

# Implementasi Kontrol Kecepatan Motor DC pada Sistem Pemotong Pita Otomatis menggunakan Mikrokontroler

Imam Saukani<sup>\*a)</sup>, Agus Sukoco Heru Sumarno<sup>a)</sup>, Achmad Zaini<sup>a)</sup>, Prasetyo Hermawan<sup>a)</sup>

(Received 14 Oktober 2025 || Revised 6 Februari 2026 || Published 28 Februari 2026)

**Abstract:** This study presents the design and implementation of an automatic ribbon cutting system aimed at enhancing precision and efficiency in small and medium enterprise (SME) production processes. The system employs an ESP32 microcontroller, a rotary encoder, and a DC motor governed by a proportional–integral–derivative (PID) control algorithm to maintain consistent cutting lengths. Experimental evaluations were conducted for setpoint lengths ranging from 50 to 100 cm at 5 cm intervals. PID parameters were systematically optimized, with a proportional gain of  $K_p = 0.03$  achieving the lowest mean error of  $\pm 0.2$  cm. Results indicate a substantial improvement in cutting accuracy compared to operations without PID control, with typical error tolerances  $\leq 1$  cm. This paper details the mechanical design, control system architecture, PID tuning methodology, and experimental performance analysis. The primary contribution lies in demonstrating the integration of PID control in an accessible and replicable ribbon cutting system suitable for SME applications.

**Keywords:** Automatic ribbon cutting, PID control, ESP32 microcontroller, SME production, precision engineering

## 1. Pendahuluan

Industri kecil dan menengah (IKM) atau usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional. Salah satu bidang usaha yang banyak berkembang di sektor ini adalah produksi kerajinan dan dekorasi yang memanfaatkan pita sebagai bahan utama. Proses pemotongan pita pada umumnya masih dilakukan secara manual menggunakan gunting atau pisau sederhana. Metode manual ini memiliki sejumlah kelemahan, antara lain hasil potongan yang tidak konsisten, ketergantungan pada keterampilan operator, serta waktu produksi yang relatif lebih lama. Ketidaktepatan panjang potongan dapat mengakibatkan pemborosan material, meningkatnya biaya produksi, serta menurunkan kualitas produk akhir. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi dalam bentuk sistem otomatis yang dapat menggantikan metode manual dengan kinerja yang lebih presisi, konsisten, dan efisien.

Seiring perkembangan teknologi elektronika dan kontrol, penggunaan mikrokontroler dalam sistem otomatisasi skala kecil semakin meluas. Mikrokontroler memungkinkan integrasi antara sensor, aktuator, dan algoritma kendali untuk membangun sistem yang ringkas, hemat energi, dan mudah dioperasikan [1][2]. Salah satu metode yang dapat meningkatkan akurasi pengendalian motor adalah penggunaan algoritma kendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID). Kendali PID telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi industri karena kemampuannya menyesuaikan respons sistem terhadap error, baik dari sisi kecepatan, kestabilan, maupun presisi [3][4]. Dengan memanfaatkan umpan balik dari sensor, PID dapat mengoreksi perbedaan antara setpoint dengan hasil aktual, sehingga kesalahan panjang potongan dapat diminimalkan [5]. Pada sistem pemotong pita, penerapan kontrol PID pada motor DC memungkinkan kecepatan penarikan pita lebih stabil dan panjang potongan lebih konsisten.

Selain algoritma kendali, keakuratan sistem juga bergantung pada sensor yang digunakan. Pada penelitian ini, digunakan rotary encoder inkremental sebagai counter untuk mendeteksi putaran motor dan mengonversinya menjadi informasi panjang pita. Encoder memiliki resolusi tinggi, sehingga mampu menghitung perubahan posisi dengan presisi [6]. Data dari encoder diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan kapan motor pemotong harus diaktifkan. Dengan kombinasi ini, sistem diharapkan mampu memberikan hasil potongan yang sesuai

dengan setpoint panjang yang dimasukkan melalui keypad.

Dari sisi perangkat keras, sistem ini terdiri atas motor DC sebagai penggerak utama, driver BTS7960 untuk mengatur arus motor, serta mekanisme pisau pemotong. Mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang lebih tinggi dibandingkan seri mikrokontroler konvensional seperti ATmega328, serta mendukung komunikasi nirkabel yang membuka peluang pengembangan lebih lanjut [7][8]. Untuk antarmuka pengguna, disediakan keypad sebagai input setpoint panjang pita, sedangkan LCD 20×4 digunakan untuk menampilkan informasi panjang, status sistem, dan hasil pemotongan.

Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem pemotong pita otomatis berbasis mikrokontroler dengan integrasi kontrol PID motor DC dan counter inkremental. Terdapat 3 kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini. Pertama, untuk merancang sistem mekanik dan elektronik pemotong pita yang terjangkau dan dapat direplikasi oleh UMKM. Kedua, untuk mengimplementasikan algoritma PID untuk meningkatkan akurasi pemotongan. Ketiga, untuk mengevaluasi performa sistem melalui pengujian pada beberapa variasi setpoint panjang pita. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses pemotongan pita dapat dilakukan dengan lebih cepat, presisi, serta mengurangi ketergantungan pada keterampilan operator. Pada akhirnya, penelitian ini bertujuan memberikan solusi praktis yang dapat mendukung peningkatan produktivitas dan daya saing UMKM dalam era industri berbasis teknologi.

## 2. Metodologi

### 2.1 Motor DC

Motor arus searah (DC) merupakan aktuator elektromekanik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Motor DC banyak digunakan pada sistem kendali karena karakteristiknya yang sederhana, mudah dioperasikan, serta mampu memberikan torsi yang stabil pada kecepatan rendah. Karakteristik utama motor DC adalah hubungan linier antara tegangan input dengan kecepatan putaran, serta hubungan arus dengan torsi yang dihasilkan. Persamaan dasar motor DC dapat dilihat pada Persamaan (2-1).

$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R_i(t) + e(t) \quad (2-1)$$

Dengan  $V(t)$  tegangan input,  $L$  induktansi lilitan,  $R$  resistansi,

\*Korespondensi: imam.saukani@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

dan  $e(t)$  gaya gerak listrik lawan (back-EMF). Gaya gerak listrik lawan sebanding dengan kecepatan sudut rotor, sedangkan torsi sebanding dengan arus jangkar [9][10]. Hubungan ini menunjukkan bahwa untuk memperoleh kecepatan dan torsi yang stabil, diperlukan suatu sistem kendali yang dapat mengatur tegangan input motor sesuai kebutuhan

## 2.2 Kendali PID

Kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) merupakan salah satu algoritma kendali umpan balik yang paling banyak digunakan dalam sistem industri. PID bekerja dengan cara mengoreksi error antara sinyal referensi (setpoint) dengan sinyal keluaran sistem (output) melalui tiga komponen utama: proporsional, integral, dan derivative [11]. Persamaan kendali PID dapat dilihat pada Persamaan (2-2).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-2)$$

Dengan  $K_p$  sebagai penguat proporsional yang berfungsi mengurangi error sesaat,  $K_i$  sebagai penguat integral untuk menghilangkan offset steady-state, dan  $K_d$  sebagai penguat derivatif yang berfungsi mengurangi osilasi serta memperbaiki respon transien [12]. Pada aplikasi motor DC, PID digunakan untuk menjaga kecepatan motor agar stabil sesuai setpoint, sehingga panjang pita yang ditarik dan dipotong dapat lebih presisi [13][14].

## 2.3 Rotary Encoder Inkremental

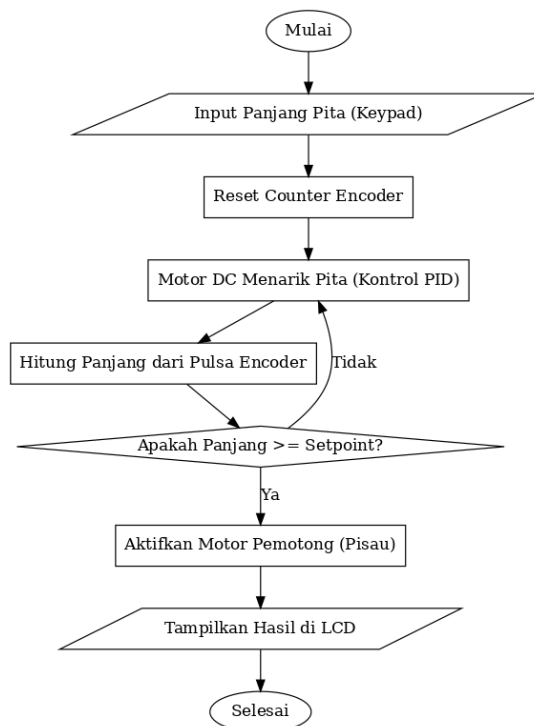
*Encoder* merupakan perangkat sensor yang digunakan untuk mengubah gerakan mekanis menjadi sinyal digital. Encoder inkremental menghasilkan pulsa setiap kali porosnya berputar sejauh sudut tertentu [15]. Jumlah pulsa yang dihasilkan encoder dalam satu putaran penuh disebut *Counts Per Revolution* (CPR). Dengan mengetahui CPR dan diameter *roller*, panjang pita yang bergerak dapat dihitung dengan akurat melalui Persamaan (2-3).

$$L = \frac{N}{CPR} \times \pi D \quad (2-3)$$

dengan  $L$  adalah panjang pita,  $N$  jumlah pulsa yang terbaca, dan  $D$  diameter roller. Encoder inkremental E6B2, misalnya, memiliki resolusi hingga 500 CPR, sehingga cukup presisi untuk aplikasi pemotong pita otomatis.

## 2.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sistem pemotong pita otomatis yang mampu bekerja secara presisi dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Alur kerja sistem divisualisasikan dalam bentuk flowchart standar, yang terdiri dari proses input, perhitungan, kendali motor, pemotongan, serta penampilan data keluaran. Visualisasi tahapan metodologi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR ALUR PENELITIAN

Sistem diawali dengan tahap inisialisasi (Start), di mana seluruh perangkat keras dan perangkat lunak diaktifkan. Pada tahap ini, mikrokontroler melakukan konfigurasi awal terhadap pin masukan dan keluaran, inisialisasi driver motor, serta persiapan komunikasi dengan perangkat antarmuka, yaitu keypad, LCD, dan rotary encoder. Inisialisasi ini penting agar semua komponen siap digunakan dan sistem dapat merespons masukan dengan benar.

Tahap berikutnya adalah input panjang pita melalui keypad. Pengguna memasukkan nilai panjang pita yang diinginkan, yang kemudian disimpan dalam variabel setpoint oleh mikrokontroler. Setpoint ini menjadi acuan bagi sistem untuk mengontrol proses penarikan pita. Setelah input diterima, sistem melakukan reset counter encoder agar nilai pulsa yang terbaca mulai dari nol, sehingga penghitungan panjang pita lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh pembacaan sebelumnya.

Selanjutnya, sistem mengaktifkan motor DC penarik pita. Kecepatan motor ini dikendalikan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang diproses berdasarkan algoritma kendali PID. Kendali PID berfungsi meminimalkan error antara panjang pita aktual dengan setpoint. Komponen proporsional ( $K_p$ ) digunakan untuk memperbaiki error sesaat, komponen integral ( $K_i$ ) untuk mengoreksi error kumulatif, sedangkan komponen derivatif ( $K_d$ ) membantu mengurangi osilasi pada sistem. Dengan mekanisme ini, motor DC mampu menarik pita dengan kecepatan stabil.

Ketika motor berputar, *rotary encoder inkremental* menghasilkan pulsa digital yang dihitung oleh mikrokontroler. Pulsa ini kemudian dikonversi menjadi panjang pita berdasarkan resolusi encoder (*Counts Per Revolution/CPR*) dan diameter roller penarik. Perhitungan panjang dilakukan secara kontinu untuk memantau pergerakan pita selama proses berlangsung.

Sistem kemudian memasuki tahap pengambilan keputusan. Mikrokontroler membandingkan panjang pita aktual dengan nilai setpoint. Jika panjang pita belum mencapai setpoint, maka sistem

akan kembali mengulang proses penarikan pita dengan motor DC, sambil terus menghitung pulsa encoder. Hal ini membentuk sebuah loop kontrol tertutup, yaitu motor akan tetap aktif hingga panjang pita aktual sama atau melebihi nilai yang ditentukan.

Jika panjang pita sudah sesuai setpoint, sistem mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan motor pemotong. Motor ini menggerakkan pisau mekanik yang memotong pita secara otomatis. Aktivasi motor pemotong hanya berlangsung dalam waktu singkat, cukup untuk menyelesaikan proses pemotongan tanpa merusak integritas pita.

Setelah pita terpotong, sistem masuk ke tahap output hasil, yaitu menampilkan informasi melalui LCD. Informasi yang ditampilkan meliputi panjang pita yang dimasukkan pengguna, panjang pita aktual hasil pemotongan, serta status pemotongan. Dengan adanya informasi ini, pengguna dapat memastikan bahwa proses berjalan sesuai dengan setpoint.

Tahap terakhir adalah selesai (Stop). Sistem berhenti sementara hingga pengguna kembali memasukkan panjang pita baru melalui keypad. Dengan demikian, siklus dapat diulang untuk potongan berikutnya.

Metodologi ini menunjukkan bahwa sistem pemotong pita otomatis berbasis mikrokontroler dengan kendali PID dan rotary encoder bekerja secara terstruktur. Keunggulan metode ini adalah adanya loop kendali tertutup yang memastikan panjang pita sesuai dengan setpoint. Integrasi antara input keypad, feedback encoder, algoritma PID, serta motor pemotong menjadikan sistem lebih efisien, presisi, dan dapat digunakan secara berulang tanpa memerlukan intervensi manual yang signifikan.

## 2.5 Perancangan Mekanik

Mekanik sistem pemotong pita otomatis dapat dilihat di Gambar 2.2. Subsistem mekanik pada sistem pemotong pita otomatis memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan kestabilan pergerakan pita dan keakuratan hasil pemotongan. Rancangan mekanik dirancang untuk menyalurkan tenaga dari motor ke pita, menjaga arah gerak pita agar tetap lurus, serta menggerakkan pisau pemotong ketika panjang pita sudah sesuai dengan nilai yang ditentukan. Oleh sebab itu, aspek presisi, kekuatan, dan kemudahan perawatan menjadi pertimbangan utama dalam perancangannya.

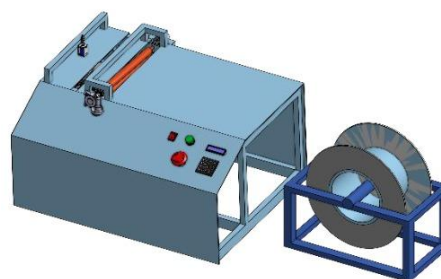
Roller digunakan sebagai komponen utama untuk menarik pita. Komponen ini digerakkan oleh motor DC melalui sebuah poros yang dihubungkan dengan kopling. Panjang pita yang berhasil ditarik sangat dipengaruhi oleh jumlah putaran roller, sehingga diameter roller harus dikalibrasi dengan cermat. Dengan mengetahui jumlah pulsa encoder yang terpasang pada roller, panjang pita dapat dihitung secara presisi melalui perhitungan matematis yang melibatkan resolusi encoder dan diameter roller. Agar tidak terjadi selip, roller dibuat dari bahan kaku dengan permukaan yang memiliki tekstur, sehingga pita dapat menempel kuat saat ditarik.

Seluruh sistem mekanik dipasang pada rangka berbahan besi hollow ringan yang berfungsi sebagai dudukan roller, motor penarik, motor pemotong, dan papan elektronik. Pemilihan material rangka dilakukan untuk menjamin kestabilan sistem dan mengurangi getaran yang timbul saat motor bekerja. Penempatan komponen disusun sedemikian rupa agar jalur pita lurus dan minim gesekan, sehingga potongan yang dihasilkan tetap presisi.

Pisau pemotong menjadi bagian penting berikutnya dalam subsistem mekanik. Pisau digerakkan oleh motor tambahan yang

menggerakkan mekanisme engsel. Saat motor pemotong diaktifkan, pisau bergerak ke bawah untuk memotong pita, kemudian kembali ke posisi semula setelah proses selesai. Efektivitas pisau sangat dipengaruhi oleh material yang digunakan.

Pada penelitian sebelumnya, pisau berbahan besi biasa cenderung cepat tumpul dan kurang efisien untuk pemakaian jangka panjang. Karena itu, penggunaan material stainless steel disarankan untuk meningkatkan ketahanan pisau, bahkan pada tahap pengembangan lebih lanjut pemotong pneumatik dapat dijadikan alternatif agar daya potong lebih kuat dan stabil.



GAMBAR 2.2 RANCANGAN MEKANIK SISTEM PEMOTONG PITA OTOMATIS

Integrasi antara motor DC dan roller dilakukan dengan menggunakan kopling fleksibel yang terpasang pada poros. Kopling ini berfungsi menyalurkan torsi sekaligus meredam getaran akibat ketidaksejajaran poros. Dengan adanya kopling, gerakan roller menjadi lebih halus dan stabil, sehingga panjang pita yang ditarik lebih konsisten. Alur pita dirancang dimulai dari gulungan bahan pita yang ditempatkan pada poros penahan, kemudian diarahkan melewati roller penarik yang terhubung dengan encoder. Setelah panjang pita sesuai setpoint, pisau pemotong yang terletak tepat setelah roller akan bekerja untuk memotong pita. Prinsip alur lurus diterapkan untuk meminimalkan gesekan lateral yang berpotensi membuat pita bergeser atau miring.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa stabilitas roller dan kekuatan pisau sangat mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Apabila roller tidak seimbang atau terjadi selip, maka panjang pita aktual dapat berbeda dari nilai setpoint meskipun sistem kendali PID telah bekerja dengan baik. Begitu pula, pisau yang tumpul akan menghasilkan potongan yang tidak rapi. Hal ini menegaskan bahwa aspek mekanik tidak dapat dipisahkan dari efektivitas kontrol.

Dengan perancangan yang sederhana namun fungsional, subsistem mekanik dalam sistem pemotong pita otomatis ini mampu mendukung performa kendali PID dalam menghasilkan pemotongan pita yang presisi. Pemilihan material yang tepat, perakitan yang cermat, serta tata letak yang terstruktur menjadikan sistem ini tidak hanya terjangkau, tetapi juga layak diterapkan dalam skala UMKM maupun industri ringan.

Proses awal otomatisasi produksi onthok yuyu diawali dengan studi literatur untuk mengumpulkan data dan perlakuan yang sesuai dengan kebutuhan Mitra. Observasi dilakukan untuk menentukan waktu penekanan bahan oleh motor 1, di mana adonan akan keluar dari molding dan dipotong secara manual, kemudian motor 2 akan menggerakkan konveyor. Setelah waktu operasi motor 1 dan motor 2 diketahui, tahap selanjutnya adalah perancangan mekanik dan elektronik. Dalam perancangan elektronik, terdapat rangkaian elektronik yang terdiri dari komponen-komponen mekanis yang dikendalikan secara

elektronik, termasuk driver, sensor, dan mikrokontroler sebagai pengendali proses. Selain itu, terdapat catu daya yang menyediakan tenaga, dalam hal ini menggunakan catu daya 12 volt / 5 ampere.

Bagian pemrograman terdiri dari instruksi atau perintah yang ditulis dalam bahasa pemrograman dan dapat dijalankan oleh komputer atau perangkat elektronik lainnya. Program ditulis dalam bahasa C++, dan dalam proses pemrogramannya, pertama-tama diidentifikasi masalah, kemudian dibuat algoritma untuk menyelesaikan masalah tersebut, biasanya dalam bentuk flowchart. Dari flowchart ini, kode program ditulis sesuai kebutuhan, kemudian dikompilasi dan diuji melalui simulasi, sebelum diunggah ke papan Arduino Uno.

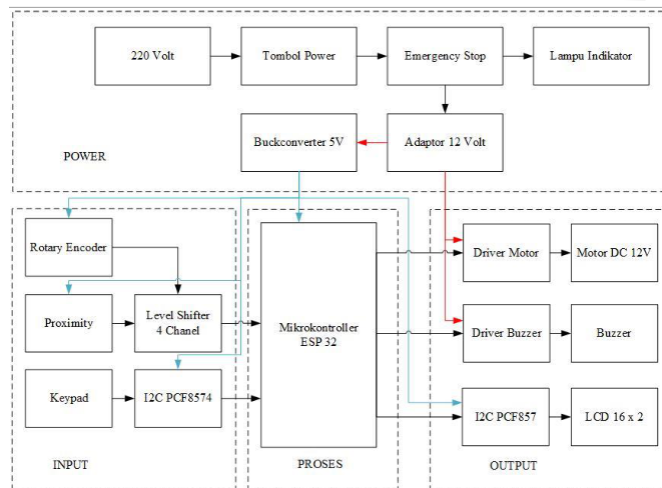
Rangkaian elektronik akan dikombinasikan dengan komponen mekanik yang dirancang secara terpisah. Mekanik terdiri dari rangka yang ditempatkan di bawah molding, berfungsi sebagai pemotong untuk membagi adonan. Tahap berikutnya adalah merakit seluruh komponen mekanik dan elektronik untuk diuji menggunakan bahan yang sebenarnya. Saat pengoperasian, sebuah menu awal akan muncul di layar LCD yang menampilkan input mengenai berapa lama motor 1 akan berputar, berapa lama proses pemotongan berlangsung, dan berapa lama konveyor (motor 2) akan berjalan.

Proses ini akan terus berulang sampai bahan baku atau adonan habis, dan sistem akan berhenti secara otomatis ketika adonan telah habis.

## 2.6 Perancangan Elektronik

Dalam perancangan alat pemotong pita otomatis ini, sistem dirancang untuk melaksanakan pengukuran panjang pita dan pemotongan pita secara otomatis, di mana pita akan ditarik pada cylinder penarik pita yang terhubung pada sensor encoder, apabila panjang pita sudah sesuai dengan set point maka gerinda akan bergerak memotong pita dengan gerakan V-slot ke kanan dan ke kiri oleh motor stepper.

Tahapan perancangan rangkaian elektronik mencakup beberapa langkah penting yang diawali dengan menetapkan tujuan dan kebutuhan dari rangkaian yang akan dirancang. Tujuan tersebut bisa berupa mengontrol sistem, mengolah sinyal, atau melakukan fungsi khusus lainnya. Setelah tujuan ditetapkan, langkah berikutnya adalah melakukan analisis dan pemodelan. Di sini, komponen-komponen yang dibutuhkan diidentifikasi serta hubungan antara komponen tersebut dianalisis. Penggunaan alat bantu seperti diagram blok, diagram alir, atau simulasi komputer sangat membantu dalam memodelkan sistem. Tahap selanjutnya adalah pemilihan komponen elektronik yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pertimbangan meliputi spesifikasi teknis, ketersediaan, harga, serta kompatibilitas antar komponen. Setelah komponen dipilih, skema rangkaian elektronik dibuat untuk menggambarkan hubungan antar komponen, dengan menggunakan simbol yang sesuai untuk setiap komponen. Setelah skema selesai, dilakukan simulasi dan analisis menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memvalidasi desain. Simulasi ini digunakan untuk melakukan analisis kinerja, pengujian, dan optimasi jika diperlukan. Simulasi sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi potensi masalah dan melakukan perbaikan sebelum rangkaian diimplementasikan secara fisik. Visualisasi tahapan perancangan elektronik dapat dilihat pada Gambar 2.3



GAMBAR 2.3. BLOK DIAGRAM RANCANGAN ELEKTRONIKA

Diagram menunjukkan bagaimana subsistem power, input, proses, dan output saling terhubung dalam sistem pemotong pita otomatis berbasis mikrokontroler ESP32. Sumber daya berasal dari listrik PLN 220 Volt, yang kemudian melalui tombol power dan emergency stop sebelum didistribusikan ke seluruh sistem. Bagian ini dilengkapi dengan lampu indikator untuk memberikan tanda bahwa sistem dalam kondisi aktif. Tegangan AC 220 Volt diturunkan menggunakan adaptor 12 Volt dan buck converter 5 Volt. Adaptor 12 Volt digunakan untuk mensuplai motor DC dan driver motor, sementara buck converter menghasilkan tegangan 5 Volt yang dibutuhkan mikrokontroler ESP32 dan perangkat input/output lainnya.

Pada bagian input, terdapat tiga perangkat utama, yaitu rotary encoder, sensor proximity, dan keypad. Rotary encoder digunakan untuk membaca putaran roller sehingga panjang pita dapat dihitung berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan. Sensor proximity berfungsi sebagai deteksi tambahan, misalnya mendeteksi posisi akhir atau keberadaan pita. Keypad digunakan sebagai antarmuka untuk memasukkan setpoint panjang pita. Seluruh sinyal input ini dilewatkan ke ESP32 melalui level shifter 4 channel dan modul I2C PCF8574, sehingga kompatibel dengan tegangan logika mikrokontroler.

Bagian proses dilakukan oleh mikrokontroler ESP32. Perangkat ini menjadi pusat pengendali, yang menerima data dari encoder, proximity, dan keypad, kemudian memproses informasi tersebut dengan algoritma kontrol PID. ESP32 menentukan kapan motor DC harus dijalankan, kapan motor berhenti, serta kapan buzzer dan pisau pemotong diaktifkan. Selanjutnya, pada bagian output, ESP32 mengendalikan beberapa perangkat melalui driver. Driver motor mengatur kerja motor DC 12 Volt yang berfungsi menarik pita. Driver buzzer mengontrol buzzer sebagai indikator suara ketika proses pemotongan selesai atau ketika terjadi kondisi darurat. Selain itu, ESP32 juga terhubung ke LCD 16x2 melalui modul I2C PCF8574, yang digunakan untuk menampilkan informasi panjang setpoint, panjang aktual, serta status pemotongan.

Prinsip kerja keseluruhan sistem adalah sebagai berikut. Setelah sistem diberi daya dan diaktifkan, pengguna memasukkan panjang pita yang diinginkan melalui keypad. ESP32 kemudian mengatur motor DC agar menarik pita, sambil menghitung panjang menggunakan rotary encoder. Ketika panjang aktual sudah sesuai dengan setpoint, ESP32 mengirimkan perintah untuk

menghentikan motor dan mengaktifkan motor pemotong. Proses ini disertai dengan notifikasi melalui buzzer dan tampilan status di LCD.

Dengan rancangan ini, sistem mampu bekerja secara otomatis dan terintegrasi, di mana mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang memproses input sensor dan menghasilkan output berupa pengaturan motor, indikator, serta tampilan informasi. Integrasi antara subsistem power, input, proses, dan output memastikan alat dapat digunakan dengan aman, presisi, dan mudah dipantau oleh pengguna.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pemotong pita otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dengan kontrol PID pada motor DC dan feedback rotary encoder. Fokus pengujian adalah mengevaluasi akurasi panjang pita hasil potongan dibandingkan dengan setpoint yang dimasukkan pengguna.

Data hasil pengujian potongan pita 1, pita 2, dan pita 3 ditampilkan di Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 secara berurutan. Prosedur pengujian dimulai dengan memasukkan panjang pita pada keypad dengan variasi setpoint 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, dan 100 cm. Setiap setpoint diuji sebanyak lima kali. Sistem menarik pita sesuai setpoint, menghentikan motor DC ketika panjang tercapai, lalu mengaktifkan motor pemotong. Panjang aktual pita diukur menggunakan alat ukur manual untuk memastikan validitas hasil. Pada pengujian awal, sistem dijalankan tanpa algoritma PID, sehingga motor DC bekerja hanya berdasarkan sinyal PWM statis. Hasil pengujian menunjukkan adanya deviasi panjang pita yang relatif besar, yaitu antara 0,5 hingga 1,5 cm. Deviasi ini disebabkan oleh variasi kecepatan motor, beban roller, dan inersia mekanik. Setelah menerapkan algoritma PID dengan parameter hasil tuning  $K_p=0.03$ ,  $K_i=0$ ,  $K_d=0.01$ , akurasi sistem meningkat signifikan. Rata-rata error dapat ditekan hingga  $\pm 0,2$  cm, jauh lebih kecil dibandingkan tanpa PID. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mengoreksi error secara real-time sehingga kecepatan motor lebih stabil dan panjang pita yang ditarik lebih konsisten.

TABEL 3.1 DATA HASIL PENGUJIAN POTONGAN PITA 1

Setpoint (cm)	Hasil 1	Rata-rata	Error Rata-rata
50	49.9	49.9	0.1
60	59.8	59.9	0.1
70	70.2	70	0.1
80	80.3	80	0.2
90	89.7	90	0.2
100	100.1	100.1	0.1

TABEL 3.2 DATA HASIL PENGUJIAN POTONGAN PITA 2

Setpoint (cm)	Hasil 2	Rata-rata	Error Rata-rata
50	49.8	49.9	0.1
60	60.1	59.9	0.1
70	69.9	70	0.1
80	79.9	80	0.2

90	90.1	90	0.2
100	100.2	100.1	0.1

TABEL 3.3 DATA HASIL PENGUJIAN POTONGAN PITA 3

Setpoint (cm)	Hasil 3	Rata-rata	Error Rata-rata
50	50.1	49.9	0.1
60	59.9	59.9	0.1
70	70	70	0.1
80	80.1	80	0.2
90	90	90	0.2
100	99.9	100.1	0.1

Hasil pada Tabel 3.1, 3.2, dan 3.3 menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan tingkat akurasi tinggi. Rata-rata error di seluruh variasi setpoint berada pada kisaran 0,1–0,2 cm, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi skala UMKM. Perbedaan error antara setpoint juga relatif kecil, menunjukkan konsistensi performa sistem. Dibandingkan dengan kondisi tanpa PID, penerapan kontrol PID berhasil menurunkan error hingga lima kali lebih baik. Hal ini membuktikan bahwa algoritma PID efektif dalam menjaga kestabilan kecepatan motor DC meskipun terdapat beban mekanis dan inersia. Selain itu, sistem juga memberikan kemudahan bagi pengguna. Dengan antarmuka keypad dan LCD, operator dapat memasukkan setpoint panjang pita dengan mudah dan memantau hasil secara langsung. Notifikasi buzzer juga membantu operator mengetahui kapan proses pemotongan selesai.

Berdasarkan pengujian fungsionalitas dan akurasi yang telah dilaksanakan, sistem pemotong pita otomatis menunjukkan performa yang sangat memuaskan dan sesuai dengan tujuan perancangan. Implementasi mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama terbukti mampu mengeksekusi perintah secara responsif dan mengelola komponen mekanis secara efektif. Keberhasilan utama dari sistem ini terletak pada penerapan algoritma kendali PID (Proportional-Integral-Derivative), yang berfungsi sebagai mekanisme umpan balik cerdas untuk mengatur pergerakan motor penarik pita. Mekanisme ini secara dinamis mengoreksi potensi penyimpangan yang disebabkan oleh faktor-faktor fisis seperti inersia motor dan gesekan bahan, sehingga memastikan pita berhenti pada posisi yang presisi sebelum proses pemotongan dieksekusi. Hasil pengujian kuantitatif secara konsisten menunjukkan bahwa rata-rata galat (error) pemotongan hanya berada pada rentang 0,1 hingga 0,2 cm. Tingkat akurasi yang tinggi ini mengindikasikan bahwa variasi panjang pada setiap potongan pita sangat minim, bahkan nyaris tidak dapat dibedakan secara visual.

Jika dibandingkan dengan literatur internasional, penggunaan PID untuk mengendalikan motor DC memang terbukti efektif dalam meningkatkan presisi sistem otomatisasi. Beberapa studi menyatakan bahwa integrasi encoder dengan PID mampu menurunkan error kecepatan dan posisi motor hingga di bawah 1% [3]. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan tersebut, di mana error rata-rata hanya 0,2 cm atau setara dengan kurang dari 0,3% dari setpoint terpanjang (100 cm). Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang tidak hanya berhasil mengatasi permasalahan

presisi, tetapi juga relevan dengan standar penelitian global dalam bidang sistem kendali motor berbasis mikrokontroler.

Dari analisis perbandingan ini, terlihat jelas bahwa kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan kendali PID yang secara signifikan meningkatkan akurasi pemotongan dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya mengandalkan kontrol sederhana. Dengan error rata-rata yang sangat kecil dan performa konsisten pada berbagai setpoint, penelitian ini mampu mengisi celah yang belum optimal dalam karya-karya terdahulu. Selain itu, rancangan sistem juga tetap mempertahankan kesederhanaan sehingga cocok diaplikasikan di lingkungan industri kecil dan menengah.

### Referensi

- [1] M. Yantidewi, B. Jatmiko, I. Sucahyo, A. Kholiq, N. A. Lestari, and U. A. Deta, "Getting to Know the Last Five Years Trend on Microcontroller Research: A Bibliometric Analysis," *J Phys Conf Ser*, vol. 2110, no. 1, p. 012006, Nov. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2110/1/012006.
- [2] F. Bleicher, D. Biermann, W.-G. Drossel, H.-C. Moehring, and Y. Altintas, "Sensor and actuator integrated tooling systems," *CIRP Annals*, vol. 72, no. 2, pp. 673–696, 2023, doi: 10.1016/j.cirp.2023.05.009.
- [3] J. Chen, M. N. Omidvar, M. Azad, and X. Yao, "Knowledge-based particle swarm optimization for PID controller tuning," in *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, IEEE, Jun. 2017, pp. 1819–1826. doi: 10.1109/CEC.2017.7969522.
- [4] B. Verma and P. K. Padhy, "Robust Fine Tuning of Optimal PID Controller With Guaranteed Robustness," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 6, pp. 4911–4920, Jun. 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2924603.
- [5] K. J. Alaameri, A. J. Ramadhan, A. S. Maklakov, and V. R. Gasiyarov, "Design of PID controller for liquid level in tanks using tia portal and FACTORY I/O programs," 2023, p. 020103. doi: 10.1063/5.0181881.
- [6] Y.-C. Chen and S.-C. Shen, "Design and Fabrication of High Resolution Diffractive Optical Encoder," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, vol. 39, no. 3, p. 311, 2018.
- [7] U. A. Ungku Amirulddin, N. F. Ab Aziz, M. Z. Baharuddin, F. H. Nordin, and M. N. S. Johari, "Development of a WiFi Smart Socket and Mobile Application for Energy Consumption Monitoring," 2020, pp. 107–114. doi: 10.1007/978-981-15-1289-6\_10.
- [8] O. Vdovichenko and A. Perepelitsyn, "Analysis of Nomenclature of Microcontrollers: Decision-Making During Building of Home Automation Elements," 2025, pp. 520–532. doi: 10.1007/978-3-031-94845-9\_43.
- [9] Y.-C. Luo, S.-Y. Xie, C.-H. Lin, and Y.-P. Kuo, "Speed Estimation of Direct Torque Control Permanent Magnet Synchronous Motor Drive Based on Back Electromotive Force," *Sensors and Materials*, vol. 33, no. 1, p. 357, Jan. 2021, doi: 10.18494/SAM.2021.3019.
- [10] Denis, Y. Christyono, Y. A. Adi Soetrisno, and A. F. Surya Pratama, "Design Analysis of Brushless Direct Current Motors Made of Copper and Aluminum Conductors For Better Performance and Cost-Effectiveness," in *2024 11th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, IEEE, Aug. 2024, pp. 82–89. doi: 10.1109/ICITACEE62763.2024.10761963.
- [11] V. R. Sree Ezhil et al., "Investigation on PID controller usage on Unmanned Aerial Vehicle for stability control," *Mater Today Proc*, vol. 66, pp. 1313–1318, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.05.134.
- [12] R. Betala and S. P. Nangrani, "Comparison of Performance of Fractional Order PID Controller with Conventional Controller for Industrial Applications," in *2023 IEEE International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)*, IEEE, Feb. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICICACS57338.2023.10099955.
- [13] I. A. Abdul Jamil and M. Moghavvemi, "Optimization of PID Controller Tuning method using Evolutionary Algorithms," in *2021 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, IEEE, Nov. 2021, pp. 1–7. doi: 10.1109/i-PACT52855.2021.9696875.
- [14] S. R. Ahamed, P. Parumasivam, M. S. H. Lipu, M. A. Hannan, and P. J. Ker, "A comparative evaluation of PID-based optimisation controller algorithms for DC motor," *International Journal of Automation and Control*, vol. 14, no. 5/6, p. 634, 2020, doi: 10.1504/IJAAC.2020.110076.
- [15] N. Johnson, K. J. Mohan, K. E. Janson, and J. Jose, "Optimization of incremental optical encoder pulse processing," in *2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s)*, IEEE, Mar. 2013, pp. 769–773. doi: 10.1109/iMac4s.2013.6526510.