



JPTM FT UNY



BANDAR NASIONAL SERTIFIKASI PROFESI

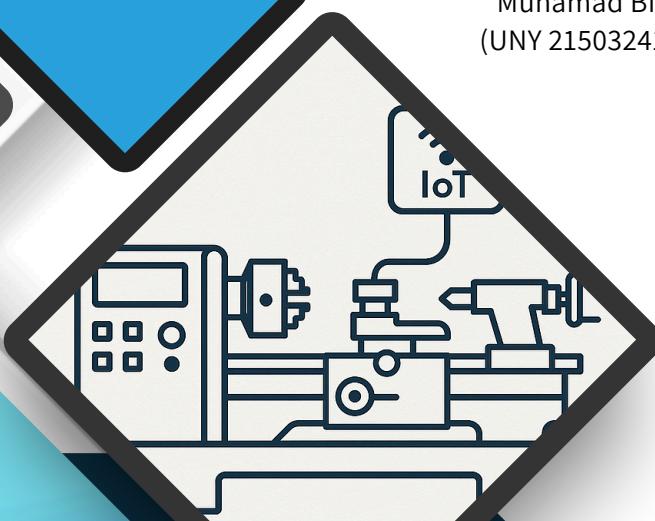
# BUKU Manual

Instalasi Perangkat PdM IoT untuk  
Monitoring Mesin Bubut

2025

Edisi  
Mei 2025

Disiapkan oleh  
Muhamad Biworo  
(UNY 21503241033)



# Daftar Isi

01

## Pendahuluan

1.1 Tujuan & Manfaat

02

## Persyaratan & Persiapan

2.1 Kebutuhan Hardware & Software

2.2 Persiapan Awal & Kalibrasi

03

## Instalasi & Konfigurasi

3.1 Pemasangan Hardware pada Mesin Bubut

3.2 Setup Software (IDE, Library, ThingSpeak, Google Sheets)

3.3 Upload Kode & Verifikasi Sistem

04

## Operasional & Pemeliharaan

4.1 Startup & Shutdown Sistem

4.2 Monitoring Real-Time & Analisis Data

4.3 Pemeliharaan Rutin & Troubleshooting

05

## Lampiran & Dukungan

5.1 Wiring Diagram, Kode

Program, dan Template Data

5.2 Kontak Teknis & Dokumentasi Online



# Pendahuluan

## 1.1 Tujuan & Manfaat

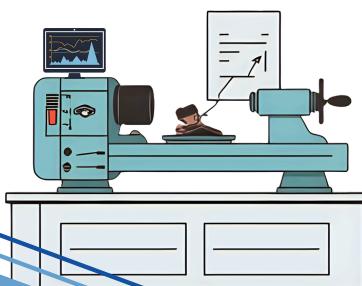
### Tujuan

Sistem PdM IoT untuk mesin bubut ini dirancang untuk:

1. Deteksi dini kerusakan komponen mesin bubut melalui pemantauan parameter kritis (suhu, getaran, RPM, dan arus listrik) secara real-time.
2. Mengoptimalkan jadwal perawatan berdasarkan kondisi aktual mesin, sehingga tindakan preventif dapat dilakukan tepat waktu sebelum kerusakan serius terjadi.

### Manfaat

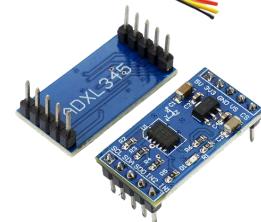
1. Penghematan Biaya & Pengurangan Downtime
  - a. Dengan terdeteksinya anomali sejak awal, biaya perbaikan dan penggantian komponen mendadak dapat diminimalkan.
  - b. Waktu henti produksi juga berkurang karena pemeliharaan dapat direncanakan sebelumnya, bukan bersifat reaktif.
2. Data Historis untuk Analisis Lanjutan
  - a. Rekaman parameter dari ThingSpeak dan Google Sheets menyediakan basis data historis untuk analisis tren jangka panjang.
  - b. Teknisi dan engineer dapat memanfaatkan data ini untuk menyusun laporan, mengevaluasi pola kerusakan, dan merancang strategi pemeliharaan lebih tepat di masa mendatang.



# Persyaratan & Persiapan

## 2.1.1 Hardware

1. Modul ESP32 + TFT 2.4"
  - a. Chip: ESP32 DevKit V1 (Wi-Fi & Bluetooth Dual-Mode)
  - b. Layar: TFT ILI9341 ( $320 \times 240$  piksel, antarmuka SPI)
  - c. Fungsi: Unit pemroses utama dan antarmuka monitoring lokal
2. DS18B20 (Sensor Suhu)
  - a. Tipe/Protokol: 1-Wire
  - b. Rentang:  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+125^{\circ}\text{C}$
  - c. Fungsi: Monitor suhu motor bubut secara akurat
3. ADXL345 (Sensor Getaran)
  - a. Tipe/Protokol: I<sup>2</sup>C ( $\pm 16\text{g}$ , 3-axis, hingga 3200 Hz sampling)
  - b. Fungsi: Mengukur getaran mesin untuk deteksi keausan
4. Optical RPM (Sensor Kecepatan Putar)
  - a. Resolusi: 0,1 RPM
  - b. Fungsi: Membaca kecepatan spindle secara akurat
5. PZEM-004T (Sensor Arus/Tegangan)
  - a. Spesifikasi: AC 80–260V, pengukuran arus hingga 100A
  - b. Fungsi: Mengukur konsumsi daya dan arus motor
6. Power Supply 5V / 3A
  - a. Output: 5VDC stabil /  $\geq 3\text{A}$  (ripple  $< 5\%$ )
  - b. Fungsi: Menyediakan daya untuk ESP32 dan seluruh sensor



## Aksesoris Pendukung (ringkas)

- Kabel koneksi sensor



Kabel sensor arus



Kabel sensor suhu



Kabel sensor getaran

Kabel sensor RPM



- Kabel MicroUSB (untuk upload kode ke ESP32)



- Bracket untuk sensor adxl dan rpm



- Cable tie & Heat-shrink tube (manajemen kabel dan isolasi)



- Thermal glue (untuk menempel DS18B20 pada housing motor)



- Double-sided tape (untuk penempatan komponen ringan)



## 2.1.2 Software

### 1. Arduino IDE v2.3.6

- Tambahkan "URL Board ESP32" di File → Preferences → Additional Boards Manager URLs, lalu install "ESP32 Dev Module" melalui Tools → Boards → Boards Manager.
- Fungsi: Pemrograman dan upload sketch ke ESP32.

### 2. Library Utama

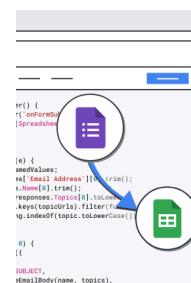
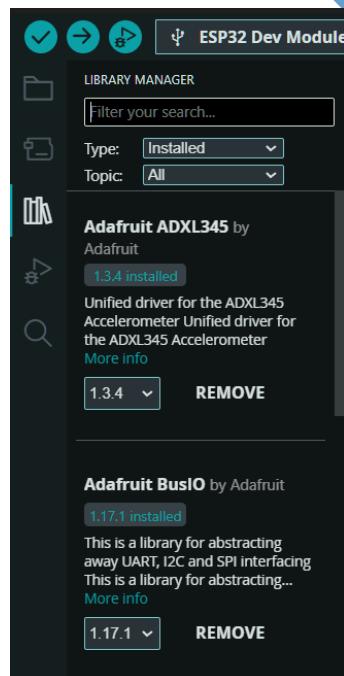
- Adafruit\_GFX – Grafis dasar TFT
- AdafruitILI9341 – Driver TFT ILI9341
- OneWire & DallasTemperature – Komunikasi dan pembacaan DS18B20
- Wire & Adafruit\_ADXL345\_U – Komunikasi I<sup>2</sup>C dan pembacaan ADXL345
- PZEM004Tv30 – Pembacaan arus/tegangan AC melalui PZEM-004T
- WiFi & ThingSpeak – Koneksi Wi-Fi dan pengiriman data ke ThingSpeak
- HTTPClient – Pengiriman data ke Google Sheets (via Web App)

### 3. ThingSpeak

- Buat 1 channel → 5 field (Suhu Motor, Getaran, Arus Motor, Daya, Power Factor).
- Catat Channel ID dan Write API Key.

### 4. Google Sheets + Apps Script

- Buat spreadsheet dengan kolom (Timestamp, Temperature, Vibration, Current, Power, Power Factor).
- Web App: Membutuhkan API Key dan skrip Web App untuk menerima HTTP POST dari ESP32



## 2.2 Persiapan Awal dan Kalibrasi

- Pemeriksaan Fisik Komponen
  - Periksa Modul ESP32 + TFT
    - Pastikan tidak ada pin yang bengkok atau longgar.
    - Cek kondisi konektor microUSB dan socket sensor.
  - Periksa Sensor & Kabel Koneksi
    - DS18B20, ADXL345, Optical RPM, dan PZEM-004T: pastikan kaki-kakinya tidak bengkok atau korosi.
    - Periksa kondisi kabel dan kesesuaian port dengan modul ESP dan sensor.
  - Periksa Power Supply
    - Pastikan adaptor 5V/3A dalam kondisi baik (kabel tidak terkelupas).
    - Cek polaritas konektor DC 5V ke PCB —jangan sampai terbalik.
- Kalibrasi Sensor Suhu (DS18B20)
  - Siapkan termometer standar dengan toleransi dibawah 1°C.
  - Langkah Kalibrasi:
    - Matikan ESP32 sepenuhnya (cabut adaptor 5V).
    - Hubungkan DS18B20 ke ESP32 sesuai port sensor.
    - Celupkan ujung DS18B20 ke dalam gelas berisi air es selama  $\approx$ 2 menit.
    - Nyalakan ESP32 dan biarkan TFT menampilkan nilai suhu.
    - Baca nilai di TFT, lalu bandingkan dengan termometer:
    - Jika tampilan  $\approx$ 0 °C ( $\pm 1$  °C), sensor valid—tidak perlu koreksi.
    - Jika tampilan berbeda  $>$ 1 °C, catat selisihnya (offset) untuk kompensasi di kode.



- Kalibrasi Sensor RPM (Optical RPM)
  - Siapkan alat kalibrasi tachometer digital
  - Reflektor sederhana ditempelkan pada poros
  - Langkah Kalibrasi:
    - Matikan ESP32. Pasang Optical RPM pada bracket mengarah ke reflektor pada poros mesin, jarak 1–3 cm.
    - Sambungkan sensor dan nyalakan ESP32 tanpa menyalakan mesin bubut—pastikan TFT tidak menampilkan nilai RPM (0 RPM).
    - Hidupkan mesin bubut pada kecepatan konstan 1000 RPM.
    - Amati tampilan RPM di TFT dan bandingkan dengan pembacaan tachometer:
    - Jika nilai di TFT  $\approx$  1000 RPM ( $\pm 2\%$ ), maka sensor valid.
    - Jika perbedaan  $> 2\%$ , catat faktor koreksi.
- Kalibrasi PZEM-004T (Arus & Tegangan)
  - Siapkan multimeter (mampu mengukur AC hingga  $\geq 100 \text{ A}$ )
  - Kabel CT clamp PZEM-004T
  - Langkah Kalibrasi:
    - Pastikan ESP32 dalam keadaan mati.
    - Hubungkan CT clamp PZEM-004T ke kabel fase motor bubut (pastikan posisi benar—hanya satu kabel fase).
    - Sambungkan PZEM-004T ke ESP32 dan nyalakan ESP32, kemudian hidupkan mesin bubut dengan beban idle.
    - Baca data arus dan tegangan di TFT atau Serial Monitor, lalu bandingkan dengan Multimeter:
      - Pastikan arus dan tegangan yang terbaca oleh PZEM-004T  $\approx$  hasil pengukuran Tekiro (toleransi  $< 5\%$ ).
      - Jika selisih  $> 5\%$ , catat faktor koreksi (misalnya, PZEM-004T membaca 5 A sedangkan Multimeter menunjukkan 5,5 A—catat  $+0,5 \text{ A}$  di kode).





- Catatan Penting Keamanan
  - Jangan hubungkan atau lepaskan sensor kapan pun ESP32 dalam keadaan menyala.
  - Sebelum menghubungkan adaptor 5V, pastikan polaritasnya benar (Cek tanda + dan - pada soket).
  - Gunakan sarung tangan isolasi ketika memeriksa atau memasang PZEM-004T pada panel listrik.
  - Lakukan semua langkah kalibrasi di area yang terang dan bersih, jauh dari partikel metalik yang dapat menyebabkan korsleting.

# Instalasi dan Konfigurasi

## 3.1 Pemasangan Hardware pada Mesin Bubut

- Langkah Keselamatan (ringkas)
  - Matikan mesin bubut dan cabut semua sumber listrik.
  - Kenakan Alat Pelindung Diri (APD): kacamata pelindung, sarung tangan isolasi, dan sepatu safety.
  - Pastikan area kerja bersih dari oli berlebih atau serpihan logam.
- Pemasangan Modul PCB (ESP32 + TFT)
  - Tentukan lokasi pemasangan:
    - Minimal 30 cm dari spindle agar tidak terkena getaran berlebih.
    - Area memiliki permukaan datar, bebas tumpahan oli.
  - Pasang bracket anti-getar atau gunakan double-sided tape industri untuk merekatkan modul PCB.
  - Pastikan tampilan TFT mudah terlihat oleh operator—letakkan pada sudut pandang yang ergonomis.
  - Kencangkan bracket atau tape hingga modul tidak bergeser saat mesin beroperasi.



- Pemasangan Sensor (urut sesuai posisi pada mesin)
  - DS18B20 (Sensor Suhu)
    - Bersihkan permukaan housing motor utama, pastikan kering.
    - Olesi sedikit thermal glue di ujung DS18B20.
    - Tempelkan sensor di housing motor dengan tekanan ringan, tahan hingga kering ( $\pm 30$  detik).
  - ADXL345 (Sensor Getaran)
    - Pilih area bodi mesin dekat chuck yang datar dan stabil.
    - Kencangkan modul ADXL345 menggunakan sekrup atau bracket pendek—pastikan tidak longgar.
    - Pastikan port I<sup>2</sup>C (SDA, SCL) menghadap ke kabel yang rapi, tidak terjepit.

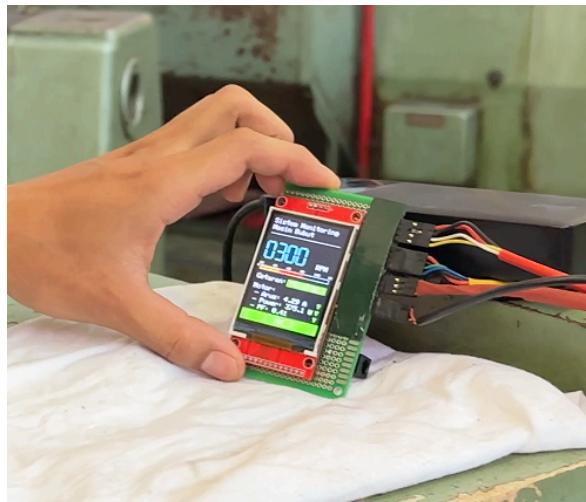


- Optical RPM (Sensor Kecepatan Putar)
  - Pasang reflektor di poros spindle.
  - Pasang sensor Optical RPM di bracket sehingga IR beam mengarah langsung ke reflektor.
  - Jaga jarak antara 1-3cm antara sensor dan reflektor; pastikan tidak terhalang oli atau kotoran.
  - Kencangkan bracket dengan kunci pas.



- PZEM-004T (Sensor Arus/Tegangan)
  - Matikan panel listrik utama mesin bubut.
  - Pasang modul PZEM-004T di panel kelistrikan mesin.
  - Sambungkan CT clamp ke kabel fase motor.
  - Pastikan kabel VCC, GND, RX, TX pada PZEM-004T tersambung rapi ke PCB ESP32 melalui header female.

- Verifikasi Awal Pemasangan
  - TANPA menyalakan mesin bubut, colokkan adaptor 5V ke PCB ESP32 dan nyalakan modul ESP32:
    - TFT harus menampilkan logo atau versi sistem (deteksi booting berhasil).
    - Jika TFT tetap blank, matikan ESP32 dan periksa koneksi adaptor serta polaritas.
  - Periksa pembacaan sensor:
  - DS18B20: dengan tangan menempel ringan pada sensor, lihat perubahan suhu di TFT.
  - ADXL345: ketuk perlahan bodi mesin atau sensor—nilai getaran harus berubah sedikit.
  - Optical RPM: tanpa putaran spindle, TFT menunjukkan 0RPM.
  - PZEM-004T: tanpa beban, arus harus 0 A.
  - Jika semua pembacaan sesuai harapan, matikan ESP32 dan lanjutkan ke tahap setup software & konfigurasi.



### 3.2 Setup Software

#### (IDE, Library, ThingSpeak, Google Sheets)

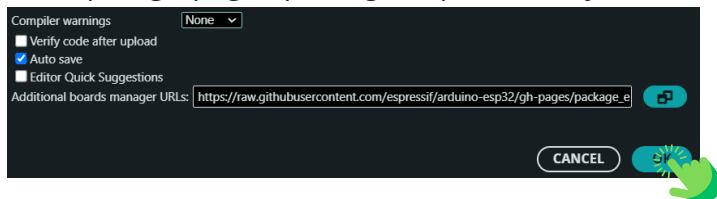
- Instalasi Arduino IDE v2.3.6

Langkah-langkah:

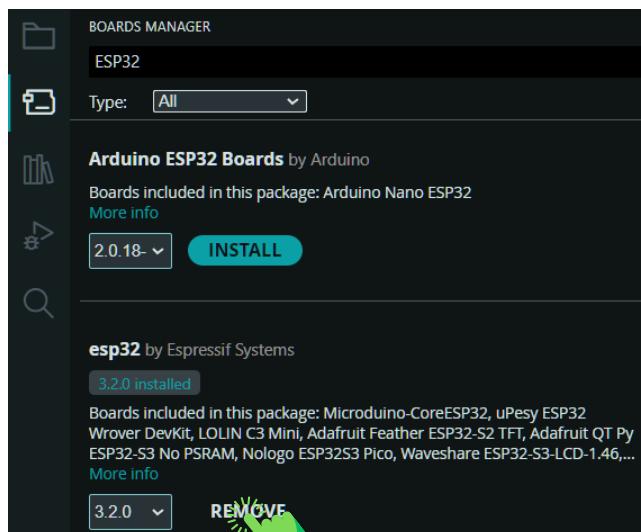
- Unduh dari situs resmi:  
<https://www.arduino.cc/en/software>



- Buka Preferences → Tambahkan URL Board Manager:
  - [https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package\\_esp32\\_index.json](https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json)



- Buka Boards Manager → Cari ESP32 by Espressif Systems → Pilih versi terbaru → Install.
  - Pilih board: ESP32 Dev Module.



- Instalasi Library
  - Tabel pustaka yang dibutuhkan:

Nama Library	Fungsi Singkat
Adafruit_GFX	Mengelola grafik dasar untuk TFT
TFT_eSPI	Menampilkan data ke TFT
OneWire	Komunikasi dengan DS18B20
DallasTemperature	Membaca suhu dari DS18B20
ADXL345	Membaca sensor getaran
PZEM004Tv30	Komunikasi sensor arus & daya
WiFiClientSecure	Kirim data via HTTPS (Google Sheets)
HTTPClient	Kirim data ke ThingSpeak & Sheets

- Konfigurasi ThingSpeak
  - Buka: <https://thingspeak.com/>  
→ Login/Daftar
  - Klik Channels → New Channel
  - Isikan 5 Field berikut:
    - Field 1: Suhu
    - Field 2: Getaran
    - Field 3: Arus
    - Field 4: Daya
    - Field 5: Power Factor
  - Klik Save Channel
  - Catat:
    - Channel ID
    - Write API Key (Settings → API Keys)

The screenshot shows the configuration page for a new ThingSpeak channel. At the top, it says "Percentage Complete: 70%". Below that, the "Channel ID" is listed as 2977868. The "Name" field contains "PdM IoT". The "Description" field contains "Sistem Monitoring Mesin Bubut B6 (Predictive Maintenance berbasis IoT)". There are five fields defined, each with a checked checkbox next to it:

Field	Value	Status
Field 1	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	Vibration	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	Current	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 4	Power	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 5	Power Factor	<input checked="" type="checkbox"/>

- Konfigurasi Google Sheets + Apps Script
  - Buka [Google Sheets](#)
  - Buat spreadsheet baru dengan header kolom di baris 1:
- Klik Extensions → Apps Script, lalu ganti isi skrip default dengan kode berikut:

```

1  function doGet(e) {
2    var sheet = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getActiveSheet();
3
4    // Cek header jika sheet kosong
5    if(sheet.getLastRow() === 0) {
6      sheet.appendRow(["Timestamp", "Temperature", "Vibration",
7        "RPM", "Current", "Power", "PF"]);
8
9    }
10
11   var data = [
12     new Date(),
13     e.parameter.temp,
14     e.parameter.vib,
15     e.parameter.rpm,
16     e.parameter.current,
17     e.parameter.power,
18     e.parameter.pf
19   ];
20
21   sheet.appendRow(data);
22   return ContentService.createTextOutput("OK");
23 }
```

- Klik Deploy → Test deployments → Select type: Web App
  - Description: "ESP32 Logger"
  - Execute as: Me
  - Who has access: Anyone
 Klik Deploy, lalu Izinkan akses akun.
- Salin URL Web App yang muncul (dipakai di kode ESP32)
- Catatan Penting
  - ESP32 harus tersambung ke jaringan WiFi 2.4 GHz, bukan 5 GHz.
  - Pengiriman data ke Google Sheets dilakukan via HTTP POST ke URL Web App.
  - Pengiriman data ke ThingSpeak menggunakan HTTPClient dengan interval minimal 15 detik (rate limit gratis).

### 3.3 Upload Kode & Verifikasi Sistem

- Unggah Sketsa Arduino ke ESP32
  - Buka file PdM\_IoT\_Lathe.ino di Arduino IDE.
  - Edit bagian konfigurasi di awal kode:
  - Pilih board: Tools → Board → ESP32 Dev Module
  - Pilih port COM yang sesuai
  - Tekan tombol BOOT pada ESP32 lalu klik Upload di Arduino IDE
  - Setelah upload selesai → Serial Monitor akan menampilkan "WiFi Connected", "Sending to ThingSpeak", atau "Sheets Updated"
- Verifikasi Visual di TFT  
Setelah ESP32 restart, TFT akan menampilkan:
  - Logo sistem + versi firmware
  - Nilai suhu, getaran, arus, daya, dan power factor secara real-time
  - Jika tidak tampil:
  - Periksa koneksi kabel TFT ke ESP32
  - Pastikan library TFT\_eSPI telah dikonfigurasi sesuai pinout di User\_Setup.h
- Uji Konektivitas IoT
  - Jalankan mesin bubut atau putar poros spindle secara manual
  - Amati pembacaan sensor pada layar TFT (harus berubah sesuai kondisi fisik)
  - Masuk ke:
  - ThingSpeak Channel → periksa apakah grafik Field 1–5 ter-update
  - Google Sheets → cek apakah data baru masuk setiap 1–5 menit sesuai interval

- Catatan Troubleshooting Awal

Permasalahan	Penyebab Umum	Solusi
TFT tidak menampilkan data	Salah wiring / salah konfigurasi User_Setup.h	Cek VCC/GND, pastikan TFT_eSPI sudah dikonfigurasi
WiFi gagal terkoneksi	Salah SSID/password atau sinyal lemah	Pastikan jaringan WiFi 2.4 GHz, uji koneksi lewat HP
ThingSpeak tidak menerima data	API Key salah / WiFi tidak terhubung	Cek ulang Write API Key dan status Serial Monitor
Google Sheets tidak menerima data	URL Web App salah / belum di-deploy sebagai <i>Anyone</i>	Periksa kembali URL dan status akses Apps Script
Sensor tidak terbaca	Sensor longgar atau rusak	Pastikan koneksi pin benar dan coba ganti sensor

- Prosedur Reset Sistem

- Soft Reset
  - Tekan tombol EN atau RST pada modul ESP32.
  - Alternatif cepat: tekan dan tahan BOOT, kemudian tekan RST/EN, lalu lepaskan BOOT → ESP32 akan reboot tanpa menghapus data atau konfigurasi.
- Reset Fisik (Jika Crash Terus-Menerus)
  - Tahan tombol BOOT, lalu tekan RESET/EN, kemudian lepaskan BOOT → Sistem masuk ke mode pemrograman ulang.
  - Gunakan mode ini untuk upload ulang firmware jika ESP32 tidak responsif pada reset biasa.

# Operasional dan Pemeliharaan

## 4.1 Startup dan Shutdown Sistem

- Startup Sistem (ringkas langkah)
  - Nyalakan adaptor 5 V ke PCB ESP32
    - Pastikan konektor terpasang dengan benar (periksa polaritas).
    - Tunggu hingga TFT menampilkan layar monitoring.
  - Nyalakan mesin bubut
    - Setelah TFT aktif, hidupkan mesin bubut.
    - Perhatikan tampilan parameter di TFT:
      - RPM > 0 saat poros mulai berputar.
      - Suhu motor <60 °C (sebagai kondisi awal normal).
  - Verifikasi visual singkat
    - Pastikan nilai sensor (suhu, getaran, RPM, arus) muncul di TFT.
    - Jika semua parameter tampil, sistem siap digunakan.
- Shutdown Sistem
  - Matikan mesin bubut  
Setelah mesin berhenti, biarkan ESP32 tetap aktif selama 1-2 menit agar mengirim data akhir.
  - Matikan adaptor 5 V ke PCB ESP32  
Cabut adaptor dengan hati-hati.
  - Cabut kabel dan persiapan penyimpanan
    - Lepaskan kabel sensor jika diperlukan.
    - Simpan perangkat di area kering dan bersih; tutup paket elektronik agar terlindung dari debu.

## 4.2 Monitoring Real-Time & Analisis Data

- Pembacaan di TFT

Layout Utama pada TFT:

- Panel "RPM: xxx RPM"  
Menampilkan nilai kecepatan poros secara real-time.
- "Suhu: xx °C"  
Menampilkan suhu motor. Jika suhu melebihi 70 °C, nilai diubah warna menjadi merah sebagai peringatan.
- "Getaran: xx m/s<sup>2</sup>"  
Menampilkan nilai percepatan getaran. Jika getaran > 1 m/s<sup>2</sup>, nilai akan berwarna merah.
- "Arus: xx A"  
Pembacaan arus listrik motor (dalam ampere).
- "Daya: xx W"  
Menunjukkan daya motor saat beban berjalan (dalam watt).
- Arti Threshold & Peringatan Visual:
  - Suhu > 70 °C (Merah):  
Menunjukkan potensi overheating; operator harus segera menghentikan mesin dan memeriksa sistem pendingin atau pelumasan.
  - Getaran > 5 m/s<sup>2</sup> (Merah):  
Mengindikasikan kemungkinan bantalan aus atau ketidakseimbangan; sebaiknya berhenti dan inspeksi mekanik.
  - RPM, Arus, Daya (Normal: Putih atau Hijau):  
Saat berada dalam batas operasional normal, nilai tetap berwarna netral (putih atau hijau muda).

- Dashboard ThingSpeak
  - Cara Mengakses Dashboard:
    - Buka browser → masukkan URL channel ThingSpeak
    - Login (jika diperlukan) untuk melihat grafik dan data real-time.
  - Interpretasi Grafik di ThingSpeak:

Field Suhu, Getaran, Arus, Daya, Power Factor:

Setiap field digambarkan sebagai grafik garis (line chart).

    - Tren Naik/Turun:
      - Amati kecenderungan kurva—peningkatan suhu atau getaran secara konsisten bisa menandakan masalah depan (bearing aus, pelumasan menipis).
      - Penurunan arus atau daya di saat beban tetap dapat menunjukkan efisiensi menurun atau gangguan listrik.
    - Indikator Peringatan (jika Diaktifkan):
      - Beberapa setup menggunakan “threshold trigger” di ThingSpeak untuk mengirim email atau notifikasi ketika nilai melebihi batas.
      - Cek tab React pada ThingSpeak untuk melihat rule peringatan yang sudah dibuat (contoh: “send email jika field 1 > 70 °C”).
    - Membaca Timestamp Terakhir:
      - Setiap grafik menampilkan keterangan waktu (timestamp) pada sumbu X.
      - Catat titik data terakhir untuk memastikan interval pengiriman (misalnya setiap 1 atau 5 menit).

- Google Sheets (Data Historis)
  - Penyimpanan Data Otomatis:
    - Data dikirim oleh ESP32 ke Google Sheets sesuai interval yang diatur di kode (default: setiap 1 atau 5 menit).
    - Setiap baris baru berisi:
    - Timestamp | Temperature | Vibration | Current | Power | Power Factor
  - Deteksi Anomali dengan Filter & Conditional Formatting:
    - Filter Sederhana:
      - Pilih header baris (kolom "Suhu" atau "Getaran") → klik Data → Create a filter.
      - Gunakan dropdown di header kolom untuk menampilkan hanya nilai  $>65^{\circ}\text{C}$  (kolom Suhu) atau  $>4\text{ m/s}^2$  (kolom Getaran).
      - Mempermudah identifikasi sampel data saat terjadi lonjakan nilai.
    - Conditional Formatting:
      - Pilih kolom "Temperature," klik Format → Conditional formatting.  
Atur rule: "Cell  $>65$ " → format background menjadi kuning.
      - Pilih kolom "Vibration," klik Format → Conditional formatting.
      - Atur rule: "Cell  $>4$ " → format background menjadi merah.
      - Dengan cara ini, baris data yang menyimpang muncul dengan warna mencolok sehingga operator/engineer dapat langsung melihat anomali.

## 4.3 Pemeliharaan Rutin & Troubleshooting

- Pemeliharaan Rutin
  - Pembersihan Sensor (Setiap 6 bulan / Setahun)
    - Matikan ESP32 dan cabut adaptor 5V.
    - Gunakan kuas halus untuk membersihkan debu atau serpihan logam di permukaan sensor DS18B20, ADXL345, Optical RPM, dan PZEM-004T.
    - Gunakan blower kecil (air terkompresi ringan) untuk meniup partikel yang sulit dijangkau—hindari meniup langsung ke kabel solder.
    - Setelah bersih, biarkan sensor kering penuh sebelum menyalakan kembali sistem.
  - Pemeriksaan Kabel & Konektor (Setiap Bulan)
    - Periksa sambungan solder pada PCB ESP32 dan modul sensor—pastikan tidak ada pin longgar atau solder retak.
    - Cek kabel koneksi (male-female): pastikan tidak ada isolasi terkelupas, tidak longgar, dan bebas korosi.
    - Perhatikan kabel yang terjepit atau tertekuk—rapikan dengan cable tie jika perlu.
  - Pemeriksaan Power Supply (Setiap 6 Bulan)
    - Periksa suhu adaptor 5V/3A saat beroperasi—jika terasa terlalu panas ( $>50^{\circ}\text{C}$ ), pertimbangkan mengganti dengan unit baru atau menggunakan UPS.
    - Uji kestabilan tegangan output (5V) dengan multimeter—pastikan fluktuasi  $<0,1\text{ V}$ .
    - Jika digunakan di lingkungan industri dengan gangguan listrik, aktifkan UPS untuk mencegah reset saat mati mendadak.
  - Update Firmware (Setiap Ada Versi Baru)
    - Cek repositori GitHub proyek PdM IoT untuk rilis terbaru—perhatikan catatan perubahan (changelog).
    - Hubungkan ESP32 ke komputer, buka Arduino IDE, pilih board “ESP32 Dev Module” dan unggah sketch terbaru.
    - Setelah upload selesai, verifikasi tampilan TFT dan koneksi IoT untuk memastikan fitur baru berfungsi.

- Daftar Masalah Umum & Solusi Cepat

Permasalahan	Kemungkinan Penyebab	Solusi Cepat
<b>TFT Blank</b>	Polaritas adaptor terbalik; wiring TFT_eSPI salah	1. Periksa polaritas adaptor 5 V. 2. Verify koneksi pin SPI di User_Setup.h sesuai pinout ESP32.
<b>Data Tidak Terkirim</b>	SSID/Password WiFi salah; API Key/URL Web App keliru	1. Pastikan SSID/Password ditulis persis sama di kode. 2. Cek ulang Write API Key ThingSpeak dan URL Web App Google Sheets.
<b>Sensor Tidak Terbaca</b>	Pin koneksi longgar; sensor rusak	1. Periksa ulang pin VCC, GND, data/I <sup>2</sup> C/UART di PCB. 2. Ganti kabel koneksi jika ada kerusakan.
<b>Reset Terus-Menerus</b>	Power supply tidak stabil (< 1 A); kabel USB rusak	1. Gunakan power supply dengan output minimal 1 A dan stabil. 2. Ganti kabel Micro USB berkualitas.

# Lampiran dan Dukungan

## 5.1 Wiring Diagram, Kode Program, dan Template Data

- Wiring Diagram Lengkap (ESP32 & Sensor)
  - Wiring socket modul ESP32 dan TFT
  - Wiring power supply, sensor, modul ESP32 - TFT
- Kode Program Arduino (Lengkap & Terkomentar)

## 5.2 Kontak Teknis & Dokumentasi Online

- Kontak Teknis
  - Email dukungan: pdmiotftuny@gmail.com
  - Kontak/WhatsApp:  
+62 831 4529 1682 (Muhamad Biworo)
- Dokumentasi Online
  - Tautan ke repositori GitHub:  
[https://github.com/pdmiotftuny/PdM\\_IoT\\_MesinBubut.git](https://github.com/pdmiotftuny/PdM_IoT_MesinBubut.git)
  - QR Code Buku Manual Digital