Jurnal PROTEMAN
Professional Technology and Manufacturing
Vol. 3 No. 1 (2026) 1 – 6 | ISSN: 3063-2773 (Media Online)

# Rancang Bangun *Cup Sealer Press Machine Rotary Automatic* Berbasis Arduino Mega 2560

Padli Raisman Akbar[1*], Sir Anderson[2], Rakiman[3]
[1]Program Studi D4 Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang
[2,3]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang
*Corresponding author: padliraisman@gmail.com

**Abstract**

*Small-scale beverage producers in Indonesia still commonly seal plastic cups with manual or semi-automatic sealers, in which each cup is placed, filled and removed by hand. This study aimed to design and build an automatic rotary cup sealer that integrates cup dispensing, filling, sealing–cutting and ejection in one machine controlled by an Arduino Mega 2560. A four-station star-wheel table is indexed 90° by a Nema 23 stepper motor through a 1:3 timing belt; a Nema 17 stepper drives a slider-crank cup dispenser, a second Nema 17 feeds the lid film, a 12 V DC pump fills the cup, a Ø50 × 50 mm pneumatic cylinder presses the thermostat-controlled heater and cutter, a Ø20 × 100 mm cylinder ejects the cup, and an E18-D80NK proximity sensor detects the cup. Design calculations gave required torques of 1.40 N·m for the table drive (motor rating 2.0 N·m) and 0.21 N·m for the film feeder (rating 0.4 N·m), a minimum press-cylinder bore of 18 mm, a film feed of 792 microsteps per 100 mm and a minimum table-shaft diameter of 14.7 mm. In operation, the first cup was completed in 40.5 s and each subsequent cup in 15.4 s on average, equivalent to a theoretical capacity of about 233 cups per hour. In sealing tests at 50–250 °C with five cups per temperature, all cups were sealed at 200 °C, sealing was incomplete at 150 °C and below, and melting occurred at 250 °C. The machine therefore performs the complete packaging sequence automatically, with 200 °C as the recommended sealing temperature.*

*Keywords: Arduino Mega 2560, cup sealer, rotary table, stepper motor, pneumatics*

**Abstrak**

Produsen minuman skala rumahan di Indonesia masih banyak menyegel *cup* plastik dengan *sealer* manual atau semi otomatis, yaitu setiap *cup* ditempatkan, diisi, dan diambil dengan tangan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat mesin *cup sealer* rotari otomatis yang menggabungkan penjatuhan *cup*, pengisian, penyegelan–pemotongan, dan pelontaran dalam satu mesin yang dikendalikan Arduino Mega 2560. Meja *star wheel* empat stasiun diputar 90° per langkah oleh motor stepper Nema 23 melalui *timing belt* 1:3; motor stepper Nema 17 menggerakkan penjatuh *cup* berbasis mekanisme *slider-crank*, Nema 17 kedua mengumpankan plastik *lid*, pompa DC 12 V mengisi *cup*, silinder pneumatik Ø50 × 50 mm menekan pemanas berkendali termostat sekaligus pisau, silinder Ø20 × 100 mm melontarkan *cup*, dan sensor *proximity* E18-D80NK mendeteksi *cup*. Hasil perhitungan rancangan menunjukkan kebutuhan torsi 1,40 N·m untuk penggerak meja (kemampuan motor 2,0 N·m) dan 0,21 N·m untuk pengumpan plastik (kemampuan motor 0,4 N·m), diameter silinder penekan minimum 18 mm, pengumpanan plastik 792 mikrostep per 100 mm, dan diameter poros meja minimum 14,7 mm. Pada pengoperasian, *cup* pertama selesai dalam 40,5 s dan *cup* berikutnya rata-rata setiap 15,4 s, setara kapasitas teoretis sekitar 233 *cup* per jam. Pada uji penyegelan 50–250 °C dengan lima *cup* untuk setiap suhu, seluruh *cup* tersegel pada 200 °C, penyegelan belum sempurna pada 150 °C ke bawah, dan terjadi pelelehan pada 250 °C. Dengan demikian, mesin mampu menjalankan seluruh urutan pengemasan secara otomatis dengan suhu penyegelan yang direkomendasikan 200 °C.

Kata kunci: Arduino Mega 2560, *cup sealer*, meja putar, motor stepper, pneumatik

Diterima Redaksi : 28-01-2025 | Selesai Revisi : 01-03-2026 | Diterima : 03-03-2026

## 1. Pendahuluan

Minuman dalam kemasan *cup* plastik banyak diproduksi oleh industri rumahan karena kemasannya murah, mudah diperoleh, dan praktis. Kemasan berfungsi melindungi produk dari kontaminasi dan tumpahan serta memperpanjang umur simpan [1]. Pada skala rumahan, penutupan *cup* dengan plastik *lid* umumnya masih dilakukan dengan *sealer* manual atau semi otomatis: operator menempatkan *cup*, mengisinya, mengaktifkan penekan berpemanas, lalu mengambil *cup* satu per satu. Akibatnya, kapasitas produksi dan keseragaman hasil penyegelan sangat bergantung pada operator.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan mesin *cup sealer*. Rahman [2] membangun mesin *cup sealer* semi otomatis dengan aktuator motor DC dan rangkaian kendali NE555 yang dilengkapi pengatur suhu, penggulung sisa plastik, dan penghitung *cup*. Hamzah dkk. [3] merancang *cup sealer* semi otomatis berbasis mikrokontroler ATmega48 dengan termostat dan motor AC untuk pengemasan air bersih, khusus untuk gelas berukuran 7 oz. Sunaryo dan Dewanto [4] merancang ulang *cup sealer* semi otomatis

berpenggerak pneumatik dengan kendali Arduino ATmega328P dan melaporkan suhu penyegelan 150–200 °C dengan waktu 12,25 s per *cup*. Hakim dkk. [5] membuat *cup sealer* semi otomatis berkapasitas empat *cup* per siklus dengan suhu optimum 180–185 °C dan waktu tekan 4 s. Dewi dkk. [6] menunjukkan bahwa kendali suhu umpan balik berbasis Arduino menjaga suhu pemanas dalam ±5 °C, sedangkan mesin manual menyimpang hingga 15,4 °C dari suhu target. Pada mesin *sealing* plastik berbasis pneumatik, Koto dkk. [7] memperoleh kualitas segel terbaik pada 170 °C, waktu 1 s, dan tekanan 3 bar dengan tingkat keberhasilan 95%.

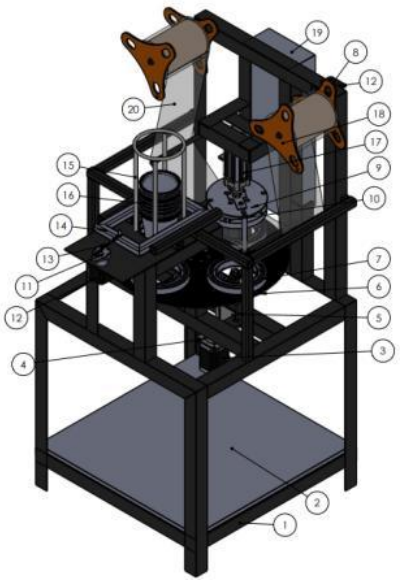
Mesin-mesin tersebut masih bersifat semi otomatis; otomasi umumnya terbatas pada langkah penekanan dan pemanasan, sedangkan penempatan, pengisian, dan pengambilan *cup* tetap dilakukan operator. Rancangan yang menggabungkan penjatuhan *cup*, pengisian, penyegelan–pemotongan, dan pelontaran dalam satu meja putar berindeks dengan komponen berbiaya rendah (mikrokontroler, motor stepper, dan pneumatik) untuk skala industri rumahan masih jarang dilaporkan, termasuk data waktu siklus dan pengaruh suhu terhadap hasil penyegelannya.

Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat *cup sealer press machine rotary automatic* berbasis Arduino Mega 2560 dengan empat stasiun kerja pada satu meja putar. Kontribusi penelitian ini adalah (1) rancangan mesin beserta perhitungan penggerak dan aktuatornya, dan (2) data waktu siklus serta hasil penyegelan pada variasi suhu 50–250 °C sebagai dasar penetapan suhu kerja mesin.

## 2. Metode

### 2.1 Rancangan dan Prinsip Kerja Alat

Rancangan alat ditunjukkan pada Gambar 1. Bagian utama alat adalah meja putar (*star wheel*) dengan empat stasiun yang berjarak 90°. Meja diputar oleh motor stepper Nema 23 melalui *timing belt* dengan perbandingan *pulley* 20T:60T (1:3). Pada stasiun 1, *cup* dijatuhkan dari rak *cup* oleh mekanisme *slider-crank* yang digerakkan motor stepper Nema 17. Pada stasiun 2, *cup* diisi air oleh pompa air DC 12 V. Pada stasiun 3, keberadaan *cup* dideteksi oleh sensor *proximity*, kemudian silinder pneumatik 1 (SC 50 × 50) menekan elemen pemanas dan pisau sehingga plastik *lid* tersegel pada bibir *cup* dan terpotong. Plastik *lid* diumpankan oleh motor stepper Nema 17 kedua melalui pasangan roda gigi lurus 27T dan 42T. Pada stasiun 4, *cup* yang telah tersegel dilontarkan ke kardus penampung oleh silinder pneumatik 2 (MA 20 × 100).

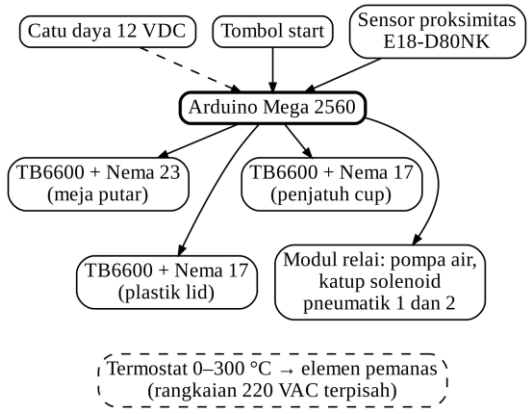



Gambar 1. Rancangan alat: (1) kerangka, (2) *base*, (3) motor stepper Nema 23, (4) *bracket* Nema 23, (5) pneumatik MA 20 × 100, (6) meja *star wheel*, (7) *master ring*, (8) *bracket* Nema 17, (9) *heater*, (10) *cutter*, (11) poros *steering link*, (12) motor stepper Nema 17, (13) *steering link*, (14) *slider cup*, (15) rak *cup*, (16) *cup*, (17) pneumatik SC 50 × 50, (18) rol plastik, (19) *box panel*, (20) plastik *lid*

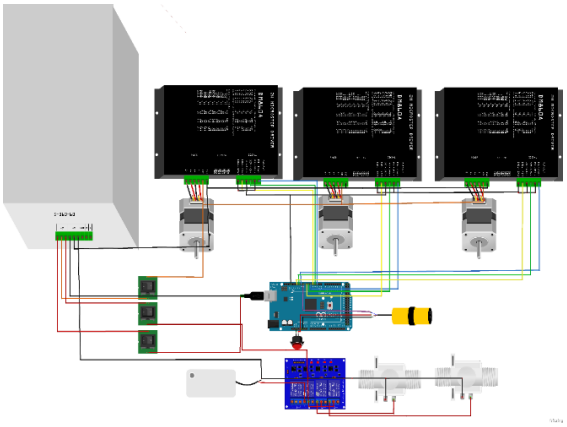
Karena keempat stasiun bekerja pada setiap langkah indeks meja, setelah stasiun-stasiun terisi satu *cup* selesai dikemas pada setiap langkah indeks. *Cup* yang digunakan berbahan *polypropylene* (PP) yang memiliki titik leleh 130–170 °C [8].

### 2.2 Sistem Kelistrikan dan Kendali

Diagram blok sistem kendali ditunjukkan pada Gambar 2 dan rangkaian kelistrikannya pada Gambar 3. Pengendali utama adalah Arduino Mega 2560 berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang memiliki 54 pin digital dan 16 pin analog [9]. Program ditulis dengan Arduino IDE dalam bahasa C++ dan menggunakan 13 pin digital serta 1 pin analog. Ketiga motor stepper dikendalikan melalui *driver* TB6600 (tegangan masukan 9–42 VDC) yang diatur pada 1600 mikrostep per putaran. Pompa air dan katup solenoid kedua silinder pneumatik diaktifkan melalui modul relai, sedangkan sensor *proximity* E18-D80NK berbasis inframerah mendeteksi keberadaan *cup* tanpa kontak [10]. Elemen pemanas berbahan aluminium dikendalikan secara terpisah oleh termostat mekanik 0–300 °C dengan tegangan kerja 220–250 VAC.




Gambar 2. Diagram blok sistem kendali



Gambar 3. Rangkaian kelistrikan *cup sealer press machine*

### 2.3 Dasar Perhitungan Rancangan

Kecepatan putar motor stepper ditentukan dari frekuensi pulsa masukan [11]:

$$n = 60 \cdot pps / N_p \quad (1)$$

dengan $n$ kecepatan putar (rpm), $pps$ frekuensi pulsa (pulsa/s), dan $N_p$ jumlah pulsa per putaran. Kecepatan sudut dan daya motor dihitung dengan:

$$\omega = 2\pi n / 60; \quad P = \tau \cdot \omega \quad (2)$$

dengan $\omega$ kecepatan sudut (rad/s), $\tau$ torsi (N·m), dan $P$ daya (W). Perbandingan putaran pada transmisi *timing belt* dan roda gigi lurus berbanding terbalik dengan jumlah gigi [12], [13]:

$$N_2 / N_1 = z_1 / z_2 \quad (3)$$

dengan $N_1$, $N_2$ putaran *pulley*/roda gigi penggerak dan yang digerakkan (rpm), serta $z_1$, $z_2$ jumlah giginya. Panjang sabuk terbuka dan kecepatan sabuk dihitung dengan [12]:

$$L = \pi(D_1 + D_2)/2 + 2x + (D_2 - D_1)^2/(4x) \quad (4)$$

$$v = \pi D_1 N_1 / (60 \times 1000) \quad (5)$$

dengan $L$ panjang sabuk (mm), $D_1$, $D_2$ diameter *pulley* (mm), $x$ jarak sumbu *pulley* (mm), dan $v$ kecepatan sabuk (m/s). Gaya silinder pneumatik kerja ganda pada langkah maju dan mundur dihitung dengan [4], [14]:

$$F_{maju} = (\pi/4)D^2 p; \quad F_{mundur} = (\pi/4)(D^2 - d^2)p \quad (6)$$

dengan $D$ diameter piston (m), $d$ diameter batang piston (m), dan $p$ tekanan kerja (Pa). Kebutuhan diameter minimum memperhitungkan efisiensi silinder $\eta$, yaitu $D = [4F/(\pi p \eta)]^{1/2}$. Debit udara, waktu langkah, dan volume udara per langkah dihitung dengan:

$$Q = A \cdot v; \quad t = A \cdot h / Q; \quad V = A \cdot h \quad (7)$$

dengan $A$ luas efektif piston (cm$^2$), $v$ kecepatan piston (cm/s), $h$ panjang langkah (cm), $Q$ debit (cm$^3$/s), $t$ waktu langkah (s), dan $V$ volume udara (cm$^3$). Diameter poros dihitung menurut Sularso dan Suga [12]:

$$T = 9{,}74 \times 10^5 \cdot P_d / n \quad (8)$$

$$\tau_a = \sigma_B / (Sf_1 \times Sf_2) \quad (9)$$

$$d_s = [(5{,}1/\tau_a) \cdot K_t \cdot C_b \cdot T]^{1/3} \quad (10)$$

dengan $T$ momen rencana (kg·mm), $P_d$ daya rencana (kW), $n$ putaran poros (rpm), $\tau_a$ tegangan geser izin (kg/mm$^2$), $\sigma_B$ kekuatan tarik bahan (kg/mm$^2$), $Sf_1$ = 6,0 dan $Sf_2$ = 3,0 faktor keamanan, $K_t$ faktor koreksi puntiran, $C_b$ faktor koreksi lenturan, dan $d_s$ diameter poros (mm). Laju perpindahan panas konduksi dan konveksi pada pemanas diperkirakan dengan [15]:

$$q = k \cdot A \cdot \Delta T / s; \quad q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (11)$$

dengan $k$ konduktivitas termal (W/m·K), $A$ luas kontak (m$^2$), $\Delta T$ beda suhu (K), $s$ tebal bahan (m), dan $h$ koefisien konveksi (W/m$^2$·K).

### 2.4 Prosedur Pengujian

Pengujian waktu siklus dilakukan dengan mengoperasikan mesin secara kontinu untuk lima *cup* dan mencatat waktu kumulatif saat setiap *cup* selesai dikemas; waktu siklus adalah selisih waktu antara dua *cup* berurutan. Pengujian penyegelan dilakukan pada suhu pemanas yang diatur melalui termostat sebesar 50, 100, 150, 200, dan 250 °C, masing-masing dengan lima *cup*. Hasil penyegelan setiap *cup* dikelompokkan menjadi tidak tersegel, kurang tersegel, hampir sempurna, tersegel, atau meleleh.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Perhitungan Rancangan

#### 3.1.1 Pemanas

Dengan konduktivitas termal plastik $k$ = 0,2 W/m·K, tebal $s$ = 0,001 m, beda suhu $\Delta T$ = 150 K (pemanas 200 °C dan *cup* 50 °C), dan luas kontak $A$ = 0,01 m$^2$ (dibulatkan ke atas dari luas penampang *cup* berdiameter 10 cm, yaitu 0,0079 m$^2$), persamaan (11) menghasilkan laju konduksi $q$ = 0,2 × 0,01 × 150/0,001 = 300 W. Dengan $h$ = 10 W/m$^2$·K, kehilangan panas konveksi hanya $q$ = 10 × 0,01 × 150 = 15 W. Elemen pemanas dibuat dari aluminium karena konduktivitas termalnya tinggi sehingga panas tersebar merata, dan titik lelehnya (sekitar 660 °C [16]) jauh di atas suhu kerja.

#### 3.1.2 Motor Penggerak Meja (Nema 23)

Massa yang diputar adalah 2,138 kg (pelat 1600 g, air 355 g, mur dan ring 76 g, *master ring* 100 g, dan *cup* 7 g), sehingga gaya beratnya $F$ = 2,138 × 9,81 = 20,97 N. Secara konservatif, gaya ini dianggap bekerja tangensial pada jari-jari meja $r$ = 0,2 m, sehingga torsi pada poros meja $\tau$ = 20,97 × 0,2 = 4,19 N·m. Pendekatan ini jauh melebihi torsi gesek bantalan yang sebenarnya. Sebagai pembanding, momen inersia pelat ½$mr^2$ = 0,032 kg·m$^2$; bila meja dipercepat hingga putaran kerja dalam 0,1 s, torsi inersianya sekitar 0,42 N·m, masih jauh di bawah 4,19 N·m. Dengan perbandingan *pulley* 1:3, torsi yang diperlukan motor

adalah 4,19/3 = 1,40 N·m, lebih kecil daripada torsi motor Nema 23 sebesar 2,0 N·m (arus 3 A, tegangan nominal fasa 3,3 V, sudut langkah 1,8°).

Dengan 1600 mikrostep per putaran dan frekuensi 1000 pulsa/s, persamaan (1) menghasilkan $n$ = 60 × 1000/1600 = 37,5 rpm dan persamaan (2) menghasilkan $\omega$ = 3,93 rad/s serta $P$ = 1,40 × 3,93 = 5,49 W, atau arus sekitar 0,46 A pada catu daya 12 V. Untuk memutar meja 90° diperlukan (90/360) × 1600 × 3 = 1200 mikrostep motor. Pada putaran meja 12,5 rpm, satu langkah indeks 90° berlangsung 1,2 s.

3.1.3 Motor Pengumpan Plastik *Lid* (Nema 17)

Gaya tarik plastik diambil dari berat gulungan plastik 0,66 kg, yaitu $F$ = 0,66 × 9,81 = 6,47 N. Pada rol berdiameter 100 mm, torsi pada rol $\tau_{rol}$ = 6,47 × 0,05 = 0,324 N·m. Roda gigi 27T terpasang pada motor dan 42T pada rol, sehingga torsi motor $\tau_{motor}$ = 0,324 × 27/42 = 0,208 N·m, lebih kecil daripada torsi motor Nema 17 sebesar 0,4 N·m (arus 1,5 A, sudut langkah 1,8°). Daya motor pada 37,5 rpm adalah 0,208 × 3,93 = 0,82 W.

Setiap siklus plastik diumpankan sejauh 100 mm. Keliling rol π × 100 = 314,2 mm, sehingga rol berputar 100/314,2 = 0,318 putaran, setara 0,318 × 1600 = 509,3 mikrostep pada poros rol. Karena motor (27T) harus berputar 42/27 kali untuk setiap putaran rol (42T), jumlah langkah motor adalah 509,3 × 42/27 = 792 mikrostep per pengumpanan.

3.1.4 Motor Penjatuh *Cup* (Nema 17)

Lengan penjatuh berupa besi *hollow* 20 × 20 × 1 mm sepanjang 220 mm bermassa 114 g, sehingga $F$ = 0,114 × 9,81 = 1,12 N. Dengan panjang engkol 0,05 m, torsi yang diperlukan $\tau$ = 1,12 × 0,05 = 0,056 N·m (5,6 N·cm), jauh di bawah torsi motor Nema 17 sebesar 0,4 N·m. Satu *cup* dijatuhkan dalam satu putaran engkol, yaitu 1600 mikrostep, dengan daya motor 0,056 × 3,93 = 0,22 W.

3.1.5 Silinder Pneumatik 1 (Penekan dan Pemotong)

Beban terdiri atas berat pemanas dan pemotong 0,7 kg (6,87 N) dan gaya penekanan serta pemotongan plastik yang diasumsikan 100 N, sehingga $F$ = 106,87 N. Pada tekanan kerja 6 bar dan efisiensi silinder $\eta$ = 0,7, diameter piston minimum adalah $D = [4 \times 106{,}87/(\pi \times 600.000 \times 0{,}7)]^{1/2}$ = 0,0180 m atau 18 mm, dengan langkah yang diperlukan 40 mm. Silinder yang dipilih adalah SC 50 × 50 (diameter piston 50 mm, diameter batang 25 mm, langkah standar 50 mm sebagai ukuran standar terdekat di atas 40 mm).

$A_{maju} = (\pi/4) \times 0{,}05^2 = 0{,}0019635$ m$^2$; $F_{maju}$ = 600.000 × 0,0019635 = 1178 N
$A_{mundur} = (\pi/4)(0{,}05^2 - 0{,}025^2) = 0{,}0014726$ m$^2$; $F_{mundur}$ = 883,6 N
$v$ = 5 cm/2 s = 2,5 cm/s; $Q$ = 19,63 cm$^2$ × 2,5 cm/s = 49,09 cm$^3$/s (0,049 L/s)
$t_{maju}$ = 19,63 × 5/49,09 = 2,0 s; $t_{mundur}$ = (19,63 − 4,91) × 5/49,09 = 1,50 s
$V_{maju}$ = 19,63 × 5 = 98,2 cm$^3$; $V_{mundur}$ = 14,73 × 5 = 73,6 cm$^3$

Gaya maju efektif ($\eta$ = 0,7) sebesar 825 N atau sekitar 7,7 kali kebutuhan, sehingga gaya tekan dapat diturunkan dengan menurunkan tekanan pada regulator udara.

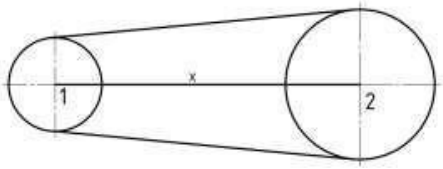
3.1.6 Silinder Pneumatik 2 (Pelontar)

Beban pelontar adalah *cup* berisi air bermassa 253 g, sehingga $F$ = 0,253 × 9,81 = 2,48 N, dengan langkah yang diperlukan 100 mm. Silinder yang dipilih adalah MA 20 × 100 (diameter piston 20 mm, diameter batang 8 mm, langkah 100 mm).

$A_{maju} = (\pi/4) \times 0{,}02^2 = 0{,}000314$ m$^2$; $F_{maju}$ = 600.000 × 0,000314 = 188,5 N
$A_{mundur} = (\pi/4)(20^2 - 8^2) = 263{,}9$ mm$^2$; $F_{mundur}$ = 158,3 N
$v$ = 10 cm/2 s = 5 cm/s; $Q$ = 3,14 cm$^2$ × 5 cm/s = 15,71 cm$^3$/s (0,0157 L/s)
$t_{maju}$ = 3,14 × 10/15,71 = 2,0 s; $t_{mundur}$ = (3,14 − 0,50) × 10/15,71 = 1,68 s
$V_{maju}$ = 31,4 cm$^3$ (0,0314 L); $V_{mundur}$ = 26,4 cm$^3$ (0,0264 L)

3.1.7 *Timing Belt* dan *Timing Pulley*

Sketsa susunan *timing belt* ditunjukkan pada Gambar 4, dengan $N_1$ = 37,5 rpm, $z_1$ = 20T, $z_2$ = 60T, $D_1$ = 12 mm, $D_2$ = 37,7 mm, dan $L$ = 200 mm. Penyelesaian persamaan (4) untuk $x$ menghasilkan $2x^2 - 121{,}93x + 165{,}12 = 0$, sehingga jarak sumbu *pulley* $x$ = 59,6 mm. Dari persamaan (3), putaran poros meja $N_2$ = 37,5 × 20/60 = 12,5 rpm, dan dari persamaan (5), kecepatan sabuk $v = \pi \times 12 \times 37{,}5/60.000$ = 0,0236 m/s (23,6 mm/s).




Gambar 4. Sketsa susunan *timing belt* dan *timing pulley*

3.1.8 Poros Meja

Poros meja berputar 12,5 rpm setelah reduksi 1:3 dan meneruskan daya $P_d$ = 5,49 W = 0,00549 kW. Dari persamaan (8), $T = 9{,}74 \times 10^5 \times 0{,}00549/12{,}5$ = 427,8 kg·mm (sekitar 4,19 N·m, sesuai dengan torsi meja pada subbab 3.1.2). Poros berbahan St-37 dengan $\sigma_B$ = 37 kg/mm$^2$, sehingga dari persamaan (9) $\tau_a$ = 37/(6 × 3) = 2,06 kg/mm$^2$. Dengan $K_t$ = 2 dan $C_b$ = 1,5, persamaan (10) menghasilkan $d_s = [(5{,}1/2{,}06) \times 2 \times 1{,}5 \times 427{,}8]^{1/3}$ = 14,71 mm. Diameter poros yang memenuhi syarat dan sesuai ukuran standar diameter dalam bantalan adalah 15 mm. Ringkasan hasil perhitungan dan komponen terpilih disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan kebutuhan rancangan dan komponen terpilih

| Bagian | Kebutuhan | Dipilih |
|---|---|---|
| Penggerak meja | Torsi 1,40 N·m | Nema 23, 2,0 N·m |
| Pengumpan plastik | Torsi 0,21 N·m | Nema 17, 0,4 N·m |
| Penjatuh *cup* | Torsi 0,056 N·m | Nema 17, 0,4 N·m |
| Silinder penekan | Ø ≥ 18 mm, langkah 40 mm | SC 50 × 50 |
| Silinder pelontar | 2,48 N, langkah 100 mm | MA 20 × 100 |
| Poros meja | Ø ≥ 14,71 mm | Ø 15 mm |

### 3.2 Waktu Siklus

Hasil pengujian waktu siklus ditunjukkan pada Tabel 2. *Cup* pertama selesai dalam 40,53 s karena harus melewati seluruh stasiun sebelum keluar dari mesin. Setelah semua stasiun terisi, satu *cup* selesai pada setiap langkah indeks dengan waktu siklus 15,06–15,69 s, rata-rata 15,43 s (simpangan baku 0,27 s; $n$ = 4). Waktu ini setara dengan kapasitas teoretis 3600/15,43 ≈ 233 *cup* per jam pada operasi kontinu.

Tabel 2. Waktu siklus pengemasan *cup*

| No | *Cup* | Waktu kumulatif (mm:ss) | Waktu siklus (s) |
|---|---|---|---|
| 1 | Pertama | 00:40,53 | 40,53 |
| 2 | Kedua | 00:56,22 | 15,69 |
| 3 | Ketiga | 01:11,77 | 15,55 |
| 4 | Keempat | 01:27,20 | 15,43 |
| 5 | Kelima | 01:42,26 | 15,06 |
| | **Rata-rata *cup* 2–5** | | **15,43** |

Sunaryo dan Dewanto [4] melaporkan waktu penyegelan 12,25 s per *cup* pada mesin semi otomatis. Pada mesin ini, waktu 15,43 s sudah mencakup penjatuhan, pengisian, penyegelan–pemotongan, dan pelontaran tanpa campur tangan operator untuk setiap *cup*. Hakim dkk. [5] menggunakan waktu tekan 4 s untuk empat *cup* sekaligus pada mesin semi otomatis. Berdasarkan perhitungan, gerakan aktuator dalam satu siklus relatif singkat: indeks meja 1,2 s, langkah maju dan mundur silinder penekan 3,5 s, dan silinder pelontar 3,7 s. Diduga sebagian besar waktu siklus digunakan untuk waktu tunggu pengisian dan kontak pemanas yang diatur dalam program, sehingga waktu siklus masih dapat diperpendek dengan menjalankan gerakan stasiun secara paralel dan mengoptimalkan waktu kontak pemanas.

### 3.3 Hasil Penyegelan pada Variasi Suhu

Hasil penyegelan pada lima tingkat suhu ditunjukkan pada Tabel 3. Pada setiap suhu, kelima *cup* menunjukkan hasil yang sama.

Tabel 3. Hasil penyegelan *cup* pada variasi suhu (lima *cup* per suhu)

| Suhu (°C) | Hasil penyegelan | Tersegel baik |
|---|---|---|
| 50 | Tidak tersegel | 0 dari 5 |
| 100 | Kurang tersegel | 0 dari 5 |
| 150 | Hampir sempurna | 0 dari 5 |
| 200 | Tersegel | 5 dari 5 |
| 250 | Meleleh | 0 dari 5 |

Pada 50 °C dan 100 °C, suhu masih jauh di bawah titik leleh PP (130–170 °C [8]) sehingga lapisan plastik tidak menyatu. Pada 150 °C, suhu sudah berada dalam rentang leleh, tetapi penyatuan belum sempurna. Penyegelan sempurna diperoleh pada 200 °C, sedangkan pada 250 °C panas berlebih sehingga terjadi pelelehan. Suhu 200 °C ini berada pada batas atas rentang 150–200 °C yang dilaporkan Sunaryo dan Dewanto [4], dan lebih tinggi daripada suhu optimum 180–185 °C [5] dan 170 °C [7]. Perbedaan tersebut diduga karena suhu pada penelitian ini adalah suhu setelan termostat mekanik, bukan suhu permukaan pemanas yang terukur, serta karena perbedaan waktu kontak dan jenis plastik *lid*. Merabtene dkk. [17] menunjukkan bahwa kekuatan segel terutama ditentukan oleh suhu dan waktu kontak, sedangkan tekanan di atas nilai tertentu tidak lagi berpengaruh nyata. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian: gaya tekan silinder yang besar tidak dapat mengimbangi suhu yang terlalu rendah.

Rentang kerja yang menghasilkan segel baik relatif sempit, karena 150 °C belum sempurna dan 250 °C sudah meleleh. Dewi dkk. [6] melaporkan bahwa suhu pada mesin manual menyimpang hingga 15,4 °C dari target, sedangkan kendali umpan balik berbasis mikrokontroler mampu menjaga suhu dalam ±5 °C. Oleh karena itu, penggunaan sensor suhu (misalnya termokopel) yang terhubung ke Arduino Mega 2560 disarankan untuk menjaga suhu penyegelan di sekitar 200 °C.

### 3.4 Keterbatasan Penelitian

Hasil penyegelan pada penelitian ini dinilai secara kualitatif dengan lima *cup* untuk setiap suhu, dan suhu yang dilaporkan adalah suhu setelan termostat. Kekuatan segel, kebocoran, dan suhu permukaan pemanas belum diukur. Penelitian lanjutan perlu melakukan uji kebocoran dan kekuatan segel dengan jumlah sampel yang lebih besar, mengukur suhu aktual pemanas, serta menguji variasi waktu kontak pemanas.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan pengujian, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1) *Cup sealer press machine rotary automatic* berbasis Arduino Mega 2560 berfungsi menjalankan seluruh urutan pengemasan secara otomatis pada meja putar empat stasiun, yaitu penjatuhan *cup*, pengisian, penyegelan–

pemotongan, dan pelontaran, menggunakan 13 pin digital dan 1 pin analog.

2) Kebutuhan torsi penggerak meja 1,40 N·m dipenuhi motor Nema 23 (2,0 N·m) dan kebutuhan torsi pengumpan plastik 0,21 N·m dipenuhi motor Nema 17 (0,4 N·m). Pengumpanan plastik 100 mm memerlukan 792 mikrostep, diameter silinder penekan minimum 18 mm (dipilih SC 50 × 50), dan diameter poros meja minimum 14,71 mm (dipilih 15 mm).
3) Waktu siklus *cup* pertama adalah 40,53 s dan *cup* berikutnya rata-rata 15,43 s, setara kapasitas teoretis sekitar 233 *cup* per jam.
4) Suhu penyegelan 200 °C menghasilkan segel baik pada kelima *cup* uji; suhu 150 °C ke bawah belum menghasilkan segel sempurna, sedangkan 250 °C menyebabkan pelelehan.

Pengembangan berikutnya disarankan berupa kendali suhu umpan balik, uji kekuatan dan kebocoran segel, serta optimasi urutan gerak untuk memperpendek waktu siklus.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang serta seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

## Daftar Rujukan

[1] M. Nugraheni, *Kemasan Pangan*. Yogyakarta, Indonesia: Plantaxia, 2018.

[2] M. A. A. Rahman, "Rancang bangun mesin cup sealer semi otomatis," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 1, no. 3, 2014, doi: 10.26740/jrm.v1i03.8911.

[3] F. Hamzah, P. H. Tjahjanti, W. Sumarmi, and H. V. Ivanda, "Designing semi-automatic cup sealer machine for clean water packaging in Sumbergedang Village, Pasuruan," *MITRA: Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 7, no. 1, pp. 104–113, May 2023, doi: 10.25170/mitra.v7i1.4386.

[4] W. Sunaryo and Y. Dewanto, "Rancang ulang mesin sealer cup semi otomatis," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 40–49, 2023, doi: 10.35968/jti.v12i1.1046.

[5] A. Hakim, H. S. Budiono, and S. J. Purnomo, "Fabrikasi mesin cup sealer semi otomatis dengan kapasitas 4 cup," *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 69–74, Jun. 2026, doi: 10.34128/je.v13i1.422.

[6] M. S. Dewi, L. Marlinda, and K. Komarudin, "Design of an Arduino based automatic sealing machine with DS18B20 sensor for smart temperature control," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 7, no. 3, pp. 733–746, Jul. 2025, doi: 10.47709/cnahpc.v7i3.6277.

[7] I. Koto, H. Al Mughni, R. Sianturi, M. L. Hasyim, and S. A. R. Sinaga, "Perancangan dan analisa mesin sealing plastik berbasis pneumatik," *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, vol. 6, no. 3, pp. 1831–1839, Jul. 2026, doi: 10.36312/panthera.v6i3.1389.

[8] A. Kurniawan, A. S. Wiratama, F. A. Adam, H. B. Prayoga, and T. H. Prakosa, "Mengubah panas buang heater mesin injeksi menjadi energi listrik dengan peralatan berbasis termoelektrik," *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 8–14, 2020, doi: 10.18196/jqt.020116.

[9] Y. N. I. Fathulrohman and A. Saepulloh, "Alat monitoring suhu dan kelembaban menggunakan Arduino Uno," *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika (JUMANTAKA)*, vol. 2, no. 1, 2018. [Online]. Available: https://jurnal.stmik-dci.ac.id/index.php/jumantaka/article/view/361

[10] I. Dani, A. Herlina, and Safrudin, "Rancang bangun sanding machine otomatis menggunakan conveyor dengan proximity sensor," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 172–182, Oct. 2023.

[11] T. R. Maydrawati, I. D. P. Karyatanti, D. Rahmatullah, and I. Winarno, *SCADA Berbasis IoT untuk Otomasi Industri*. Surabaya, Indonesia: Hang Tuah University Press, 2024.

[12] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta, Indonesia: Pradnya Paramita, 1997.

[13] D. Tangel, S. Tangkuman, and H. Luntungan, "Aplikasi spreadsheet pada perancangan roda gigi lurus," *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, vol. 5, no. 2, 2016.

[14] M. A. Al Marzuqi, "Analisis gerakan cylinder double acting pada alat peraga elektro pneumatik," Tugas Akhir, Program Studi DIII Teknik Mesin, Politeknik Harapan Bersama, Tegal, Indonesia, 2021.

[15] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.

[16] E. Sundari, "Rancang bangun dapur peleburan alumunium bahan bakar gas," *AUSTENIT*, vol. 3, no. 1, 2011.

[17] M. Merabtene, P. Tanninen, J. Varis, and V. Leminen, "Heat sealing evaluation and runnability issues of flexible paper materials in a vertical form fill seal packaging machine," *BioResources*, vol. 17, no. 1, pp. 223–242, 2022, doi: 10.15376/biores.17.1.223-242.