BAB IV
PROSES PEMBUATAN ALAT

4.1 Alat dan Bahan Pembuatan

Alat yang diperlukan dalam pembuatan alat pres meliputi alat untuk memasang komponen dan memeriksa kelistrikan. Bahan terdiri atas komponen mekanik, elektronik, dan pneumatik yang sesuai dengan rancangan. Daftar berikut disusun berdasarkan bagian alat yang dijelaskan dalam BAB II dan BAB III. Jumlah kabel, selang, serta sambungan menyesuaikan pemasangan pada alat.

Tabel 4-1 Daftar Alat yang Digunakan

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Multimeter	Memeriksa tegangan dan kontinuitas rangkaian
2	Solder dan timah solder	Memasang komponen dan konektor pada PCB
3	Obeng	Mengencangkan terminal serta baut komponen
4	Tang potong	Memotong kabel dan sisa kaki komponen
5	Bor	Membuat lubang pemasangan pada dudukan
6	Laptop dan kabel USB	Membuat serta mengunggah program Arduino Nano

Tabel 4-2 Daftar Bahan yang Digunakan

No.	Nama Bahan	Jumlah
1	Arduino Nano	1 buah
2	*Load cell*	1 buah
3	Modul HX711	1 buah
4	Sensor tekanan WPT-83G	1 buah
5	LCD I²C 20 × 4	1 buah
6	Modul *relay* 5 V	1 buah
7	*Power supply* Mean Well RD-35A	1 buah
8	PCB kendali	1 buah
9	Silinder AirTAC SC 50 × 150	1 buah
10	*Solenoid valve* 5/2 12 V DC	1 buah

11	*Filter regulator* AFR-2000	1 buah
12	*Speed controller*	2 buah
13	Tombol START NO dan tombol STOP NC	1 buah masing-masing
14	MCB, dioda 1N4007, dan resistor 1 kΩ	1 buah masing-masing
15	Kompresor Edon 550 8L	1 buah
16	Selang dan sambungan pneumatik	Sesuai kebutuhan
17	Rangka, dudukan benda kerja, dan kotak kendali	1 set

4.2 Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan dengan merakit bagian mekanik, PCB, rangkaian listrik, dan rangkaian pneumatik. Bagian mekanik menopang silinder serta dudukan modul LED AC. Rangkaian listrik menghubungkan Arduino Nano dengan tombol, sensor, LCD, dan *relay*. Rangkaian pneumatik menyalurkan udara bertekanan untuk menggerakkan silinder maju dan mundur.

Perakitan mengacu pada rancangan pada BAB III. Setiap bagian dipasang secara bertahap agar arah gerak silinder, hubungan antarpin, dan sambungan selang dapat diperiksa sebelum alat dioperasikan. Pemeriksaan awal rangkaian menggunakan multimeter dilakukan saat sumber listrik belum dihubungkan ke komponen.

4.2.1 Pembuatan Rangka dan Dudukan

Rangka alat pres dibuat menggunakan pelat alas berukuran 300 × 300 mm dan profil UNP setinggi 600 mm sesuai rancangan pada BAB III. Profil UNP dipasang tegak pada bagian belakang pelat alas sehingga tersedia ruang di bagian depan untuk pemasangan dudukan *housing* dan braket *load cell*. Kaki penopang dipasang di bawah pelat agar rangka dapat berdiri stabil. Permukaan rangka yang telah dirakit tampak dilapisi cat berwarna biru.

Dudukan silinder dipasang pada bagian atas profil UNP. Silinder pneumatik AirTAC SC 50 × 150 kemudian diposisikan secara vertikal dengan batang piston menghadap ke bawah. Posisi ini menyediakan jalur gerak batang

piston menuju area pengepresan di atas pelat alas. Kesejajaran silinder dengan titik tengah dudukan *housing* perlu diperhatikan agar kepala penekan dapat menekan modul LED AC secara merata.

Raangka dan silinder telah terpasang, sedangkan area pada pelat alas masih tersedia untuk pemasangan dudukan *housing* dan braket *load cell*. Kedua komponen tersebut nantinya ditempatkan pada jalur tekan batang piston sehingga beban pengepresan dapat diteruskan ke *load cell*.



Gambar 4-1 Rangka dan Dudukan Silinder

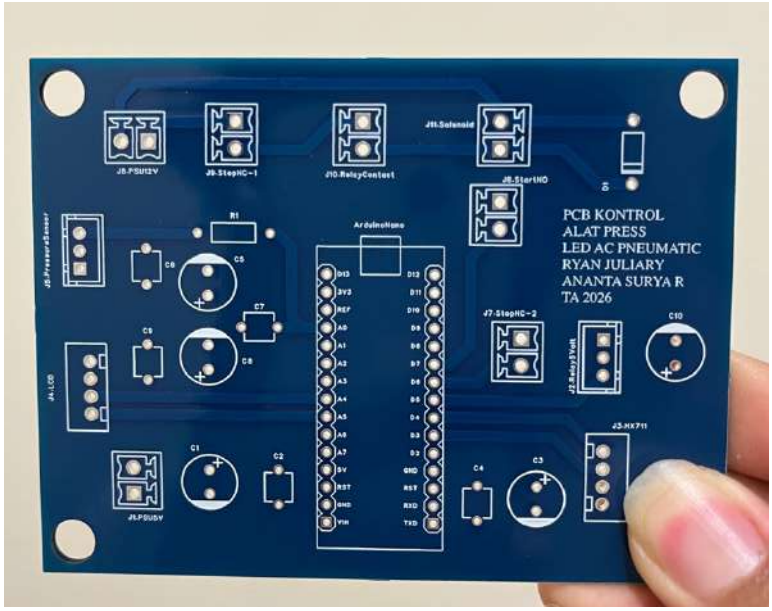
4.2.2 Pembuatan PCB Kontrol

PCB kendali dibuat berdasarkan skematik dan rancangan jalur pada BAB III. Rancangan dari EasyEDA diekspor menjadi berkas *Gerber* sebagai acuan pembuatan papan. PCB yang dihasilkan berukuran sekitar 98,3 × 74,1 mm dan memiliki empat lubang pemasangan di bagian sudut. Foto menunjukkan PCB yang telah dibuat, tetapi komponen elektronik dan konektornya belum dipasang.

Jalur positif dan negatif 12 V DC ditempatkan pada *top layer* untuk menghubungkan masukan *supply*, kontak NC-1 tombol STOP, kontak *relay*, dan koil *solenoid valve*. Jalur sinyal dari Arduino Nano menuju sensor, tombol, LCD, HX711, dan modul *relay* juga ditempatkan pada lapisan tersebut.

Distribusi *supply* 5 V DC berada pada *bottom layer*, dengan bidang tembaga GND sebagai jalur negatif bersama.

Posisi Arduino Nano berada di tengah PCB. Di sekelilingnya tersedia lubang dan penanda untuk konektor *supply* 5 V dan 12 V, sensor tekanan, LCD, HX711, tombol START dan STOP, modul *relay*, serta *solenoid valve*. Penanda komponen C1 sampai C10, R1, dan D1 membantu menentukan posisi pemasangan kapasitor, resistor, dan dioda. Sebelum komponen disolder, posisi lubang, *pad*, dan tulisan penanda pada PCB diperiksa agar sesuai dengan rancangan.



Gambar 4-2 Hasil Pencetakan PCB

4.2.3 Penataan *Layout* Komponen di Dalam *Panel Box*

Komponen kontrol ditata pada pelat pemasangan di dalam *panel box*. Dua batang *DIN rail* dipasang mendatar pada bagian atas dan bawah pelat untuk membantu menempatkan komponen secara teratur. Pada bagian atas, MCB berada di sisi kiri dan *power supply* dual output berada di sisi kanan. Terminal *power supply* menghadap ke bawah sehingga tersedia ruang untuk pemasangan kabel.

Pada bagian bawah, modul *relay* dan bagian belakang LCD I²C ditempatkan di sisi kiri, sedangkan PCB kontrol dipasang di sisi kanan menggunakan baut pada keempat sudutnya. Posisi PCB membuat konektor,

Arduino Nano, dan komponen lainnya tetap dapat dijangkau saat pengawatan maupun pemeriksaan. Jarak antara susunan atas dan bawah juga menyediakan ruang untuk menata kabel menuju rangkaian kendali.

Penataan tersebut menempatkan MCB dan *power supply* pada satu area, sementara komponen kendali berada pada area di bawahnya. *DIN rail* membantu mempertahankan posisi komponen pada pelat pemasangan.



Gambar 4-3 Penataan Komponen di Panel Kontrol

4.2.4 Pengawatan Kabel

Pengawatan dilakukan setelah MCB, *power supply*, PCB kendali, modul *relay*, LCD, dan tombol terpasang pada *panel box*. Kabel dihubungkan mengikuti rancangan pada BAB III. Pada foto, kabel dari komponen di dalam panel dan pada pintu panel telah tersambung. Sebagian kabel diberi pelindung spiral, sementara kabel menuju LCD dan tombol diberi kelonggaran agar tidak tertarik saat pintu panel dibuka.

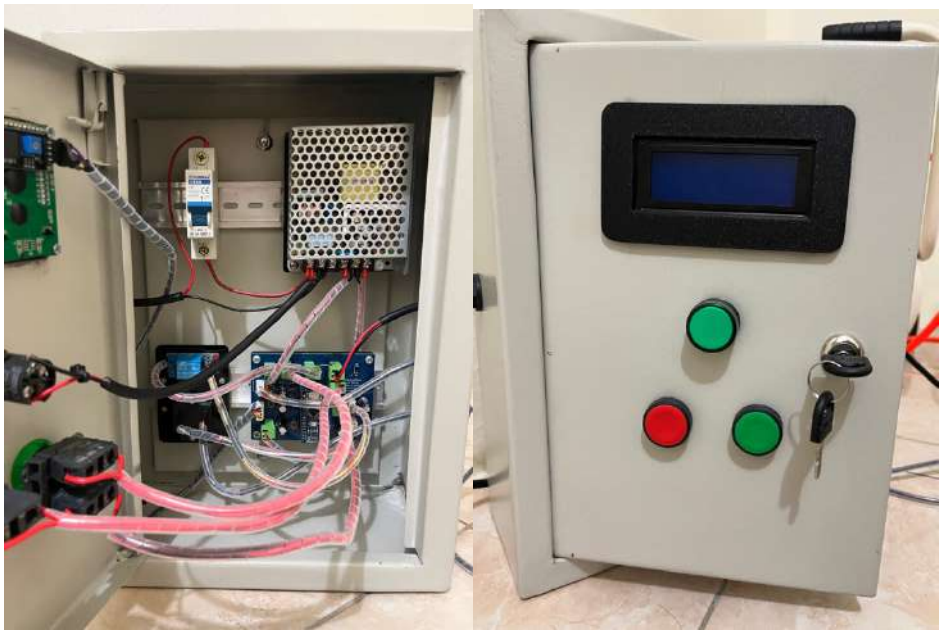
Sumber 220 V AC dihubungkan ke *power supply* melalui MCB pada jalur fasa, sedangkan jalur netral dihubungkan ke terminal masukan netral *power supply*. Keluaran 5 V DC disalurkan ke PCB kendali untuk menyuplai Arduino Nano, modul HX711, LCD I²C, sensor tekanan, dan sisi kendali modul *relay*. Terminal COM *power supply* digunakan sebagai acuan 0 V bersama bagi rangkaian kontrol.

Keluaran 12 V DC digunakan untuk mengoperasikan koil *solenoid valve*. Jalur positifnya melewati kontak NC-1 tombol STOP, kontak COM–NO pada *relay*, lalu menuju terminal positif koil. Terminal negatif koil dihubungkan ke COM *power supply*. Susunan ini memungkinkan tombol STOP memutus tegangan koil secara langsung.

Pada jalur sinyal, modul HX711 dihubungkan ke pin D3 dan D4 Arduino Nano, sedangkan sensor tekanan dihubungkan ke pin A0 melalui resistor 1 kΩ. LCD I²C menggunakan pin A4 sebagai SDA dan A5 sebagai SCL. Pin D5 dihubungkan ke masukan modul *relay*, pin D6 ke kontak NC-2 tombol STOP, dan pin D7 ke kontak NO tombol START. Setelah seluruh kabel terpasang, sambungan terminal, polaritas *supply*, diperiksa sebelum rangkaian dioperasikan.

LCD ditempatkan pada bagian atas untuk menampilkan status pengoperasian, pembacaan *load cell*, dan tekanan udara. Di bawah LCD terdapat lampu indikator berwarna hijau, sedangkan tombol STOP berwarna merah dan tombol START berwarna hijau berada pada bagian bawah. Penempatan tersebut memungkinkan operator membaca informasi dan mengoperasikan alat dari bagian depan panel.

Kabel LCD dan tombol dihubungkan ke konektor pada PCB kendali sesuai fungsi masing-masing. Kabel yang menghubungkan pintu dengan bagian dalam panel diberi kelonggaran agar pintu dapat dibuka tanpa menarik sambungan terminal. Pada sisi kanan pintu terdapat pengunci mekanis untuk menjaga panel tetap tertutup selama penggunaan. Setelah pengawatan selesai, pintu panel dapat ditutup sehingga sambungan listrik berada di dalam *panel box*, sementara layar dan tombol tetap dapat dijangkau oleh operator.



Gambar 4-4 Pengawatan Kabel

4.2.5 Perakitan Sistem Pneumatik

Perakitan sistem pneumatik dilakukan dengan menghubungkan kompresor, *filter regulator*, *solenoid valve*, silinder pneumatik, *pressure sensor*, dan *speed controller*. Silinder dipasang secara vertikal pada dudukan rangka dengan batang piston mengarah ke bawah untuk melakukan pengepresan. Komponen pengatur tekanan dan katup pengarah ditempatkan di samping silinder agar sambungan selang mudah dijangkau saat pemasangan dan pemeriksaan.

Udara bertekanan dari kompresor dialirkan melalui selang berwarna merah menuju *filter regulator*. Komponen ini berfungsi menyaring udara dan mengatur tekanan sebelum udara masuk ke *solenoid valve* 5/2. Selanjutnya, kedua saluran kerja pada *solenoid valve* dihubungkan menuju *port* bagian atas dan bawah silinder untuk menghasilkan gerakan turun dan naik batang piston.

Pada *port* atas silinder dipasang sambungan *tee* yang menghubungkan saluran udara dari *solenoid valve* dengan *pressure sensor*. Sambungan tersebut memungkinkan udara masuk ke ruang atas silinder sekaligus memungkinkan sensor membaca tekanan pada ruang tersebut. Sementara itu, *speed controller* dipasang pada *port* bagian bawah silinder untuk mengatur kecepatan gerak turun. Ketika

piston bergerak turun, udara dari ruang bawah silinder keluar melalui *speed controller* menuju *solenoid valve*. Pengaturan bukaan *speed controller* membatasi aliran udara keluar sehingga kecepatan penurunan batang piston dapat disesuaikan. Dengan demikian, pengaturan kecepatan turun dilakukan melalui aliran udara buang dari ruang bawah silinder.

Ketika kumparan *solenoid valve* memperoleh tegangan melalui *relay*, katup mengarahkan udara menuju ruang atas silinder sehingga batang piston bergerak turun untuk melakukan pengepresan. Ketika tegangan kumparan diputus, pegas pada katup mengembalikan posisi katup sehingga udara dialihkan menuju ruang bawah silinder dan batang piston bergerak naik. Pada susunan ini, *speed controller* digunakan untuk mengatur kecepatan gerak turun saja, sedangkan *pressure sensor* membaca tekanan pada ruang atas silinder.



Gambar 4-5 Sistem Pneumatik

4.3 Pembuatan Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak dilakukan untuk mengatur kerja Arduino Nano dalam membaca sensor, menerima perintah tombol, mengendalikan *relay*, dan menampilkan informasi pada LCD. Program menggunakan pembacaan *load cell*sebagai umpan balik untuk menentukan penghentian pengepresan. Ketika pembacaan mencapai atau melebihi *setpoint*, Arduino Nano mematikan *relay* sehingga *solenoid valve* mengubah arah aliran udara dan silinder bergerak naik. Tombol STOP tetap digunakan untuk menghentikan pengepresan secara manual.

Program dibagi menjadi beberapa fungsi yang menangani pembacaan tombol, pembacaan sensor, pemeriksaan *setpoint*, proses *tare*, pembaruan LCD, dan komunikasi serial. Pengaturan waktu menggunakan fungsi millis() sehingga jeda tampilan dan proses *tare* tidak menggunakan delay(). Pembacaan tombol dilakukan berulang selama program berjalan agar perintah START dan STOP tetap diperiksa.

4.3.1 Pembuatan Program Pada Arduino IDE

Program dibagi menjadi beberapa fungsi yang menangani pembacaan tombol, pembacaan sensor, pemeriksaan *setpoint*, proses *tare*, pembaruan LCD, dan komunikasi serial. Pengaturan waktu menggunakan fungsi millis() sehingga jeda tampilan dan proses *tare* tidak menggunakan delay(). Pembacaan tombol dilakukan berulang selama program berjalan agar perintah START dan STOP tetap diperiksa.

Penetapan pin pada program disesuaikan dengan pengawatan komponen sebagai berikut.

Tabel 4-3 Penetapan Pin Pada Program

Pin Nano	Komponen	Fungsi
D3	HX711	Menerima data melalui DOUT
D4	HX711	Memberikan sinyal melalui SCK
D5	Modul *relay*	Mengendalikan aktivasi *relay*

D6	Tombol STOP NC	Membaca perintah penghentian
D7	Tombol START NO	Membaca perintah mulai
A0	*Pressure sensor*	Membaca tegangan keluaran sensor
A4 dan A5	LCD I²C	Komunikasi melalui SDA dan SCL

4.3.2 Pemograman Pembacaan Sensor

Program Pembacaan *load cell* dilakukan melalui HX711 menggunakan faktor kalibrasi sebesar 104,77. Program memeriksa kesiapan HX711 sebelum mengambil satu pembacaan melalui fungsi scale.get_units(1). Hasil pembacaan disimpan dalam variabel beratGram sebagai beban ekuivalen dalam gram. Nilai tersebut digunakan untuk tampilan LCD, pengiriman data serial, dan pemeriksaan batas pengepresan.

Setiap pembacaan baru disertai pencatatan waktu. Apabila tidak terdapat pembaruan selama lebih dari satu detik, data beban ditandai tidak valid. Pembacaan normal juga ditunda selama proses *tare* berlangsung atau ketika penentuan titik nol belum berhasil.

Pembacaan *pressure sensor* dilakukan melalui pin A0 dengan interval yang ditetapkan sebesar 20 ms. Dalam setiap proses pembacaan, program mengambil sepuluh sampel analog dan menghitung nilai rata-ratanya. Nilai tersebut dikonversi menjadi tegangan menggunakan persamaan berikut.

$$V = (\text{ADC rata} - \text{rata} / 1023) \times 5$$

Keterangan:

- $V =$ tegangan keluaran sensor (V).
- $\text{ADC rata} - \text{rata} =$ rata − rata sepuluh pembacaan analog.
- $1023 =$ nilai maksimum ADC 10 bit.
- $5 =$ tegangan referensi ADC yang digunakan dalam program (V).

Tegangan sensor kemudian dikonversi menjadi tekanan berdasarkan rentang keluaran 0,5–4,5 V yang mewakili tekanan 0–12 bar. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$P = [(V - 0{,}5) / (4{,}5 - 0{,}5)] \times 12$$

Keterangan:

- P = tekanan hasil konversi (bar).
- V = tegangan keluaran sensor (V).
- $0{,}5$ = tegangan sensor pada tekanan 0 bar (V).
- $4{,}5$ = tegangan sensor pada tekanan 12 bar (V).
- 12 = batas atas rentang pengukuran sensor (bar).

Nilai tekanan dalam bar selanjutnya dikonversi menjadi MPa menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Tekanan dalam MPa} = \text{Tekanan dalam bar} / 10$$

Hasil tekanan yang bernilai negatif dibatasi menjadi nol. Program menandai sinyal sebagai valid apabila tegangan berada pada rentang 0,4–4,6 V. Pembacaan tekanan digunakan untuk pemantauan pada LCD dan komunikasi serial, sedangkan pengaturan tekanan kerja dilakukan melalui *filter regulator*.

4.3.3 Pemograman *Relay*, Tombol, dan Setpoint

Hasil tekanan yang bernilai negatif dibatasi menjadi nol. Program menandai sinyal sebagai valid apabila tegangan berada pada rentang 0,4–4,6 V. Pembacaan tekanan digunakan untuk pemantauan pada LCD dan komunikasi serial, sedangkan pengaturan tekanan kerja dilakukan melalui *filter regulator*.

Tombol START menggunakan kontak NO pada pin D7. Ketika tombol ditekan, kontak menutup menuju GND sehingga masukan berubah dari HIGH menjadi LOW. Perubahan tersebut digunakan sebagai perintah untuk mengaktifkan *relay*, dengan syarat STOP berada dalam kondisi normal dan *relay* belum aktif. Tombol START harus dilepas sebelum penekanan berikutnya dapat diterima.

Tombol STOP menggunakan kontak NC pada pin D6. Dalam kondisi normal, pin terbaca LOW. Ketika tombol ditekan, kontak terbuka sehingga pin terbaca HIGH. Program memberikan prioritas kepada STOP untuk mematikan *relay* dan menonaktifkan izin START selama STOP masih aktif.

Modul *relay* dikendalikan menggunakan logika aktif LOW, yaitu LOW untuk mengaktifkan dan HIGH untuk mematikan *relay*. Ketika aktif, kontak *relay* menyalurkan tegangan menuju kumparan *solenoid valve* sehingga silinder bergerak turun. Ketika *relay* dimatikan, pegas pada katup mengembalikan posisi katup sehingga aliran udara diarahkan untuk menaikkan silinder.

Penghentian otomatis dilakukan melalui fungsi periksaSetpoint(). Nilai *setpoint* pada program ditetapkan sebesar 833,85 N. Karena pembacaan HX711 disimpan dalam gram, batas pembanding dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Batas pembacaan (g)} = \text{Setpoint gaya (N)} / 0{,}00981$$

$$\text{Batas pembacaan} = 833{,}85 / 0{,}00981$$

$$\text{Batas pembacaan} \approx 85.000\ \text{g}$$

Faktor 0,00981 digunakan untuk mengonversi pembacaan beban ekuivalen dalam gram menjadi gaya dalam newton. Nilai sekitar 30.895,01 g menjadi batas pembanding terhadap variabel beratGram.

Program memanggil fungsi relayOFF() apabila *relay* sedang aktif, data beban valid, proses *tare* tidak berlangsung, dan pembacaan mencapai atau melebihi batas tersebut. Pemanggilan fungsi ini mematikan *relay* sekaligus memulai urutan *tare* setelah pengepresan. Dengan demikian, penghentian otomatis ditentukan oleh pembacaan *load cell*, sedangkan sensor tekanan menyediakan informasi tekanan udara selama alat digunakan.

4.3.4 Pemograman Tampilan LCD dan *Tare*

LCD menampilkan dua halaman utama yang berganti setiap dua detik selama tidak terdapat pesan sementara atau kondisi *tare* gagal. Halaman pertama berisi status alat dan pembacaan *load cell*, sedangkan halaman kedua menampilkan tekanan dalam bar dan MPa serta tegangan sensor. Informasi yang ditampilkan sesuai kondisi program adalah sebagai berikut.

Tabel 4-4 Pemograman Tampilan LCD

Kondisi	**Informasi pada LCD**
Alat dinyalakan	“ALAT PRESS PNEUMATIC”
Alat siap	“Alat Press Siap”, “LOAD CELL”, dan pembacaan dalam gram
Pengepresan berlangsung	“Alat Sedang Pressing”, pembacaan *load cell*, dan “Solenoid : ON”
Tare setelah pengepresan	“Pressing Selesai”, “Solenoid : OFF”, dan “TUNGGU BEBAN LEPAS”
Tare berhasil	“TARE SELESAI”
Tare gagal	“Tare Belum Berhasil”
Data HX711 tidak valid pada halaman beban	“CEK HX711” beserta keterangan kondisi data
Sinyal tekanan tidak valid pada halaman tekanan	“CEK SINYAL SENSOR”

Program menyusun isi LCD di memori sebelum mengirimkannya ke layar. Pembaruan dilakukan hanya pada karakter yang berubah, dengan pengiriman maksimum empat karakter setiap pemanggilan fungsi kirimLCD(). Perintah lcd.clear() hanya digunakan saat inisialisasi untuk mengurangi kedipan akibat pengosongan layar berulang.

Pembacaan antara −2,00 hingga 0,99 gram ditampilkan sebagai 0,0 gram. Penyesuaian tersebut hanya berlaku pada tampilan LCD, sedangkan nilai asli tetap digunakan untuk pemeriksaan *setpoint* dan pengiriman data serial.

Proses *tare* awal dimulai tanpa jeda tambahan ketika alat dinyalakan. Setelah *relay* berubah dari aktif menjadi mati, program memberikan jeda satu detik sebelum mengumpulkan sepuluh sampel HX711. Jeda tersebut memberikan waktu bagi beban untuk terlepas. Nilai rata-rata sepuluh sampel digunakan sebagai *offset* atau titik nol baru.

Pengumpulan sampel memiliki batas waktu tiga detik setelah jeda berakhir. Apabila sepuluh sampel berhasil diperoleh, program menetapkan titik nol

baru dan menampilkan “TARE SELESAI” selama satu detik. Apabila batas waktu tercapai sebelum pengumpulan sampel selesai, proses dihentikan dan program menampilkan “Tare Belum Berhasil”.

Penekanan STOP ketika *relay* sudah mati juga dapat memulai *tare*, selama proses tersebut belum berlangsung. Selain menampilkan informasi pada LCD, program menjadwalkan pengiriman status tombol, *relay*, beban, tekanan, tegangan sensor, dan status *tare* melalui komunikasi serial setiap 500 ms. Pengiriman dilakukan apabila ruang penyangga serial mencukupi.