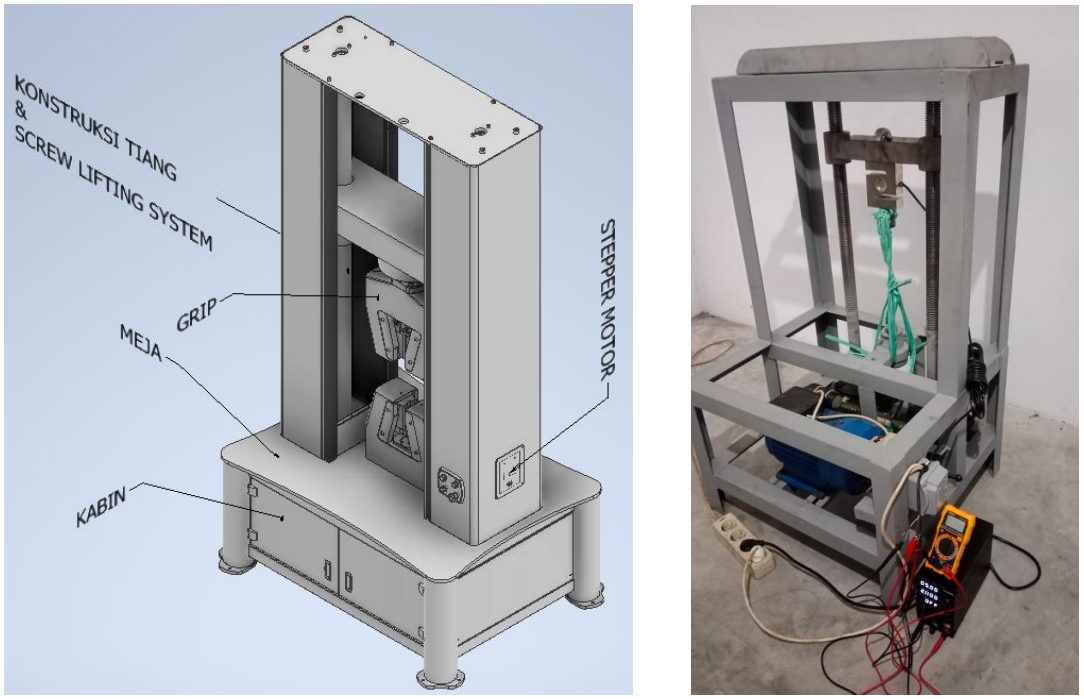
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fabrikasi UTM yang dapat digunakan dengan mudah untuk pengujian tarik dan tekan

dengan perawatan komponen yang mudah, bentuk yang compact dengan dapat dilihat pada Gambar 1.

4.1 Rancangan mekanik

Untuk dapat membuat platform dapat naik dan turun, mekanisme yang dipakai adalah menggunakan power threads bentuk square. Hal ini dipilih karena mudah dalam segi fabrikasi, perawatan dan memiliki kontrol laju naik dan turun platform yang baik (dapat berhenti dengan stabil ketika mesin dimatikan). Detail gambar power threads pada Gambar 2. Untuk dapat mengatur pergerakan agar stabil maka dibutuhkan minimal dua square power threads dengan nut yang juga memiliki material



(a) **(b)**

Gambar 1. Rancangan struktur UTM **(a)** CAD awal, **(b)** fabrikasi alat

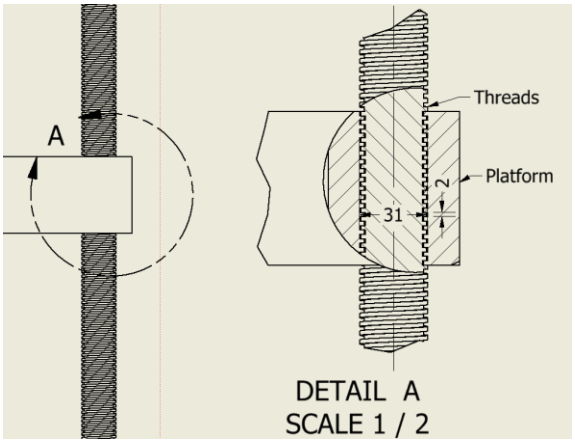
dipasang secara fix dengan platform yang dapat naik dan turun sehingga gerakan stabil dan konstan. Untuk menambahkan input power dari torsi threads maka pada bagian bawah terdapat dua gearbox tipe worm gear yang di-couple ke bolts. Kedua gearbox sudah dirangkai secara seri dengan shaft yang nantinya memiliki putaran gear yang memiliki gerakan searah. Gearbox memiliki rasio putaran input dan output adalah 1:40. Sumber putaran gearbox berasal dari komponen pulley dan vanbelts dengan rasio pulley gear box dan motor adalah 1:3. Dengan kecepatan awal motor adalah 1000 rpm menghasilkan kecepatan naik dan turun platform sekitar 2 mm/s. Detail pemasangan ada Gambar 3.

4.2 Rancangan kelistrikan dan sensor

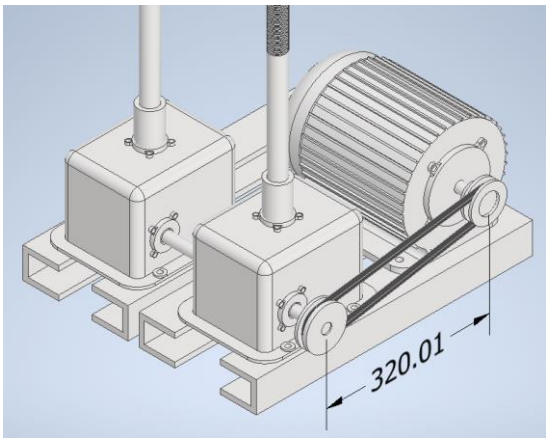
Kelistrikan digunakan untuk menyalakan motor dengan pemasangan dapat diputar untuk clockwise dan anti-clockwise. pada Gambar 4. Gambar menunjukkan rangkaian kendali motor 3 fasa yang digunakan untuk mengatur arah putaran motor pada alat uji tarik. Sistem ini menggunakan dua kontaktor LS S-T10 yang dikendalikan oleh sakelar pemilih 3 posisi (maju–berhenti–mundur) pada Gambar 5. Rangkaian ini memungkinkan motor berputar searah atau berlawanan arah jarum jam untuk menaikkan atau menurunkan platform uji. Sakelar pemilih mengaktifkan salah satu kontaktor yang mengubah urutan fasa motor, sehingga arah putaran berubah sesuai kebutuhan pengujian. Sistem ini sederhana namun efektif untuk mengendalikan gerakan vertikal platform secara manual dan presisi.

4.3 Software

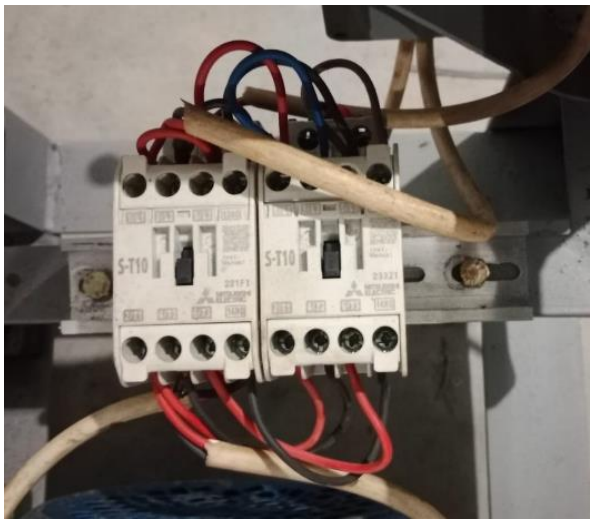
Arduino dengan bantuan module HX711_ADC yang dipasangkan ke load cell tipe S dengan empat pin. Load cell tipe-S dipasang presisi pada rangka uji tarik dan dikabelkan ke modul HX711 sesuai standar empat-kawat: E+ (merah) dan E- (hitam) sebagai eksitasi, S+ (putih) dan S- (hijau) sebagai sinyal diferensial seperti pada Gambar 6. Pada modul HX711, pin E+ dan E- terhubung ke load cell, sedangkan pin DT (data) disambung ke pin digital 2 Arduino Uno dan SCK (clock) ke pin digital 3. VCC modul diambil dari 5 V Arduino, dan GND bersama. Arduino diprogram menggunakan pustaka HX711_ADC; alamat port serial dikunci pada COM3 dengan baud rate 115200 bps untuk kompatibilitas aplikasi visualisasi. Sketsa melakukan kalibrasi faktor skala, membaca data 10 Hz, kemudian mengirim nilai gaya



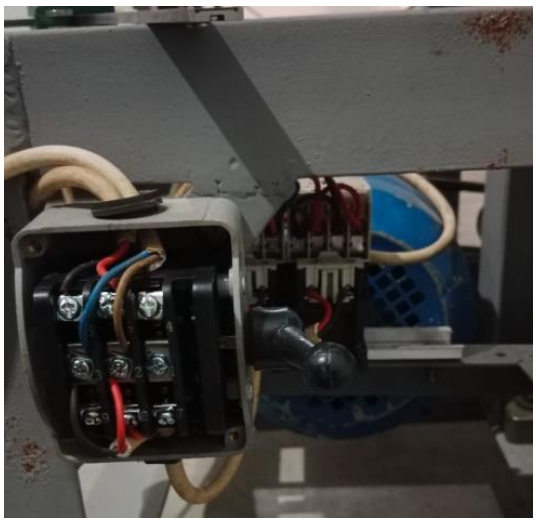
Gambar 2. Detail power threads



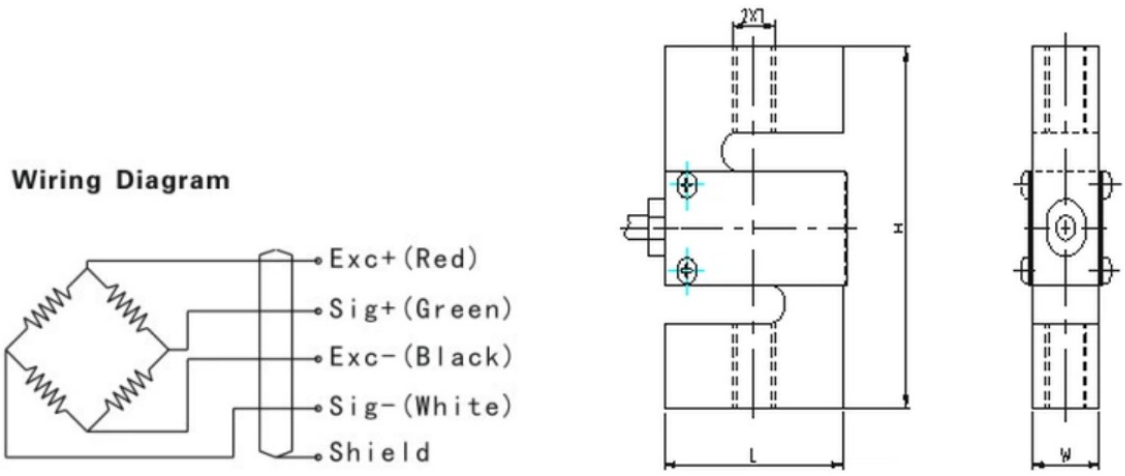
Gambar 3. Pemasangan Motor dan Gearbox



Gambar 4. Detail dua kontaktor LS S-T10

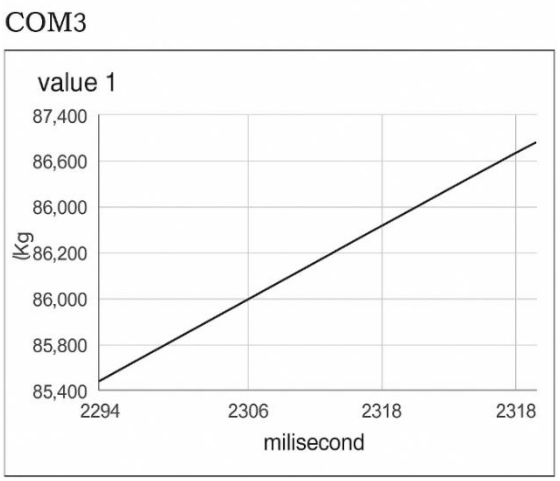


Gambar 5. Saklar pemilih 3 posisi



Gambar 6. Penyambungan kawat antara Modul HX711 dengan Load cell tipe S

terfilter ke antarmuka PC berbasis Processing atau Visual C# untuk plotting real-time dan penyimpanan CSV seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik beban terhadap waktu saat pengujian alat uji Tarik.

4.4 Performa

Performa sistem pengukuran telah divalidasi menggunakan timbangan gantung digital sebagai acuan pembanding. Pengujian dilakukan dengan membebani load cell secara bertahap, dan hasil pembacaan dari Arduino menunjukkan deviasi kurang dari 1% terhadap nilai referensi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja dengan akurasi yang dapat diterima secara ilmiah.

5. KESIMPULAN

Universal Testing Machine (UTM) skala laboratorium yang telah dirancang dan dibangun berhasil memenuhi fungsi dasar untuk pengujian tarik dan tekan material secara akurat dan ekonomis. Desain mekanik dengan power threads dan gearbox memberikan gerakan vertikal platform yang stabil. Sistem kelistrikan menggunakan kontrol arah motor yang sederhana namun efektif. Pembacaan beban oleh load cell tipe-S melalui modul HX711 yang terintegrasi dengan Arduino memberikan hasil pengukuran yang real-time dan akurat. Validasi sistem terhadap timbangan digital menunjukkan deviasi yang sangat kecil (<1%), menandakan bahwa alat ini layak digunakan untuk kebutuhan pengujian internal di lingkungan akademik atau riset. Dengan biaya yang lebih rendah dibanding alat komersial, UTM ini dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dan efisien.

6. DAFTAR PUSTAKA

Biopdi. (2018). Universal Testing Machine performs multiple tests on materials. Diakses dari https://biopdi.com/universal-testing-machine/Biopdi

ZwickRoell. (2020). Universal Testing Machines for Static Applications. Diakses dari https://www.zwickroell.com/products/static-materials-testing-machines/universal-testing-machines-for-static-applications/ZwickRoell Materials Testing

Amade-Tech. (2021). Affordable Universal Testing Machine (UTM) for Sale. Diakses dari https://www.amade-tech.com/universal-testing-machine-utm/Amade-Tech

7. KODE PROGRAM

```
// Sistem Timbangan Digital dengan HX711 dan EEPROM
// Dibuat ulang dari dasar dengan penyesuaian untuk penggunaan pribadi
// Refactor oleh [Nama Kamu], 2025

#include <HX711_ADC.h>
#if defined(ESP32) || defined(ESP8266) || defined(AVR)
#include <EEPROM.h>
#endif

// Konfigurasi pin HX711
const int PIN_DOUT = 5;
const int PIN_SCK = 6;

// Inisialisasi modul load cell
HX711_ADC scale(PIN_DOUT, PIN_SCK);

// Alamat EEPROM untuk menyimpan faktor kalibrasi
const int EEPROM_ADDRESS = 0;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  delay(50);
  Serial.println("\n--- Sistem Timbangan Siap ---");

  scale.begin();
  scale.start(2000, true);

  if (scale.getTareTimeoutFlag() || scale.getSignalTimeoutFlag()) {
    Serial.println("ERROR: Tidak terhubung ke HX711. Periksa kabel dan pin.");
    while (true);
  }

  // Set faktor kalibrasi awal (nanti bisa diubah)
  scale.setCalFactor(1.0);

  // Wajib update awal sebelum pembacaan
  while (!scale.update());

  Serial.println("Inisialisasi selesai.\n");
  mulaiKalibrasi();
}

void loop() {
  static bool dataSiap = false;

  if (scale.update()) dataSiap = true;

  if (dataSiap) {
    float berat = scale.getData();
    Serial.println(berat);
    dataSiap = false;
  }

  if (Serial.available() > 0) {
    char cmd = Serial.read();
    if (cmd == 't') scale.tareNoDelay();
    else if (cmd == 'r') mulaiKalibrasi();
    else if (cmd == 'c') ubahKalibrasi();
  }

  if (scale.getTareStatus()) {
    Serial.println("0");
  }
}

// Fungsi kalibrasi beban
void mulaiKalibrasi() {
  Serial.println("Kalibrasi dimulai...");
  Serial.println("1. Pastikan tidak ada beban.");
  Serial.println("2. Kirim 't' untuk proses tare.");

  while (!scale.getTareStatus()) {
    scale.update();
    if (Serial.available() > 0 && Serial.read() == 't') {
      scale.tareNoDelay();
    }
  }

  Serial.println("Tare selesai.");
  Serial.println("Letakkan beban yang diketahui massanya.");
  Serial.println("Kirim nilai berat (contoh: 100.0) melalui Serial Monitor.");

  float massaReferensi = 0;
  while (massaReferensi == 0) {
    scale.update();
    if (Serial.available() > 0) {
      massaReferensi = Serial.parseFloat();
      if (massaReferensi > 0) {
        Serial.print("Massa referensi: ");
        Serial.println(massaReferensi);
      }
    }
  }

  scale.refreshDataSet();
  float kalibrasiBaru = scale.getNewCalibration(massaReferensi);
  Serial.print("Nilai kalibrasi baru: ");
  Serial.println(kalibrasiBaru);

  Serial.println("Simpan ke EEPROM? (y/n)");
  bool selesai = false;
  while (!selesai) {
    if (Serial.available() > 0) {
      char input = Serial.read();
      if (input == 'y') {
```

```
#if defined(ESP8266) || defined(ESP32)
      EEPROM.begin(512);
#endif
      EEPROM.put(EEPROM_ADDRESS,
kalibrasiBaru);
#if defined(ESP8266) || defined(ESP32)
      EEPROM.commit();
#endif
      Serial.println("Disimpan ke EEPROM.");
      selesai = true;
     } else if (input == 'n') {
      Serial.println("Tidak disimpan.");
      selesai = true;
     }
    }
  }

  scale.setCalFactor(kalibrasiBaru);
  Serial.println("Kalibrasi selesai.\n");
}

// Fungsi untuk mengubah kalibrasi manual
void ubahKalibrasi() {
  float faktorSekarang = scale.getCalFactor();
  Serial.print("Faktor kalibrasi sekarang: ");
  Serial.println(faktorSekarang);
  Serial.println("Kirim nilai baru melalui Serial
Monitor.");

  float faktorBaru = 0;
  while (faktorBaru == 0) {
    if (Serial.available() > 0) {
      faktorBaru = Serial.parseFloat();
      if (faktorBaru != 0) {
        scale.setCalFactor(faktorBaru);
        Serial.print("Faktor baru: ");
        Serial.println(faktorBaru);
      }
    }
  }

  Serial.println("Simpan ke EEPROM? (y/n)");
  bool selesai = false;
  while (!selesai) {
    if (Serial.available() > 0) {
      char jawab = Serial.read();
      if (jawab == 'y') {
#if defined(ESP8266) || defined(ESP32)
      EEPROM.begin(512);
#endif
      EEPROM.put(EEPROM_ADDRESS,
faktorBaru);
#if defined(ESP8266) || defined(ESP32)
      EEPROM.commit();
#endif
      Serial.println("Disimpan.");
      selesai = true;
     } else if (jawab == 'n') {
      Serial.println("Tidak disimpan.");
      selesai = true;
     }
    }
  }

  Serial.println("Faktor kalibrasi diperbarui.\n");
}
```