

Rancang Bangun Sistem Kontrol Semiotomatis Penggulung Barcode Berbasis Mikrokontroler

Adik Susilo Wardoyo¹⁾
Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal
adik@poltek-gt.ac.id

Muhammad Kahlil Firdausi²⁾
Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal
kahlil@gmail.com

Diba Aliya Faradilla³⁾
Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal
alyadibaa20@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang alat penggulung *barcode* otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan fokus pada pengembangan sistem elektrik sebagai pengendali utama. Sistem ini terdiri dari motor DC sebagai penggerak utama, driver motor sebagai pengatur arah dan kecepatan motor, proximity switch sebagai sensor deteksi posisi ujung kertas, dan potensiometer untuk mengatur kecepatan putaran. Rangkaian elektrik dirancang agar proses penggulangan dapat berjalan otomatis dan berhenti secara tepat tanpa campur tangan operator. Pengukuran waktu dilakukan menggunakan metode *time study* sebelum dan sesudah penerapan alat. Hasil menunjukkan bahwa waktu penggulangan manual sebesar 183,7 detik menurun menjadi 87,2 detik dengan alat otomatis. Uji *t* berpasangan menghasilkan *p-value* sebesar 0,000 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan peningkatan signifikan. Efisiensi waktu yang dicapai sebesar 52,5%, membuktikan bahwa sistem elektrik yang dirancang mampu meningkatkan kinerja alat secara signifikan.

Kata Kunci : Rancang Bangun, *Barcode*, *Time Study*, *Six Sigma*, DMAIC.

ABSTRACT

*This study aims to design an automatic barcode rolling device based on an Arduino Uno microcontroller, with a focus on developing the electrical system as the main controller. The system consists of a DC motor as the main drive, a motor driver to control the direction and speed of the motor, a proximity switch as a sensor to detect the end of the paper, and a potentiometer to adjust the rotation speed. The electrical circuit is designed so that the rolling process can operate automatically and stop precisely without operator intervention. Processing time was measured using the time study method before and after the implementation of the device. The results showed that the manual rolling time of 183.7 seconds decreased to 87.2 seconds with the automatic device. The paired sample *t*-test produced a *p*-value of 0.000 ($p < 0.05$), indicating a significant improvement. The achieved time efficiency of 52.5% proves that the designed electrical system significantly enhances the device's performance.*

Keywords: Design and Development, Barcode, Time Study, Six Sigma, DMAIC.

I. PENDAHULUAN

Dunia industri modern, sistem identifikasi barang memegang peranan penting dalam mendukung kelancaran proses produksi dan distribusi. Salah satu teknologi identifikasi yang paling umum digunakan adalah *barcode*, yaitu representasi data dalam bentuk garis-garis vertikal dengan lebar dan jarak tertentu yang dapat dibaca oleh perangkat pemindai (*scanner*). *Barcode* memungkinkan informasi produk seperti kode barang, jenis, ukuran, hingga tanggal produksi dapat disimpan dan dikenali secara otomatis. Teknologi ini memberikan keuntungan dalam hal kecepatan, akurasi, dan efisiensi, serta mengurangi risiko kesalahan pencatatan yang sering terjadi pada proses manual.

Salah satu perusahaan yang telah mengimplementasikan sistem *barcode* dalam aktivitas operasionalnya adalah PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi ban kendaraan. Dalam proses produksinya, PT XYZ memanfaatkan sistem *barcode* sebagai alat bantu identifikasi untuk mendukung kelancaran aktivitas produksi dan distribusi. Penggunaan *barcode* dilakukan pada berbagai kebutuhan internal perusahaan, seperti label identitas dan penanda proses.

Untuk mendukung kelancaran proses produksi, PT XYZ memiliki beberapa departemen yang bertanggung jawab terhadap fungsi-fungsi pendukung, salah satunya adalah Departemen Management Support. Departemen ini bertugas memastikan ketersediaan sistem dan fasilitas yang mendukung aktivitas produksi, termasuk pengelolaan sistem identifikasi berbasis *barcode*.

Salah satu unit kerja di bawah departemen ini adalah Subdepartemen *barcode*, yang memiliki tanggung jawab khusus dalam menangani berbagai aktivitas terkait *barcode*. Tugas-tugas tersebut meliputi pencetakan dan distribusi *barcode*, pemeliharaan website *barcode*, pemantauan aplikasi *barcode* berbasis android, serta penyediaan sarana dan prasarana pendukung untuk setiap lini produksi. Keberadaan subdepartemen ini menjadi elemen penting dalam menjaga kelancaran sistem pelacakan internal di PT XYZ.

Penggunaan *barcode* sebagai sistem identifikasi produk telah menjadi standar dalam industri manufaktur, termasuk di Departemen Management Support PT XYZ. Namun, proses penggulungan kertas *barcode* masih dilakukan secara manual sehingga menimbulkan inefisiensi waktu, risiko *human error*, serta kelelahan operator. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin penggulung kertas *barcode* semi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno, serta menganalisis peningkatan efisiensi setelah implementasinya.

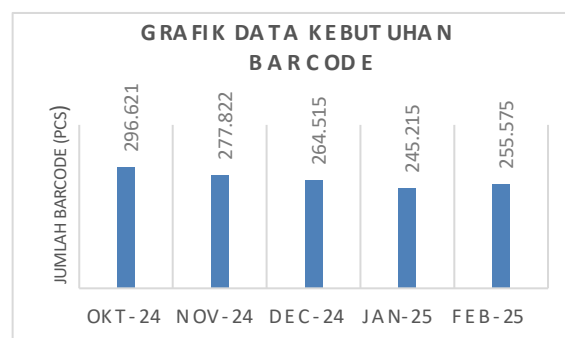
Kegiatan ini dilakukan tanpa bantuan alat otomatis, sehingga seluruh proses bergantung pada

tenaga satu operator. Berdasarkan data internal bulan Oktober, kebutuhan *barcode* di PT XYZ mencapai 296.610 pcs. Dengan waktu rata-rata 183,7 detik per 1.000 pcs, proses penggulungan *barcode* diperkirakan membutuhkan waktu sekitar 14 jam kerja dalam sebulan hanya untuk menyelesaikan proses tersebut.

Dalam kondisi di mana operator juga bertanggung jawab terhadap tugas-tugas lain yang memerlukan perhatian dan ketelitian tinggi, alokasi waktu untuk pekerjaan manual seperti ini menjadi kurang efisien. Waktu yang dihabiskan untuk menggulung *barcode* dapat digunakan untuk pekerjaan lain yang lebih strategis dan berdampak langsung terhadap kinerja sistem *barcode* secara keseluruhan.

Penelitian oleh Sutisna *et al.*, (2023) [1], dalam Journal of Industrial Automation and Control menunjukkan bahwa penerapan otomatisasi pada proses kerja berulang dalam industri manufaktur mampu menurunkan waktu proses rata-rata hingga 45% dan mengurangi beban kerja fisik operator sebesar 30–50%, khususnya pada tugas bersifat repetitif dan manual. Hal ini sejalan dengan temuan dari N. Elshahoupy, (2022) [2], yang menggunakan pendekatan *Six Sigma* dalam perancangan alat otomatis untuk proses pengisian, dan berhasil meningkatkan efisiensi waktu kerja hingga 51,3%.

Gambar 1 memperlihatkan kebutuhan *barcode* selama lima bulan terakhir, dari Oktober 2024 hingga Februari 2025. Meskipun jumlahnya mengalami fluktuasi, kebutuhan tetap berada pada angka yang tinggi, yaitu lebih dari 245.000 pcs setiap bulannya. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses penggulungan masih menjadi beban kerja yang signifikan dan perlu disederhanakan untuk meningkatkan efisiensi.



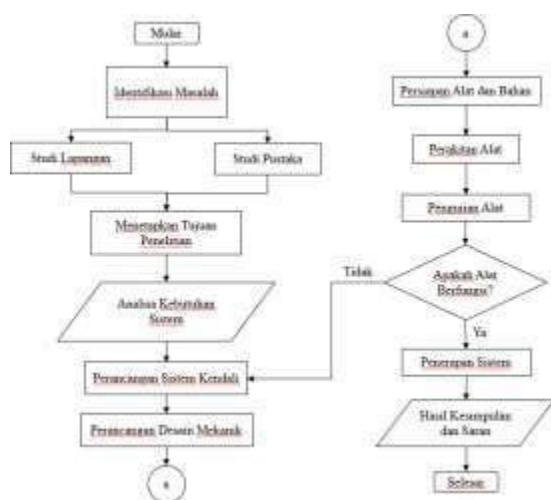
Gambar 1. Data Kebutuhan Barcode Oktober 2024 – Februari 2025

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan solusi teknis untuk meningkatkan efisiensi kerja di Subdepartemen *barcode*. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan melakukan rancang bangun alat penggulung *barcode* otomatis. Alat ini diharapkan dapat mengurangi beban kerja operator, mempercepat proses penggulungan, serta meningkatkan kualitas hasil gulungan agar lebih rapi, seragam, dan siap didistribusikan ke setiap bagian produksi.

Penelitian sebelumnya telah banyak membahas metode perhitungan diameter gulungan berbasis tegangan internal, putaran *roll*, dan kecepatan linier, yang diaplikasikan pada gulungan kertas, film, dan bahan sejenis. [3] mengembangkan model distribusi tegangan untuk menjaga kestabilan gulungan dan mencegah pengangkatan. Sementara itu, banyak dokumen teknis [4] menggunakan metode perhitungan diameter dari relasi antara *line speed* rpm (V/n) serta jumlah putaran dan ketebalan material. Model *tension control* dari Converter Accessory Corp [5] juga menjelaskan bahwa perubahan diameter secara *real-time* dapat dihitung dari kecepatan linen dan putaran *roll* [6]. Tool online Marian dan Toray secara praktis memberi rumus dasar berdasarkan panjang, ketebalan, dan diameter inti gulungan material films toray. Di sisi sensor, [7] forum teknis seperti PLC Talk menyampaikan penggunaan enkoder untuk menghitung diameter melalui putaran *roll* [8], sedangkan McDonald [9] membahas gangguan diameter akibat tekanan jepitan [10]. Keseluruhan penelitian ini mendemonstrasikan landasan teknik yang kuat untuk merancang alat bantu penggulungan otomatis yang mengintegrasikan sensor putaran (enkoder atau rpm), *line speed*, dan model matematis untuk menghitung diameter gulungan secara akurat [11].

II. METODE PENELITIAN

Rancang bangun alat mengikuti tahapan-tahapan yang ada pada alur penelitian. Untuk memudahkan proses penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

A. Identifikasi Masalah

Penelitian dimulai dengan Identifikasi masalah pada keseluruhan proses produksi yang terdapat di Plant A/C PT XYZ. Pada salah satu Departemen terdapat suatu permasalahan yang perlu adanya upaya tindak lanjut dan perbaikan dari

permasalahan tersebut. Permasalahan tersebut terdapat di Departemen *Management Support* dimana proses penggulungan *barcode* yang dilakukan setelah proses pencetakan masih dilakukan secara manual dan menyita waktu penyelesaian pekerjaan lain. Hal ini disebabkan karena tidak adanya alat bantu otomatisasi sehingga menimbulkan proses kerja yang tidak efisien, dimana pekerjaan tersebut dapat diatasi dengan penerapan alat otomatisasi.

B. Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan observasi di Departemen *Management Support* untuk memperoleh rincian informasi yang aktual secara langsung. Pada tahap studi lapangan juga dilakukan perencanaan rancangan alat yang dibuat dengan mempertimbangkan lokasi dan tempat yang tersedia serta kebutuhan operator.

C. Studi Pustaka

Pada tahap studi pustaka dilakukan studi terhadap kajian atau penelitian sebelumnya yang memiliki sistem serupa atau prinsip yang dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian ini. Selain itu, tahap studi pustaka dilakukan agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan memiliki dasar teori yang kuat.

D. Menetapkan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini ditetapkan tujuan terkait dengan permasalahan yang terdapat di Departemen *Management Support*. Tujuan tersebut difokuskan pada perancangan produk berupa alat penggulung *barcode* semi otomatis untuk memangkas *cycle time* proses penggulungan dan meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam proses penggulungan. Alat penggulung *barcode* ini berbasis mikrokontroler menggunakan Arduino.

E. Analisa Kebutuhan Sistem

Pengumpulan Data Penelitian dilakukan di Departemen *Management Support* pada bulan Maret 2025 sampai dengan bulan Juni 2025, dengan objek penelitian yaitu mengamati mesin *barcode printer* yang tidak memiliki alat penggulung hasil cetak secara otomatis. Dimana objek penelitian tersebut memerlukan rancang bangun agar proses berjalan dengan optimal dan meningkatkan efisiensi waktu. Dalam melakukan penelitiannya, penulis akan mengukur waktu penggulungan *barcode* (dalam detik) dengan menggunakan *stopwatch* dan jumlah kesalahan yang dilakukan oleh operator menggunakan metode *time study*, sehingga diharapkan rancang bangun ini dapat meningkatkan efisiensi waktu.

E.1. Jenis Data

Jenis Data yang digunakan terdiri dari: Data primer dalam penelitian ini hasil pengukuran waktu penggulungan barcode manual menggunakan stopwatch, serta identifikasi berbagai kesalahan yang terjadi selama proses penggulungan barcode dan hasil pengujian alat penggulung barcode semi otomatis. Dan data sekunder dalam penelitian ini mencakup literatur, teori, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik efisiensi kerja, dan otomatisasi proses produksi berupa dokumen atau laporan internal perusahaan terkait data kebutuhan barcode, serta referensi dari buku, jurnal, atau artikel yang digunakan sebagai landasan teori dan metodologi penelitian.

E.2. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dalam penulisan ini, metode pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut: Observasi, Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan atau peninjauan langsung pada objek penelitian, yaitu mesin printer barcode. Wawancara dilakukan dengan pihak manajemen atau karyawan di departemen yang bertanggung jawab atas operasi penggunaan mesin printer barcode untuk mengumpulkan informasi mengenai penggunaan dan juga kendala yang terjadi saat proses percetakan dan penggulungan secara manual.

E.3. Pengolahan Data

Pengolahan Data dalam penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan sistematis dan terstruktur. Dimulai dengan pengumpulan data primer melalui pengukuran cycle time untuk setiap sub-proses penggulungan barcode (persiapan, pengguntingan, penggulungan, dan pengamanan) menggunakan metode time study dengan minimal 30 sampel pengamatan. Selanjutnya, data cycle time diolah melalui tabulasi, analisis statistik deskriptif (rata-rata). Bersamaan dengan itu, data *before after* diproses melalui perbandingan produktivitas dengan perhitungan *output* per jam dan persentase peningkatan, analisis tingkat kegagalan untuk mengukur penurunan kesalahan, serta analisis efisiensi waktu yang menghitung total penghematan waktu dan distribusinya untuk tugas-tugas lain.

F. Perancangan Desain

Perancangan desain mekanik dilakukan untuk menggambarkan bentuk dan susunan komponen mesin penggulung kertas sebelum tahap perakitan. Desain ini mencakup pemilihan komponen utama, sistem transmisi, dan struktur rangka penopang. Proses perancangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak pemodelan 3D,

yaitu Solidworks, guna memperoleh visualisasi yang akurat dan mendetail dari sistem yang dirancang. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi sesuai kebutuhan, serta memudahkan proses perakitan, pengujian, dan evaluasi desain secara keseluruhan.

G. Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan dan bahan. Peralatan yang dibutuhkan mencakup perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) antara lain disajikan dalam Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3.

Tabel 1. Bahan

No	Nama	Spesifikasi	Jumlah
1	Arduino Uno	1. Mikrokontroler : ATmega328P 2. Tegangan kerja: 5V 3. Pin I/O Digital: 14 (6 PWM) 4. Memori <i>Flash</i> : 32 KB 5. Tegangan Masuk 9 – 12V DC 6. Arus Maksimum 1 A	1 Buah
2	AC-05-03 (AC to DC)	1. <i>Input</i> 100–240 V AC, 50–60 Hz 2. Arus <i>Input</i> 40 mA @ 230 VAC 3. <i>Output</i> 5 V DC $\pm 2,5\%$ 4. Arus <i>Output</i> 0,6 A (maksimal) 5. Daya Maks 3 W	1 Buah
3	Sensor proximity	1. <i>Proximity Induktif</i> (benda logam) 2. Jarak deteksi 2 – 8 mm 3. Tegangan 6 – 36VDC 4. Maks 200 – 300 mA 5. PNP 6. Indikator: LED berwarna merah 7. 3 Kabel (V+, GND dan <i>Output</i>)	2 Buah
4	Potensiometer	Resistansi 10 K ω Tegangan 0–50 V DC Daya 0.1 – 0.25 W	1 Buah
5	Push Button	Tegangan 3-24 V DC Arus 50 mA – 100 mA Tipe Koneksi Normally Open	3 Buah

Tabel 2. Lanjutan

No	Nama	Spesifikasi	Jumlah
6	Motor Driver	1. Tegangan input 12V 2. Arus maksimum 1.2A 3. PWM frekuensi 25 kHz 4. Resistansi 16m ohm.	1 Buah
7	Motor DC	1. Tegangan operasi 12V – 24V DC 2. Kecepatan putarn 12000 RPM 3. Daya 100W 4. Motor 775 5. Arus tanpa beban 1 – 2 A	1 Buah
8	Kabel Jumper	1. Jenis Konektor Male-to-Male, Male-to-Female, Female-to-Female 2. Tegangan 5V – 12V 3. Arus ± 1 A	40 Buah
9	Kabel Power	1. Tegangan Masuk 9 – 12V DC	1 Buah

Tabel 3. Alat

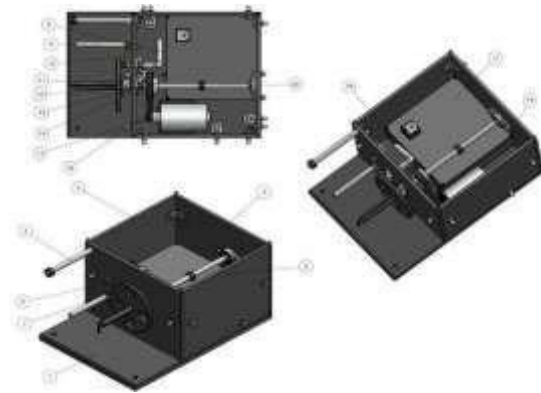
No	Nama	Keterangan
1	Laptop	Alat yang digunakan sebagai media desain alat dan desain wiring, membuat kode untuk mikrokontroler.
2	Solder	Alat yang digunakan untuk menyambungkan bahan bahan yang terbuat dari logam.
3	Tang Kombinasi	Alat yang digunakan sebagai alat bantu pemasangan sistem alat.
4	Attractor	Alat yang digunakan untuk menyedot timah saat menyolder.
5	Obeng	alat perkakas yang berfungsi untuk mengencangkan atau melonggarkan baut atau sekrup.
6	Timah	Alat yang digunakan untuk menempelkan komponen.

Tabel 4. Software

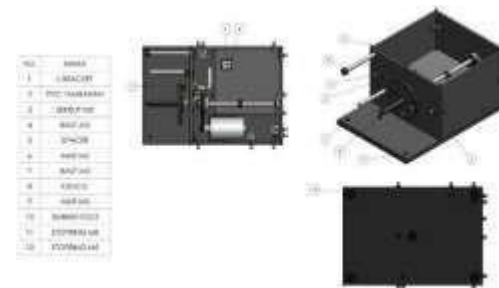
No	Nama	Keterangan
1	Arduino IDE	Alat yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode ke perangkat keras Arduino
2	Fritzing	Alat yang digunakan untuk merancang perangkat keras elektronik dan membuat rangkaian skematik hardware.

H. Perakitan Alat

Pada tahap ini dilakukan desain rancang bangun alat penggulung yang akan dibuat. Selain itu juga dilakukan desain sistem kontrol mikrokontroler yang akan mengatur putaran motor DC melalui arduino. Gambar 3, 4 merupakan desain alat penggulung *barcode* yang dibuat dengan menggunakan solidworks.



Gambar 3. Desain Alat Penggulung *Barcode* Otomatis
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)



Gambar 4. Gambar Isometrik Alat
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)

I. Perakitan Elektrik

Pada tahap ini, komponen elektronik seperti motor DC RS-775, sensor proximity, mikrokontroler Arduino Uno, motor driver, dan sumber daya dipasang sesuai dengan diagram rangkaian. Sensor diletakkan dekat jalur kertas untuk mendeteksi posisi ujung kertas atau label. Mikrokontroler dipasang pada panel kontrol, dan seluruh kabel dihubungkan sesuai fungsi masing-masing. Proses ini dilakukan dengan hati-hati agar koneksi tidak longgar atau tertukar.

Sistem penggulangan semi otomatis ini bekerja apabila operator mengirim intruksi menggulung setelah proses pencetakan, yang setiap putaran penggulangannya akan dihitung melalui sensor proximity. Data yang diperoleh sensor kemudian diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno. Ketika jumlah gulungan sudah mencapai jumlah yang telah ditentukan, Arduino akan mengirim sinyal ke motor driver untuk mengontrol motor DC untuk berhenti berputar. Dengan demikian, gulungan *barcode* dapat dilakukan secara otomatis. Setelah dibuatnya alat ini, operator hanya melakukan proses set up pada setiap kertas *barcode* habis, dan melakukan pemotongan secara manual.

J. Integrasi dan Pengujian Awal

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem kontrol Mikrokontroler yang akan mengatur putaran motor DC melalui arduino. Apakah sudah sesuai dengan standar atau masih terdapat error. Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap desain kerangkapat yang telah dibuat. Apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang dirancang atau belum. Apabila masih terjadi ketidaksesuaian dengan standar dan spesifikasi yang dibutuhkan kembali ke tahap perancangan sistem kendali.

K. Penerapan Sistem

Pada tahap ini setelah alat yang dibuat sesuai dengan standar dan spesifikasi yang dibutuhkan dilakukan penerapan alat di Departemen *Management Support*. Sehingga alat penggung *barcode* dengan menggunakan sistem mikrokontroler akan menggantikan proses pengguangan secara manual.

L. Jadwal Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, peneliti menetapkan jadwal agar proses pekerjaan dapat terkoordinasi secara terstruktur. Jadwal ini juga membantu peneliti untuk menentukan batas waktu pengerjaan, sehingga proses pembuatan alat yang merupakan tujuan utama dari pelaksanaan tugas akhir dapat terselesaikan tepat waktu. Adapun jadwal yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.

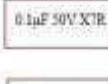
NO	KEGIATAN	BULAN KE-				
		1	2	3	4	5
1	Identifikasi Masalah	■				
2	Studi Lapangan	■				
3	Studi Pustaka	■				
4	Menetapkan Tujuan Penelitian	■				
5	Analisa Kebutuhan Sistem	■	■			
6	Persiapan Alat dan bahan	■	■	■		
7	Perancangan Desain Mekanik	■	■	■	■	
8	Perancangan Sistem Kendali	■	■	■	■	■
9	Perakitan Alat	■	■	■	■	■
10	Pengujian Sistem	■	■	■	■	■
11	Penerapan Sistem	■	■	■	■	■
12	Hasil, Kesimpulan dan Saran	■	■	■	■	■

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa penelitian diawali dengan Identifikasi Masalah, Studi Literatur, dan Pembuatan Proposal yang dilakukan selama satu bulan. Peneliti menggunakan software berupa MS. Word 2019 untuk membuat dokumen dan penulisan proposal tugas akhir. Di

samping itu, selama pengerjaan proposal, peneliti melakukan pengumpulan data, pengujian data, dan pengolahan data menggunakan analisis *time study*.

Data-data yang dikumpulkan berasal dari observasi pada proses penggung kertas *barcode* yang dilakukan oleh operator secara manual. Dalam hal tersebut, peneliti memerlukan waktu selama satu bulan, karena diperlukan juga waktu untuk mengevaluasi keberhasilan simulasi yang ada. Kemudian, dilakukan pemilihan alat dan bahan sesuai morfologi *chart* serta proses manufakturing alat. Setelah alat selesai dibuat, peneliti menganalisis rancang bangun. Setiap bulan setelah pengajuan proposal, peneliti melakukan *resume* dan membuat laporan tugas akhir.

Tabel 5. Morfologi Chart

No	Komponen	Pilihan Utama	Alternatif 1	Alternatif 2
1	Mikrokontroler			
2	Terminal Power			
3	Motor Driver			
4	Motor			
5	Resistor			
6	Kapasitor			
7	Sensor Counter			
8	Sensor Motor Stop			
9	Project Board			

Hasil Berdasarkan tabel morfologi yang telah disusun, terdapat beberapa alternatif komponen untuk masing-masing bagian sistem. Pemilihan komponen utama didasarkan pada beberapa pertimbangan, seperti kesesuaian tegangan, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, efisiensi daya, ketersediaan di pasaran, dan kemudahan pemrograman. Berikut ini merupakan penjelasan untuk masing-masing pemilihan komponen utama yang digunakan dalam sistem.

Mikrokontroler – Arduino Uno

Dari beberapa alternatif mikrokontroler yang tersedia (seperti Arduino Mega, Raspberry Pi, ESP32), Arduino Uno dipilih karena kemudahan pemrograman, ketersediaan modul pendukung, serta biaya yang relatif rendah. Arduino Uno memiliki fitur yang cukup untuk mengendalikan motor DC, membaca sensor, dan mengatur logika penggulungan secara semi otomatis.

Terminal Power – Jack DC 9-12V

Dipilih sebagai jalur masuk daya karena mudah ditemukan, kompatibel dengan adaptor standar 9–12V DC, dan mudah dipasang pada casing alat. Terminal screw atau USB Power dapat digunakan sebagai alternatif jika fleksibilitas atau ukuran lebih penting.

Modul Driver Motor – BTS7960

Driver motor BTS7960B digunakan untuk mengendalikan motor DC hingga arus maksimum 43A dan tegangan operasi 6-27V. Modul ini menggunakan IC BTS7960B yang memungkinkan kontrol arah motor maju-mundur dan kecepatan melalui sinyal PWM hingga 25 kHz, serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino uno. BTS7960B menjadi pilihan tepat karena kemudahan penggunaan dalam mengendalikan motor DC berarus besar secara efisien dan aman.

Motor Penggulung – Motor DC 775

Motor DC 770 dipilih sebagai penggerak utama karena kemampuannya untuk mengatur kecepatan dengan mudah melalui modul driver motor. Motor ini memiliki torsi yang cukup untuk menggulung kertas barcode dengan lebar dan ketebalan yang diperlukan. Motor AC tidak dipilih karena kontrol kecepatannya lebih kompleks dan membutuhkan inverter.

Resistor - $10k\Omega \pm 5\%$

Resistor $10k\Omega$ merupakan pilihan standar untuk aplikasi pembagi tegangan atau pull-up/pull-down. Nilai $10k$ cukup untuk menjaga kestabilan sinyal tanpa mengalirkan arus berlebih. Alternatif seperti 220Ω atau $1k\Omega$ bisa digunakan untuk LED atau proteksi dasar, namun kurang optimal untuk sinyal kontrol mikrokontroler.

Kapasitor - $0.1\mu F$ 50V X7R

Kapasitor keramik $0.1\mu F$ dipilih karena efektif meredam *noise* dari motor dan menstabilkan tegangan. Tipe X7R memiliki toleransi suhu yang baik. Dibandingkan elektrolit $10\mu F$ yang lebih besar secara fisik atau $1\mu F$ keramik yang terlalu kecil, kapasitor $0.1\mu F$ menjadi pilihan ideal untuk bypass atau *decoupling*.

Sensor Counter

Proximity induktif dipilih untuk menghitung putaran motor karena tahan terhadap debu dan getaran, serta mampu mendeteksi logam tanpa kontak fisik. Rotary encoder dan Hall effect sensor juga bisa digunakan, namun lebih sensitif terhadap posisi dan membutuhkan pemasangan lebih presisi.

Sensor Motor Stop

Sensor ini digunakan untuk menghentikan motor ketika gulungan sudah mencapai posisi tertentu. Dipilih karena respons cepat dan tahan kondisi lingkungan kasar. Limit switch bisa menjadi alternatif mekanis, namun lebih mudah aus. Optical encoder lebih mahal dan kompleks dalam penerapan.

Project Board

Breadboard dipilih karena fleksibel dan cocok untuk perakitan prototipe tanpa solder. PCB lubang atau cetak cocok untuk versi final, tetapi tidak fleksibel untuk eksperimen awal. Perfboard bisa digunakan sebagai perantara, tetapi tidak sepraktis breadboard dalam proses uji coba.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini difokuskan pada proses rancang bangun mesin penggulung *barcode* berbasis mikrokontroler sebagai solusi teknis untuk mengurangi pemborosan waktu pada proses manual. Untuk evaluasi performa, digunakan pendekatan *Lean Six Sigma*, khususnya metode DMAIC, sebagai kerangka evaluatif. Perancangan alat dilakukan dengan pendekatan teknik rekayasa, sedangkan DMAIC digunakan untuk menganalisis efisiensi sebelum dan sesudah alat diterapkan.

A. Hasil Perhitungan Teknis

Dalam proses perancangan mesin penggulung kertas, diperlukan beberapa perhitungan teknis untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan. Perhitungan ini mencakup aspek mekanik seperti torsi, rasio pulley, kecepatan putaran, serta panjang dan waktu penggulungan kertas.

Melalui perhitungan ini, komponen yang digunakan dapat disesuaikan dengan kapasitas kerja sistem sehingga alat dapat berfungsi secara efektif. Berikut ini disajikan perhitungan teknis yang digunakan dalam perancangan alat.

A.1 Perhitungan Panjang Gulungan Kertas

Barcode

Untuk mengetahui total panjang gulungan kertas *barcode* per 1000 pcs, perlu dilakukan perhitungan panjang total kertas yang dapat

tergantung pada poros. Perhitungan ini penting untuk menentukan estimasi waktu pengoperasian. Panjang kertas yang tergulung dihitung dengan mempertimbangkan diameter awal poros (tanpa kertas), diameter luar gulungan setelah penuh, dan ketebalan kertas:

Diketahui:

Tabel 6. Keterangan Perhitungan

Simbol	Keterangan	Nilai
D	Diameter Luar	49 mm
d	Diameter Dalam	10,92 mm
t	Ketebalan kertas	0.09 mm

$$L = \frac{\pi \times (49^2 - 10,92^2)}{4 \times 0,09} = 19.912,06 \text{ mm} = 19,9 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa total panjang *barcode* apabila digulung 1000 pcs adalah 19.9 m

A.2 Perhitungan Waktu Penggulungan

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa total panjang kertas *barcode* per 1000 pcs adalah 19.9 m. Nilai ini sangat berguna sebagai acuan dalam menentukan kapasitas penggulungan, durasi kerja sistem, serta estimasi kebutuhan kertas sebelum proses penggantian gulungan dilakukan. Berikut perhitungan waktu penggulungan per 1000 pcs: Diketahui:

Tabel 7. Keterangan Perhitungan

Simbol	Keterangan	Nilai
L	Panjang Gulungan	19.912,06 mm
n	Rpm Poros Penggulung	222 rpm
D1	Diameter Awal	10,92 mm
D2	Diameter Akhir	49 mm

Karena gulungan bertambah tebal dari radius kecil ke besar, kecepatan linier pun bertambah. Maka, kita gunakan radius rata-rata:

$$r_{avg} = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{5,46 + 24,5}{2} = 14,98 \text{ mm}$$

$$\text{Maka: } t = \frac{L}{\frac{2\pi n r_{avg}}{60}} = \frac{60L}{2\pi n r_{avg}}$$

$$t = \frac{60L}{2\pi n r_{avg}} = \frac{60 \times 19.912,06}{2\pi \times 222 \times 14,98} = 57,11 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diperoleh bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menggulung kertas sepanjang 19,9 meter dengan kecepatan putar poros sebesar 222 RPM dan diameter awal poros 10,92 dan diameter akhir gulungan 49 mm adalah sekitar 57,11 detik.

B. Hasil Rancang Bangun Sistem Mekanik

Hasil rancang bangun mekanik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Mekanik Tampak Atas

C. Rancang Bangun Alat

Sebagai upaya peningkatan efisiensi waktu, dilakukan perancangan dan pembuatan alat penggulung *barcode* berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Alat ini dirancang untuk menggantikan aktivitas manual yang memakan waktu dan menyebabkan kelelahan operator. Desain mencakup sistem mekanik, elektrik, dan kontrol otomatis yang dapat menggulung *barcode* dengan jumlah dan kecepatan yang terukur secara presisi.

D. Perhitungan Elektrik dan Daya Sistem

Pada bagian ini akan dibahas perhitungan kebutuhan daya listrik dan arus yang diperlukan oleh komponen utama dalam mesin penggulung kertas *barcode*.

D.1 Perhitungan Daya Motor Penggulung

Daya listrik yang dibutuhkan motor dihitung dengan rumus:

$$V \text{ (tegangan motor)} = 12 \text{ V}$$

$$I \text{ (saat starting current)} = 1,5 \text{ A}$$

$$I \text{ (saat beban bekerja)} = 1,5 \text{ A}$$

Maka:

$$P = 12 \text{ V} \times 1,5 \text{ A} = 18 \text{ W}$$

D.2 Perhitungan Daya Mikrokontroler dan Sensor

Mikrokontroler Arduino Uno dan sensor menggunakan tegangan 5 V dengan arus gabungan sekitar:

$$I_{total} = 50 \text{ mA} + 20 \text{ mA} = 70 \text{ mA} = 0,07 \text{ A}$$

Daya yang dibutuhkan:

$$P = 5 \text{ V} \times 0,07 \text{ A} = 0,35 \text{ W}$$

D.3 Perhitungan Kapasitas Catu Daya

Untuk memastikan catu daya dapat

mensuplai kebutuhan listrik dengan baik, diperlukan margin keamanan sebesar 20% dari total daya:

$$P_{supply} = P_{total} \times 1,2 = 18,35 \text{ W} \times 1,2 = 22,02 \text{ W}$$

Dengan tegangan suplai 12 V DC, arus minimum yang harus disediakan oleh adaptor adalah:

$$I_{supply} = \frac{P_{supply}}{V} = \frac{22,02 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 1,835 \text{ A}$$

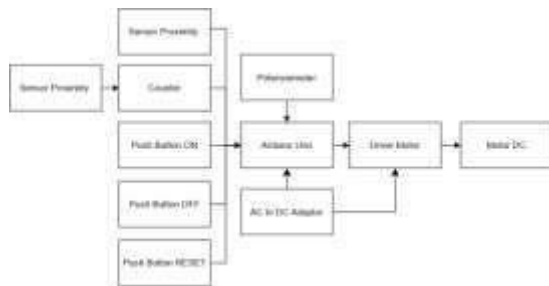
Sehingga, adaptor yang digunakan minimal berkapasitas 12 V, 2 A agar aman dan stabil.

E. Desain Rangkaian Elektrik

Desain dalam manajemen proyek adalah fase kritis yang memastikan bahwa proyek dapat dilaksanakan dengan efisien, tepat waktu dan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

E.1 Perancangan Sistem Kontrol

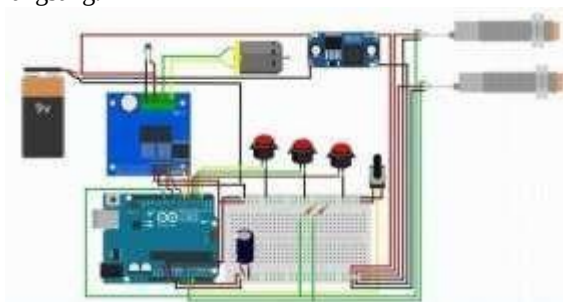
Susunan komponen elektronik yang digunakan bersama dengan papan mikrokontroler Arduino untuk membuat proyek elektronik interaktif. Hasil blok diagram sistem kontrol dan wiring diagram dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Blok Diagram Sistem Kontrol
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)

E.2 Wiring Diagram

Wiring diagram ini bertujuan untuk memudahkan dalam memahami hubungan antar perangkat seperti sensor, aktuator, tombol input, serta modul driver motor, yang keseluruhannya terintegrasi dalam satu sistem pengendali. Diagram ini dibuat dengan *software* simulasi elektronik untuk memastikan ketepatan koneksi dan keandalan alur arus listrik sebelum dilakukan perakitan fisik secara langsung.



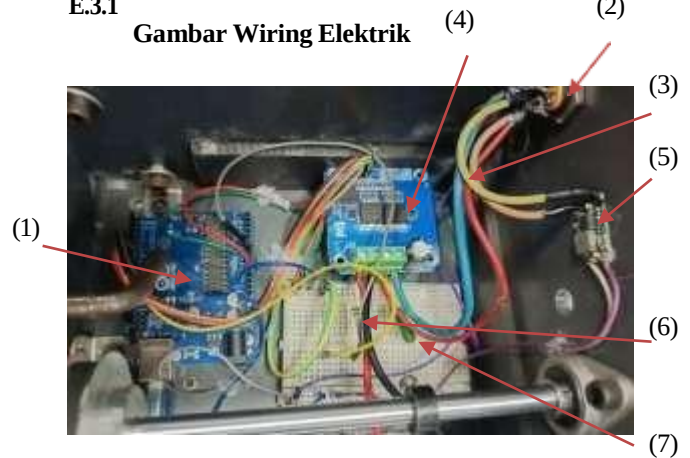
Gambar 7. Diagram Blok
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa sistem ini menggunakan catu daya 9V yang dialirkan ke mikrokontroler Arduino Uno dan driver motor sebagai pengendali arah putaran motor DC. Wiring diagram ini menjadi acuan utama dalam proses perakitan sistem sehingga seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi dan sesuai dengan perancangan yang telah ditentukan.

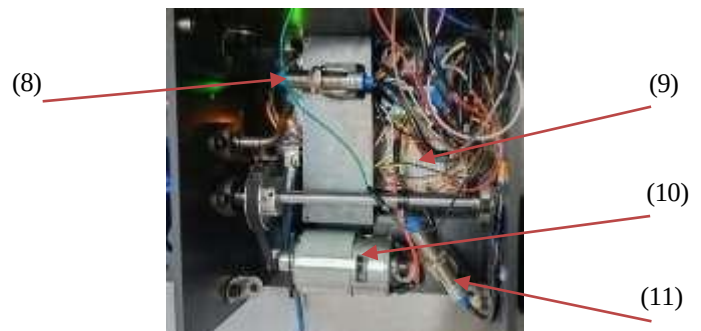
E.3 Hasil Rangkaian Elektrik

E.3.1

Gambar Wiring Elektrik



Gambar 8. Rangkaian Elektrik Lapisan Bawah.
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)



Gambar 9. Rangkaian Elektrik Lapisan Bawah.
(Sumber : Kajian Penulis, 2025)

E.3.2 Penjelasan Rangkaian

Tabel 8. Penjelasan Rangkaian

No	Nama	Spesifikasi	Fungsi
1	Arduino Uno	1. Mikrokontroler: ATmega328P 2. Tegangan kerja: 5V 3. Pin I/O Digital: 14 (6 PWM) 4. Memori Flash: 32 KB	Sebagai otak dari sistem, mengendalikan dan memproses data dari <i>input</i> (sensor) dan <i>output</i> (aktuator).
2	Terminal Jack DC	1. Tegangan Masuk 9–12V DC 2. Arus Maksimum 1 A	Sebagai jalur masuk tegangan dari adaptor ke sistem rangkaian elektronik.
3	Kabel	Jenis: Kabel Fleksibel	Mengalirkan tegangan ke berbagai komponen rangkaian listrik.

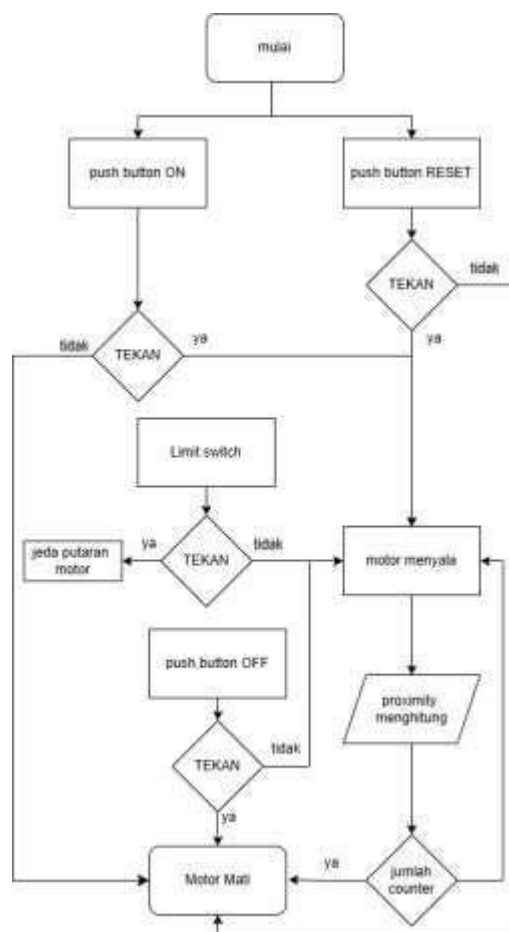
Tabel 9. Lanjutan

No	Nama	Spesifikasi	Fungsi
4	Driver Motor	1. Tegangan input 6–27V 2. Arus maksimum 43A 3. PWM frekuensi 25 kHz Resistansi 16m ohm.	Mengendalikan kecepatan dan arah putaran motor DC secara presisi dan aman, sekaligus melindungi motor dan rangkaian dari kerusakan akibat kondisi beban berlebih atau panas berlebih
5	Sensor Tegangan	1. Tegangan input: 0–25V DC 2. Tegangan output: 0–5V (terhubung ke pin analog Arduino)	Mendeteksi dan mengukur besarnya tegangan input, lalu mengirimkan data ke Arduino.
6	Resistor	10.000 ohm (10 kiloohm) $\pm 5\%$	Mengontrol besaran arus dan menurunkan tegangan.
7	Green Capacitor	3. Capacitor Keramik 0.1 μ F 50V $\pm 10\%$ X7R	Untuk meredam <i>noise</i> atau gangguan frekuensi tinggi yang oleh motor, mengurangi lonjakan tegangan saat motor dinyalakan atau dimatikan, membantu menstabilkan tegangan suplai.
8	Sensor Proximity jeda motor	1. Proximity Induktif (tipe deteksi benda logam)	Ketika poros menyentuh sensor proximity, sensor mendeteksi keberadaan

Tabel 9. Lanjutan

No	Nama	Spesifikasi	Fungsi
		2. Jarak deteksi : 2 – 8 mm 3. Tegangan : 6 – 36VDC 4. Maks 200 – 300 mA 5. PNP 6. Indikator : LED berwarna merah 7. 3 Kabel (V+, GND dan Output)	poros dan mengirimkan sinyal ke Arduino. Arduino akan memberikan perintah untuk mematikan motor secara otomatis untuk menghentikan proses sesuai kendali sistem.
9	Project Board	1. Tegangan maks 5V – 12V 2. Arus maksimum 500 mA	Berfungsi sebagai media untuk merakit dan menguji rangkaian elektronik.
10	Motor DC	1. Tegangan operasi 12V – 24V DC 2. Kecepatan putaran 24000 RPM 3. Daya 60W – 150W 4. Motor 775	Berfungsi untuk Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
11	Proximity Counter	1. Proximity Induktif (deteksi benda logam) 2. Jarak deteksi : 2 – 8 mm 3. Tegangan : 6 – 36VDC 4. Maks 200 – 300 mA 5. PNP 6. Indikator : LED berwarna merah 7. 3 Kabel (V+, GND dan Output)	Untuk menghitung jumlah putaran motor.

F. Flowchart dan Logika Program



Gambar 10. Alur Proses Sistem Elektrik

Mulai : Program dimulai dan *system* siap menerima input dari pengguna.

Push Button On : *Push button* On ditekan untuk memulai proses penggulangan.

Push Button Reset : Ditekan sebelum *Push button* On agar motor mulai dari hitungan awal yaitu 98 putaran motor atau sama dengan 1000 Pcs *barcode*.

Proximity jeda motor: Setelah tombol On ditekan *system* memeriksa status proximity jeda motor.

Jika proximity jeda motor tidak ditekan, motor akan menyala dan memulai proses penggulangan.

Jika proximity jeda motor ditekan, sistem akan memberikan jeda pada putaran motor sebelum melanjutkan proses.

Motor menyala dan Proximity Sensor : Saat motor menyala, sensor proximity mulai menghitung jumlah putaran atau jumlah *barcode* yang tergulung. Data ini digunakan untuk memastikan jumlah *barcode* yang digulung sesuai target.

Push Button OFF : Selama proses berjalan, operator dapat menekan tombol OFF untuk menghentikan motor kapan saja. Jika tombol OFF ditekan, motor akan langsung mati.

Jumlah Counter : Sistem secara otomatis memeriksa apakah jumlah *barcode* yang digulung sudah mencapai target (jumlah counter):

Jika sudah tercapai, motor akan berhenti secara otomatis.

Jika belum, proses penggulangan akan terus berjalan hingga jumlah tercapai atau tombol OFF ditekan.

Motor Mati : Motor akan mati baik karena tombol OFF ditekan oleh operator, atau karena jumlah *barcode* yang digulung sudah mencapai target yang ditentukan.

Looping: Setelah motor mati, sistem kembali ke kondisi awal dan siap untuk menerima perintah berikutnya.

G. Pengujian Fungsi

G.1 Persiapan Awal

Alat diletakkan pada posisi kerja yang stabil agar tidak terjadi pergeseran selama proses berlangsung. Daya listrik sebesar 12V DC disuplai melalui adaptor dan disambungkan ke sistem. *Barcode dummy* berupa kertas polos disisipkan ke poros penggulangan sebagai media simulasi gulungan. Sebelum alat dijalankan, konektivitas antara push button dan sensor proximity diperiksa untuk memastikan bahwa setiap komponen siap bekerja secara optimal.

G.2 Aktivasi Sistem

Pengujian dimulai dengan menekan Push Button *RESET* untuk mengatur ulang jumlah gulungan (*counter*) ke posisi awal, yaitu nol. Setelah itu, operator menekan Push Button ON untuk mengaktifkan sistem, yang membuat motor penggulangan mulai berputar dan proses penggulangan *barcode* dimulai secara otomatis.

G.3 Pengamatan Mekanik

Setelah sistem aktif, motor DC mulai memutar poros gulungan dengan kecepatan yang telah diatur. *Barcode* tergulung dengan stabil pada *roll* tanpa hambatan. Selama proses ini, tidak terlihat adanya getaran berlebih atau kemacetan pada sistem mekanik, yang menandakan bahwa semua komponen telah terpasang dan bekerja secara presisi.

G.4 Pengamatan Elektrik

Pada saat motor berputar, sensor proximity yang terpasang pada poros penggulung mendeteksi setiap keberadaan baut sebagai satu putaran penuh. Setiap sinyal deteksi dikirimkan ke mikrokontroler Arduino Uno untuk dihitung sebagai satu siklus penggulangan. Apabila poros yang digunakan sebagai tension menyentuh proximity ke 2 (proximity jeda motor) maka motor akan otomatis berhenti dan motor dapat berputar Kembali apabila poros sudah tidak menyentuh proximity tanpa harus menekan ulang push button ON. Sistem secara otomatis menaikkan jumlah *counter* hingga mencapai target yang ditentukan, yaitu 98 putaran yang mewakili 1.000 pcs *barcode* tergulung.

G.5 Fungsi Logika Otomatis

Setelah jumlah putaran mencapai angka target, Arduino Uno secara otomatis mengirimkan sinyal PWM ke driver motor untuk menghentikan rotasi motor. Sistem berhasil menghentikan penggulangan tanpa intervensi manual, menunjukkan bahwa logika program bekerja secara efektif dalam mengatur proses kerja alat.

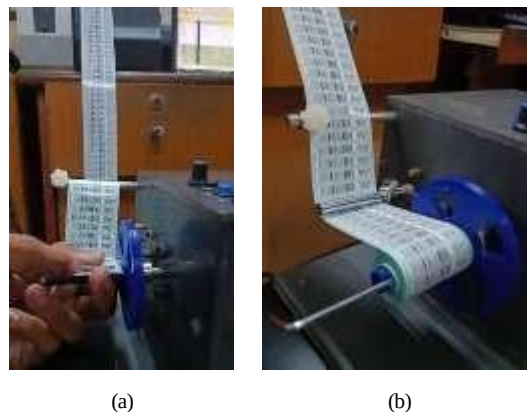
G.6 Tombol STOP (OFF)

Untuk alasan keamanan dan fleksibilitas, pengujian juga dilakukan dengan menekan push button OFF di tengah proses. Hasilnya, sistem langsung memutus daya ke motor dan menghentikan penggulangan secara instan. Fitur ini berfungsi sebagai kendali darurat jika operator ingin menghentikan proses kapan saja.

H. Integrasi Alat ke Proses

Alat bantu otomatis yang telah dirancang pada tahap sebelumnya kemudian diintegrasikan ke dalam proses penggulangan *barcode* di lingkungan kerja Departemen *Management Support*. Proses integrasi dilakukan dengan menempatkan alat pada posisi kerja operator sebelumnya, menggantikan aktivitas manual penggulangan *barcode*. Operator hanya perlu menekan tombol *start* untuk mengaktifkan sistem. Sensor proximity akan mendeteksi keberadaan *barcode*, dan motor DC akan memutar gulungan hingga proses selesai secara otomatis. Penggunaan alat ini bertujuan untuk mereduksi waktu kerja, meminimalkan kelelahan operator, serta meningkatkan efisiensi dan konsistensi hasil gulungan. Implementasi dilakukan pada kondisi kerja nyata untuk mengamati dampak langsung terhadap waktu proses dan kenyamanan kerja operator. Gambar 11 berikut memperlihatkan alat bantu penggulangan *barcode* otomatis saat digunakan di lokasi kerja yang sebenarnya. Gambar ini menunjukkan posisi alat pada meja kerja serta

bagaimana operator mengoperasikannya dalam kondisi kerja normal.



Gambar 11. Proses Otomatis (a) Proses Set Up (b) Proses Penggulangan

I. Time Study

Setelah alat bantu penggulangan *barcode* diimplementasikan, dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan waktu proses yang signifikan antara metode manual dan otomatis.



Gambar 12. Diagram Batang Perbandingan Waktu Proses Penggulangan

Rata-rata waktu proses manual adalah 183,7 detik, sedangkan waktu proses otomatis adalah 87,2 detik, sehingga terdapat selisih sebesar 96,5 detik. Artinya, penggunaan alat bantu otomatis berhasil mempercepat proses penggulangan *barcode* secara nyata dan bukan sekadar kebetulan.

Setelah implementasi alat, dilakukan pengukuran waktu dan pengujian statistik untuk memastikan efektivitas alat terhadap efisiensi proses.

Tabel 9. Perbandingan Efisiensi

No	Metode	Rata-rata Waktu	Jumlah Percobaan	Efisiensi (%)
1	Manual	183,7	30	-
2	Otomatis	87,2	30	52,5%

Setelah diperoleh data selisih waktu dari 30 kali pengukuran, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian normalitas terhadap data

tersebut. Uji normalitas diperlukan untuk menentukan apakah data berdistribusi normal sehingga layak untuk dianalisis menggunakan uji parametrik, seperti uji *paired sample t-test*. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Gambar berikut.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
Selisih	.143	30	.123	.974	30	.661

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 13. Hasil Uji Normalitas

Uji normalitas pada Gambar 14 dilakukan dengan metode *Shapiro-Wilk* karena jumlah sampel < 50 ($n = 30$). Hasil menunjukkan data berdistribusi normal, dengan nilai statistik (Selisih) = 0.661 ($p > 0.05$), $df = 30$. Dengan demikian, asumsi normalitas terpenuhi untuk analisis parametrik selanjutnya.

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua metode penggulangan yang diuji dalam penelitian ini.

Paired Samples Statistics					
	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Pair 1	Proses_Manual	183.77	30	18.889	3.488
	Proses_Otomatis	86.78	30	3.415	.624

Paired Samples Correlations				
	N	Correlation	Sig.	
Pair 1	Proses_Manual & Proses_Otomatis	30	-.114	.540

Paired Samples Test									
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Proses_Manual - Proses_Otomatis	97.067	18.959	3.534	89.838	104.295	27.464	28	.000

Gambar 14 Hasil Paired Sample t-Test

Berdasarkan hasil uji t yang ditampilkan pada Gambar 15, diperoleh nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,000. Nilai ini jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi yang digunakan ($\alpha = 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara waktu proses penggulangan secara manual dan otomatis, Maka H_0 ditolak. Hipotesis nol (H_0) : Tidak terdapat perbedaan signifikan waktu penggulangan antara metode manual dan otomatis. Sehingga H_1 diterima, yaitu Terdapat perbedaan signifikan waktu penggulangan antara metode manual dan otomatis. Selisih rata-rata waktu antara kedua proses sebesar 96,5 detik dengan interval kepercayaan 95% antara 89,838 hingga 104,295 detik. Nilai t hitung sebesar 27,464 dengan derajat kebebasan (df) 29 juga menunjukkan bahwa perbedaan ini sangat signifikan secara statistik. Untuk mempermudah pembaca dalam memahami perbedaan efisiensi antara kedua metode tersebut.

Untuk menjaga keberlanjutan perbaikan, dibuat SOP penggunaan alat yang mencakup pengecekan komponen, penggunaan tombol kendali, dan perawatan rutin. *Monitoring* dilakukan secara berkala setiap minggu untuk mengamati performa alat, termasuk waktu penggulangan dan respons sensor. Sistem *checklist* harian juga diterapkan untuk memastikan kondisi alat selalu optimal. Jika ditemukan deviasi lebih dari 10% terhadap rata-rata waktu ideal, maka dilakukan pengecekan dan kalibrasi sistem secara menyeluruh.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui tahapan perancangan alat, implementasi sistem kontrol, serta evaluasi efisiensi menggunakan pendekatan *Lean Six Sigma*, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang menjawab tujuan dan pertanyaan penelitian. Kesimpulan ini disusun berdasarkan hasil pengujian teknis dan analisis data terhadap proses sebelum dan sesudah penggunaan alat penggulangan *barcode* otomatis.

Perancangan desain mekanik alat penggulangan *barcode* dilakukan menggunakan software Solidworks untuk menghasilkan gambar teknik yang akurat dan sesuai kebutuhan proses kerja. Desain mencakup dudukan motor, rangka penopang, dudukan gulungan, serta pengaturan posisi sensor. Selain itu, dilakukan perhitungan mekanik seperti estimasi torsi motor dan kecepatan putaran untuk memastikan bahwa alat mampu menggulasi *barcode* dalam jumlah besar secara stabil. Hasil perancangan menunjukkan bahwa dimensi dan spesifikasi alat sesuai dengan kondisi kerja di lapangan.

Sistem kontrol alat penggulangan *barcode* semi otomatis berhasil dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor proximity, driver motor, dan push button sebagai input utama. Sensor proximity digunakan untuk mendeteksi keberadaan *barcode*, sementara logika program memungkinkan motor berputar secara otomatis hanya saat *barcode* tersedia. Sistem kontrol juga dilengkapi dengan kondisi *start/stop* yang memudahkan operator dalam menjalankan alat. Implementasi kontrol ini memungkinkan pengoperasian yang lebih efisien dan mengurangi kelelahan operator dibandingkan metode manual.

Analisis efisiensi kerja menggunakan metode *time study* menunjukkan perbedaan signifikan antara proses manual dan otomatis. Dari 30 kali pengukuran, rata-rata waktu penggulangan manual sebesar 183,7 detik dapat dikurangi menjadi 87,2 detik menggunakan alat yang telah dirancang. Uji statistik (uji t sampel berpasangan) menunjukkan

nilai signifikansi $p = 0,000$ ($p < 0,05$), yang berarti terdapat perbedaan signifikan. Dengan demikian, alat ini mampu meningkatkan efisiensi waktu sebesar 52,5%, membuktikan bahwa rancang bangun yang dilakukan memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas kerja.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. E. Setiawan, "The Thinking Process of Students Using Trial and Error Strategies in Generalizing Linear Patterns," *Numer. J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 4, pp. 1–12, 2022, doi: 10.25217/numerical.v4i1.839.
- [2] N. Elshahoupy and O. Khalifa Gnieber, "Six-sigma methodology its role in measuring and improving customer satisfaction at Alnoran Hotel, Libya," *Res. J. Manag. Manag. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 19–29, 2024.
- [3] Taufiqur Rohman, "Perancangan Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler Proportional Integral Derivative Pada Palang Pintu Parkir," p. 7, 2025.
- [4] M. A. G. Irawan, M. Ridwan, and A. Cahyono, "Modifikasi Desain Kontruksi Press Tread (Studi Kasus Building Machine Tire Motorcycle)," vol. 4, no. 1, pp. 5–14, 2021.
- [5] M. Luqman, B. Anggraheny, and A. Murtono, "Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter," vol. 23, no. 1, pp. 9–15, 2025, doi: 10.33795/eltek.v23i1.6656.
- [6] F. Mubina and A. Amir, "Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur," *J. Mek. Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–25, 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i1.4545.
- [7] D. Kee, "Systematic Comparison of OWAS , RULA , and REBA Based on a Literature Review," 2022.
- [8] Y. Ye, C. Zhang, C. He, X. Wang, J. Huang, and J. Deng, "A Review on Applications of Capacitive Displacement Sensing for Capacitive Proximity Sensor," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 45325–45342, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977716.
- [9] K. C. Hohmeier *et al.*, "The Lean Six Sigma Define, Measure, Analyze, Implement, Control (LSS DMAIC) Framework: An Innovative Strategy for Quality Improvement of Pharmacist Vaccine Recommendations in Community Pharmacy," *Pharmacy*, vol. 10, no. 3, p. 49, 2022, doi: 10.3390/pharmacy10030049.
- [10] K. M. Amin Khaitami *et al.*, "Desain Alat Bantu Troli Penggulung Selang Pemadam Kebakaran Semi Otomatis," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 29–36, 2022, [Online]. Available: <http://doi.org/10.5281/zenodo.6413354>
- [11] R. Ngizudin, H. Harmoko, and Ahmad Syauqi Naja, "Analisis Motion and Time Study pada Proses Produksi Briket Tempurung Kelapa," *J. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 208–218, 2024, doi: 10.31289/jime.v8i2.12923.