



PROPOSAL TUGAS AKHIR - EC234701

**ALAT PENGISI TOKEN LISTRIK MENGGUNAKAN
SISTEM 2-AXIS GANTRY BERBASIS IOT**

Rayhan Narindran Cendikia

NRP 5024211022

Dosen Pembimbing

Arta Kusuma Hernanda, S.T., M.T.

NPP 1996202311024

PEMBIMBING 2

NIP PEMBIMBING 2

Program Studi Strata 1 (S1) Teknik Komputer

Departemen Teknik Komputer

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



FINAL PROJECT PROPOSAL - EC234701

IOT BASED ELECTRICITY TOKEN FILLING TOOL USING 2-AXIS GANTRY SYSTEM

Rayhan Narindran Cendikia

NRP 5024211022

Advisor

Arta Kusuma Hernanda, S.T., M.T.

NPP 1996202311024

ADVISOR 2

NIP ADVISOR 2

Undergraduate Study Program of Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2024

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN

ALAT PENGISI TOKEN LISTRIK MENGGUNAKAN SISTEM 2-AXIS GANTRY BERBASIS IOT

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1

Teknik Komputer

Departemen Teknik Komputer

Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Rayhan Narindran Cendikia**

NRP. 5024211022

Disetujui Oleh:

Arta Kusuma Hernanda, S.T., M.T.

NPP: 1996202311024

(Pembimbing)

PEMBIMBING 2

NIP: NIP PEMBIMBING 2

(Ko-Pembimbing)

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Komputer ITS

Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., M.T.

NIP 19700313199512 1 001

SURABAYA

Mei, 2077

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ABSTRAK

ALAT PENGISI TOKEN LISTRIK MENGGUNAKAN SISTEM 2-AXIS GANTRY BERBASIS IOT

Nama Mahasiswa / NRP: Rayhan Narindran Cendikia / 5024211022

Departemen : Teknik Komputer ITS

Dosen Pembimbing : 1. Arta Kusuma Hernanda, S.T., M.T.

2. PEMBIMBING 2

Abstrak

Alat Pengisi Token Listrik Menggunakan Sistem 2-Axis Gantry berbasis IoT merupakan sebuah alat yang dapat digunakan untuk pengisian token listrik dari jarak jauh, bekerja menggunakan sistem gantry dan alat IoT untuk mengontrol dan menggunakan alat dari jauh, pengguna cukup memasukkan angka token listrik ke aplikasi web-view kemudian alat otomatis akan menekan tombol sesuai dengan token yang diberikan. Alat ini juga mempermudah pengguna untuk memonitoring pulsa pada meteran listrik dengan adanya kamera dan mikrofon yang dapat mengingatkan pengguna jika pulsa listrik sudah mulai habis.

Kata Kunci: *Alat, Token Listrik, Jarak Jauh*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ABSTRACT

IOT BASED ELECTRICITY TOKEN FILLING TOOL USING 2-AXIS GANTRY SYSTEM

Student Name / NRP: Rayhan Narindran Cendikia / 5024211022

Department : Computer Engineering ITS

**Advisor : 1. Arta Kusuma Hernanda, S.T., M.T.
2. PEMBIMBING 2**

Abstract

IoT Based Electricity Token Filling Tool Using 2-Axis Gantry System is a tool that can be used for charging electricity tokens remotely, working using a gantry system and IoT tools to control and use tools from afar, users simply enter the electricity token number into the web-view application then the tool will automatically press the button according to the token given. This tool also makes it easier for users to monitor the credit on the electricity meter with a camera and microphone that can remind users if the electricity credit has started to run out.

Keywords: *Tool, Electrical Token, Long Range*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah atau Ruang Lingkup	1
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu	3
2.2 Teori/Konsep Dasar	3
2.2.1 Internet of Things	3
2.2.2 Mikrokontroler ESP32	4
2.2.3 <i>Computer Numerical Control</i>	5
2.2.4 <i>Computer Assisted Design (CAD)</i>	8
2.2.5 Manufaktur Aditif (<i>3D Printing</i>)	9
2.2.6 Meteran Listrik Prabayar	14
3 METODOLOGI	15
3.1 Desain Prototipe	15
3.2 Manufaktur Prototipe	16

3.3	Implementasi Elektronik	18
3.4	Pemrograman Alat	19
3.5	<i>Testing</i> dan Perbaikan	20
4	HASIL YANG DIHARAPKAN	21
4.1	Hasil yang Diharapkan dari Penelitian	21
4.2	Hasil Pendahuluan	21
5	JADWAL PENELITIAN	23
	DAFTAR PUSTAKA	25

DAFTAR GAMBAR

2.1	Evolusi industri dunia [3]	4
2.2	<i>Pinout</i> dari SoC ESP32	5
2.3	Sistem gerak linear dengan sekrup dan mur	6
2.4	Sistem gerak liner dengan sistem <i>belt dan pulley</i>	6
2.5	Tipe - tipe servo motor	7
2.6	<i>Linear Movement Guide</i>	8
2.7	Rendering tiga dimensi dengan menggunakan <i>Computer Aided Design</i>	11
2.8	Alat 3D Printer dengan Teknologi FDM (<i>Fused Deposition Modelling</i>)	12
2.9	Alat 3D Printer dengan Teknologi SLA (<i>Stereolithography</i>)	12
2.10	Alat 3D Printer dengan Teknologi SLS (<i>Selective Laser Sintering</i>)	12
2.11	Meteran listrik Prabayar PLN	14
3.1	Blok Diagram Penelitian	15
3.2	Desain Prototipe Pertama	16
3.3	Desain Prototipe Kedua	16
3.4	file <i>.stl</i> yang diolah menggunakan <i>software Slicer</i>	17
3.5	Contoh manufaktur prototipe menggunakan <i>3D Printer</i>	18
3.6	Diagram hubungan komponen elektronik	18
3.7	Diagram hubungan program alat	19

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

5.1	Tabel timeline	23
-----	--------------------------	----

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi Industri 4.0 telah mendorong terciptanya berbagai inovasi dimana sangat mudah sekali untuk melakukan kontrol jarak jauh dengan adanya teknologi Internet of Things (IoT). Salah satu potensi yang dapat direalisasikan adalah otomatisasi pengisian token listrik Prabayar secara nirkabel dan berjarak, yang hingga saat ini masih perlu dilakukan secara fisik dan manual oleh manusia.

Listrik Prabayar menggunakan sistem token menjadi pilihan utama bagi banyak rumah tangga di Indonesia karena menawarkan kemudahan dalam mengatur konsumsi energi. Namun, proses pengisian token listrik ini masih memerlukan interaksi langsung dengan perangkat meteran, yang bisa menjadi kurang praktis terutama dalam kondisi tertentu, seperti ketika pengguna tidak berada di lokasi, membutuhkan pengisian mendesak, atau memiliki beberapa lokasi dengan listrik Prabayar yang butuh diisi secara mandiri. Untuk itu, diperlukan sebuah solusi yang memungkinkan pengisian token listrik dari jarak jauh.

Pada penelitian ini, dirancang sebuah alat pengisi token listrik otomatis berbasis sistem gantry 2-axis dan IoT, dimana dapat diatur secara nirkabel melalui aplikasi, yang memungkinkan pengisian token listrik secara otomatis dengan kendali jarak jauh. Sistem ini dibuat menggunakan stepper motor yang terhubung kepada sistem pergerakan linear yang menggerakkan penekan tombol listrik secara akurat, mikrokontroler ESP32 yang terhubung kepada Internet sebagai pusat kendali, dengan servo motor yang berfungsi untuk menekan tombol pada meteran listrik. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan fitur pemantauan pulsa listrik secara real-time dengan penggunaan kamera dan mikrofon yang memberikan notifikasi kepada pengguna saat sisa pulsa listrik mendekati batas minimum.

Dengan mengintegrasikan teknologi IoT, diharapkan alat ini dapat meningkatkan efisiensi dalam pengisian token listrik, mempermudah pengguna dalam mengontrol konsumsi energi, serta memberikan solusi yang lebih nyaman dan praktis dalam pengelolaan listrik Prabayar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hal yang telah dipaparkan di latar belakang, berikut adalah beberapa rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sebuah alat pengisi token listrik Prabayar yang dapat dioperasikan dari jarak jauh menggunakan teknologi IoT?
2. Bagaimana cara merancang sistem gantry 2-axis untuk mengotomatiskan proses pengisian token listrik dengan akurasi yang tinggi?
3. Bagaimana merancang mekanisme pemantauan sisa pulsa listrik yang dapat memberikan notifikasi secara real-time kepada pengguna saat pulsa mendekati batas minimum?
4. Bagaimana memastikan bahwa sistem pengisian token listrik ini bekerja secara efisien, handal, dan mudah dioperasikan melalui aplikasi mobile atau web?

1.3 Batasan Masalah atau Ruang Lingkup

Agar penelitian terfokus terhadap tujuan yang ingin diraih tanpa ada penyimpang, berikut adalah beberapa batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Sistem yang dirancang hanya digunakan untuk meteran listrik Prabayar yang menggunakan tombol fisik untuk memasukkan token.
2. Pengendalian alat dilakukan melalui koneksi internet menggunakan perangkat berbasis IoT, baik melalui aplikasi mobile maupun web.
3. Mekanisme gerakan pengisian token menggunakan sistem gantry 2-axis dengan servo sebagai alat penekan tombol.
4. Penelitian memiliki tujuan utama untuk pengisian dan monitoring token listrik, fitur diluar itu menjadi keluaran tambahan dari penelitian ini.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan alat pengisi token listrik Prabayar berbasis IoT yang dapat dioperasikan dari jarak jauh.
2. Merancang dan mengimplementasikan sistem gantry 2-axis untuk mengotomatisasi proses pengisian token listrik dengan akurasi yang tinggi.
3. Membuat sistem pemantauan pulsa listrik secara real-time yang dapat memberikan notifikasi kepada pengguna jika pulsa mendekati batas minimum.
4. Membangun aplikasi mobile/web yang memudahkan pengguna dalam mengontrol alat pengisi token dan memantau status pulsa listrik.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
 - Penelitian ini menjadi salah satu prasyarat untuk kelulusan penulis sebagai Sarjana Strata 1 (S1) dari Departemen Teknik Komputer Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
 - Sebagai pembelajaran untuk menambah wawasan mengenai sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang telah didalami selama menjadi mahasiswa Departemen Teknik Komputer.
2. Bagi Akademisi
 - Berkontribusi dalam pengembangan dan kemajuan teknologi dibidang Internet of Things, khususnya dibidang otomatisasi secara komersil.
 - Menjadi acuan sebagai penelitian selanjutnya mengenai otomatisasi bidang rumah tangga.
3. Bagi Masyarakat
 - Mempermudah pengisian listrik Prabayar secara otomatis dan dari jarak jauh tanpa diperlukan pengisian secara fisik.
 - Memberikan kemampuan monitoring dan notifikasi mengenai status pulsa listrik Prabayar, untuk mencegah pemutusan listrik secara mendadak.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil penelitian/perancangan terdahulu

Dari hasil kajian terhadap dua penelitian sebelumnya, terdapat beberapa poin penting yang menjadi acuan dan evaluasi untuk pengembangan alat dalam penelitian ini

1. Hasil Penelitian Samuel Manallang (2020)

Hasil penelitian Samuel Manallang (2020) yang berjudul *Robot Pengisi Nomor Token Listrik* ini mengembangkan sistem pengisian token listrik yang memanfaatkan 12 solenoid sebagai penggerak untuk menekan tombol pada meteran listrik. Meskipun sistem tersebut berhasil dalam pengisian token secara otomatis, alat yang dikembangkan memiliki beberapa kelemahan, terutama dari segi ukuran dan kompleksitas. Ukuran alat yang besar serta penggunaan banyak solenoid membuat alat ini tidak praktis untuk digunakan di rumah-rumah atau skala komersial yang membutuhkan solusi yang lebih kompak dan efisien. Selain itu, sistem ini memerlukan daya yang cukup besar untuk menggerakkan banyak solenoid secara bersamaan, sehingga tidak efisien dari segi konsumsi energi. Oleh karena itu, alat tersebut kurang layak untuk diadopsi secara komersial maupun di rumah tangga umum. [1]

2. Hasil Penelitian Danny Kurnianto, Aldi Wijaya, dan Muntaqo Alfin Amanaf (2022)

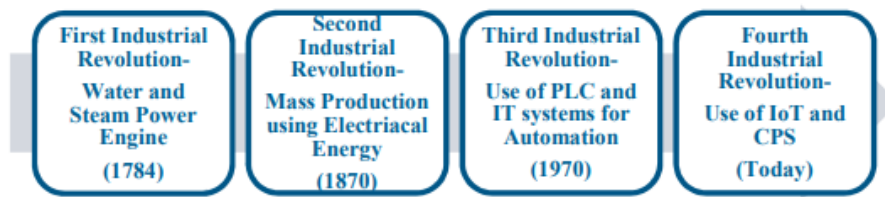
Hasil penelitian yang berjudul *Sistem Pengisian Token Listrik Jarak Jauh Berbasis IoT pada Alat Ukur Listrik Rumah* ini menggunakan meteran listrik khusus yang sudah dimodifikasi untuk memudahkan pengisian token secara otomatis. Meskipun alat ini lebih sederhana dan tidak memerlukan banyak komponen tambahan seperti solenoid, keterbatasan utama dari penelitian ini adalah ketergantungannya pada meteran listrik yang telah diubah. Modifikasi ini membuat alat tersebut sulit untuk diimplementasikan secara luas, terutama bagi pengguna listrik prabayar yang menggunakan meteran standar dari perusahaan penyedia listrik. Bagi masyarakat awam, menggunakan alat ini akan memerlukan penggantian meteran atau modifikasi yang tidak mudah dilakukan, sehingga mengurangi potensi adopsi alat ini di pasar. [2]

2.2 Teori/Konsep Dasar

2.2.1 Internet of Things

Internet of Things menjelaskan mengenai *Things* atau barang yang memiliki akses internet dengan identitasnya masing-masing (*UID* dan Alamat *IP*) yang dapat melakukan perpindahan data antarlokasi, baik jarak dekat maupun jauh. Alat *IoT* dapat terhubung ke Internet melalui kabel maupun nirkabel (*Wi-Fi*, *NFC*, dll). Selagi terhubung dengan Internet maka objek itu masuk ke dalam kategori *Internet of Things*, baik itu komputer, bola lampu, kunci pintu, dll.

Internet of Things merupakan sebuah konsep yang sangat esensial di zaman modern ini, karena dapat menghubungkan antara benda fisik dan benda digital yang memudahkan penggunaannya untuk berkomunikasi dengan sebuah produk digital dan juga sebaliknya, sehingga terbentuklah sebuah integrasi antara kedua dunia yang sangat intuitif. Saat ini *Internet of Things* menjadi salah satu faktor terjadinya revolusi di industri, yang disebut sebagai *Industry 4.0* sesuai pada gambar 2.1, yang mengedepankan inovasi menggunakan teknologi modern sebagai wahana untuk memanufaktur dan memproduksi dengan cara yang lebih efektif dan pintar.



Gambar 2.1: Evolusi industri dunia [3]

Data adalah output utama dalam implementasi *IoT*. Dimana fungsi *IoT* sebenarnya, dengan bantuan sensor dan konektivitas, adalah untuk mencari informasi melalui data yang didapatkan. Dimana data menjadi alasan terbentuknya informasi yang sempurna jika data tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik. Informasi sempurna inilah yang menjadi dasar pentingnya *IoT* pada dunia teknologi, informasi memungkinkan kita untuk mengambil keputusan dan mengatur berdasarkan informasi yang konkrit, sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan automasi dalam berbagai aspek untuk kehidupan yang lebih efisien. [4]

Pada dasarnya arsitektur *IoT* dibagi menjadi 3 bagian, yaitu lapisan *Application*, *Network*, dan *Perception* dimana *Application* atau aplikasi menjadi lapisan yang menyajikan data kepada pengguna juga berfungsi sebagai antarmuka dengan sistem *IoT*, *Network* atau lapisan jaringan menghubungkan perangkat *IoT* dengan jaringan internet sehingga dapat berkomunikasi dengan perangkat lainnya, dan terakhir adalah *Perception* atau lapisan persepsi bertugas untuk mengumpulkan data dari lingkungan tertentu dengan perangkat fisik melalui sensor dan aktuator.

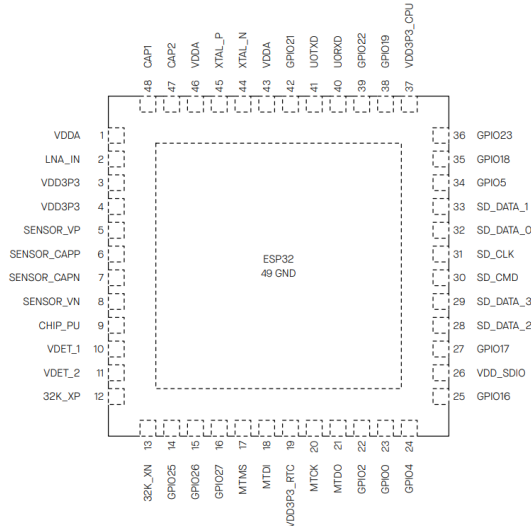
Namun pada penulisan baru dilakukan abstraksi pada arsitektur dasar dari *IoT* menjadi lima lapisan, lapisan tersebut dibagi menjadi *Business*, *Application*, *Service Management*, *Object Abstraction*, dan *Objects*. *Objects* atau lapisan objek sama seperti lapisan persepsi yang berfungsi untuk mengambil dan memproses data melalui sensor fisik, kemudian data yang telah diproses dikirim ke lapisan *Object Abstraction* atau lapisan abstraksi objek yang bertugas untuk mengirim data ke lapisan *Service Management* dengan berbagai protokol yang telah ditentukan di awal, baik itu *RFID*, *3G*, *WiFi*, *Bluetooth*, dll. Kemudian lapisan *Service Management* atau manajemen servis menghubungkan servis dengan pihak yang menggunakannya dengan menyamakan nama dan alamat sehingga dapat saling berkomunikasi dengan protokol jaringan. *Application* atau lapisan aplikasi menyediakan servis pada sistem *IoT* pada penggunaannya dalam bentuk antarmuka dengan cara yang intuitif sehingga dapat dimengerti dengan mudah oleh manusia. Terakhir adalah lapisan *Business* atau lapisan bisnis, yang mengatur secara keseluruhan sistem *IoT* mulai dari aktivitas dan servis yang disediakan. Lapisan ini juga bertanggungjawab untuk membuat model bisnis, grafik, *flowchart*, dll. sehingga memudahkan analisa dan pengembangan dari sistem *IoT* yang digunakan. [5]

2.2.2 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler *System on Chip (SOC)* oleh Espressif yang terintegrasi dengan *Wi-Fi* dan *Bluetooth*. ESP32 menggunakan prosesor 40nm Xtensa 32-bit dengan frekuensi 240Mhz, *RAM* sebesar 520KB, dan *ROM* sebesar 448KB. Prosesor yang digunakan ESP32 sangat rendah daya sehingga dapat digunakan dalam proyek dengan ukuran jejak yang kecil yang menggunakan baterai. Kapabilitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth* dari ESP32 juga memudahkan penggunaannya untuk mengembangkan sistem yang dapat berkomunikasi secara nirkabel. Dalam ranah *IoT*, ESP32 termasuk ke dalam lapisan objek atau persepsi, dimana ESP32 dapat digunakan sebagai alat fisik yang mengumpulkan data dengan bantuan sensor yang dapat di-

hubungkan melalui 30 *GPIO* (*General Purpose Input/Output*) yang ada pada ESP32. Aplikasi dari ESP32 tidak terbatas, dimana dapat diimplementasikan ekdalam sistem otomasi, *Wearable Devices*, sistem sensor jaringan, robotika, dan banyak lagi. [6]

Berikut adalah pin yang tersedia pada ESP32 SoC,



Gambar 2.2: *Pinout* dari SoC ESP32

Fungsi dari tiap pin bisa lebih dari satu, power pin yang ada pada ESP32 adalah sebagai berikut, dimana Vin adalah pin untuk memberikan daya dengan tegangan 5V - 12V, kemudian pin 3.3V yang digunakan untuk memberikan daya kepada perangkat eksternal, dan GND yang digunakan sebagai ground dari perangkat ESP32. Ada 40 pin *GPIO* pada ESP32 yang memiliki fungsi yang berbeda - beda. Pin GPIO 0-5 dan 12-33 memiliki fungsi digital input dan output dan pin 34-39 digunakan sebagai input saja, sedangkan pin 6-11 terhubung secara internal dalam ESP32. Beberapa dari pin ini juga memiliki fungsi lain seperti komunikasi UART, I2C, dan PWM juga beberapa pin yang digunakan sebagai *Analog to Digital Converter* dan *Digital to Analog Converter*. Fungsi - fungsi yang lengkap ini sangat membantu dalam pembuatan proyek yang bervariasi.

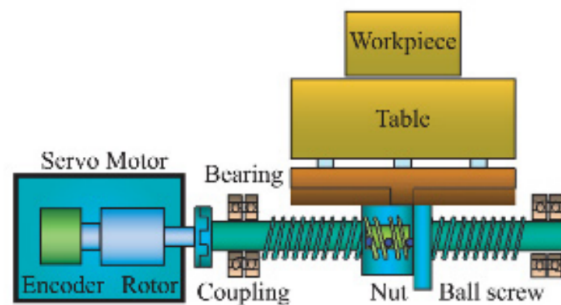
Beberapa modul koneksi nirkabel yang dapat diutilisasikan oleh ESP32 adalah Bluetooth dan Wi-Fi. Teknologi Bluetooth yang digunakan pada SoC ESP32 adalah versi 4.2 dengan *bandwidth* maksimum hingga 4 Mbps dan power transmisi sebesar +9 dBm juga sudah dapat terhubung ke lebih dari satu perangkat. Wi-Fi yang terintegrasi dalam ESP32 menggunakan frekuensi di 2.4GHz dengan protokol 802.11b/g/n yang dapat melakukan transmisi data hingga 150 Mbps. Salah satu protokol yang dapat digunakan dengan Bluetooth dan Wi-Fi pada ESP32 adalah protokol ESP-NOW, dimana protokol tersebut memungkinkan komunikasi antara perangkat ESP32 menggunakan daya dan *latency* yang rendah tanpa membutuhkan akses poin atau router. [7]

2.2.3 *Computer Numerical Control*

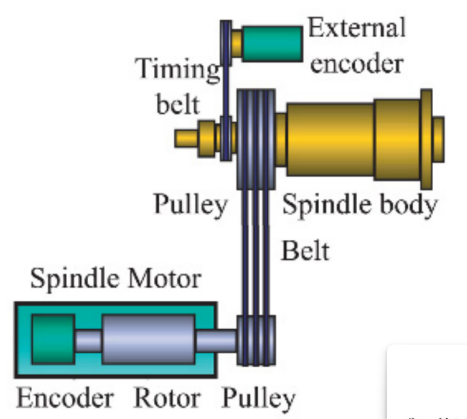
Mesin kontrol numerik adalah mesin yang diatur menggunakan perhitungan numerik untuk menjalankan suatu tujuan tertentu, mesin ini dibagi menjadi dua, yaitu mesin pemotong dan mesin non-pemotong. Mesing pemotong artinya mesing yang menghilangkan materi dari sebuah objek untuk menciptakan suatu bentuk tertentu, contoh dari mesin ini adalah mesin *milling* dan mesin bubut. Sedangkan mesin non-pemotong merubah bentuk dari sebuah objek dengan memberikan gaya kepada objek, contohnya adalah mesin pres. Sistem gerak pada robot juga

termasuk kedalam mesin non-pemotong. CNC atau *Computer Numerical Control* adalah sistem atau mesin kontrol numerik yang diatur dengan bantuan perhitungan komputer sehingga dapat dikontrol dengan akurasi dan efisiensi.

Mesin CNC merubah perhitungan dari sebuah sistem numerik dengan menggunakan mekanisme penggerak yang digerakkan oleh servo, dimana merupakan sebuah motor yang bergerak pada sebuah *axis* sesuai dengan perintah tertentu, namun pergerakan yang dilakukan oleh motor berbentuk pergerakan rotasi sehingga perlu diubah menjadi gerakan yang linear, ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengubah bentuk pergerakan tersebut, yang pertama adalah dengan menggunakan *coupling* dan *ball screw*, seperti pada gambar 2.3, dimana sekrup akan berputar sesuai dengan perputaran motor dan mur yang terletak pada sekrup akan bergerak secara linier. Cara kedua adalah menggunakan sistem *belt dan pulley*, seperti pada gambar 2.4, yang mengubah pergerakan rotasi dari servo motor menjadi gerakan linier pada sabuk yang terpasang dalam sistem.

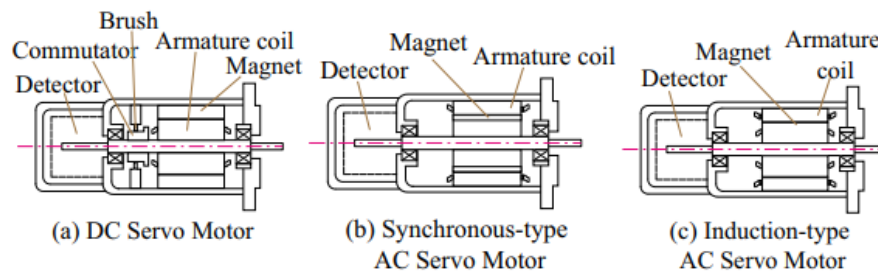


Gambar 2.3: Sistem gerak linear dengan sekrup dan mur



Gambar 2.4: Sistem gerak liner dengan sistem *belt dan pulley*

Ada beberapa jenis yang dapat digunakan sebagai motor penggerak dalam sistem *CNC*, yaitu servo motor DC, servo motor AC sinkronus, dan servo motor AC induksi, sesuai dengan gambar 2.5.



Gambar 2.5: Tipe - tipe servo motor

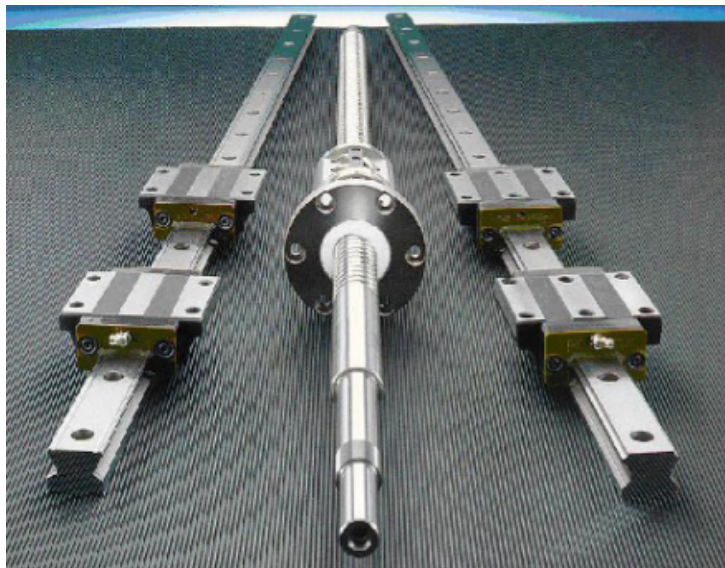
Servo motor DC, seperti pada gambar 2.5a, merupakan motor yang terbuat dari yang stator terdiri dari bingkai silinder, yang berperan sebagai jalur untuk fluks magnetik dan pendukung mekanis, dan magnet, yang dipasang ke bagian dalam bingkai. Rotor terdiri dari poros dan sikat. Komutator dan rangka penyangga logam rotor (inti rotor) dipasang pada bagian luar poros dan angker dililitkan pada rangka penyangga logam rotor. Sikat yang memasok arus melalui komutator dibuat dengan kumparan jangkar. Di bagian belakang poros, detektor untuk mendeteksi kecepatan rotasi terpasang pada rotor. Servo motor AC sinkronus merupakan servo yang terbuat dari stator yang terdiri dari rangka silinder dan inti stator. Inti stator terletak di dalam rangka dan kumparan jangkar dililitkan di sekitar inti stator. Ujung kumparan dihubungkan dengan kabel utama dan arus disediakan dari kabel utama. Rotor terdiri dari poros dan magnet permanen dan magnet permanen dipasang di bagian luar poros. Pada motor servo AC tipe sinkron, magnet dipasang ke rotor dan kumparan jangkar dililitkan di sekitar stator tidak seperti motor servo DC. Oleh karena itu, suplai arus dimungkinkan dari luar tanpa stator dan motor servo AC tipe sinkron disebut “motor servo *brushless*” karena karakteristik struktural ini. Karena struktur ini memungkinkan untuk mendinginkan inti stator langsung dari luar, maka dimungkinkan untuk menahan peningkatan suhu. Terakhir ada motor servo AC induksi, dimana struktur motor servo AC tipe induksi identik dengan motor induksi pada umumnya. Jika arus bolak-balik multi-fase mengalir melalui kumparan stator, arus diinduksi dalam kumparan rotor dan arus induksi menghasilkan torsi. Pada motor servo AC jenis ini, stator terdiri dari rangka, inti stator, kumparan jangkar, dan kawat timah. Rotor terdiri dari poros dan inti rotor yang dibangun dengan konduktor.

Kemudian dalam sistem CNC juga terdapat enkoder, yaitu perangkat yang mendeteksi posisi saat ini untuk kontrol posisi, umumnya, dibangun di ujung poros transmisi daya. Untuk mengontrol kecepatan, kecepatan dideteksi oleh sensor atau dihitung oleh data kontrol posisi yang terdeteksi dari encoder. Metode untuk mendeteksi kecepatan menggunakan encoder, cara menghitung pulsa yang dihasilkan dalam satuan waktu dan sarana untuk mendeteksi interval antara pulsa bersama. Ada dua macam jenis enkoder, yaitu optikal dan magnetik. Bagian deteksi encoder tipe magnetik berbeda dengan encoder tipe optik, tetapi kedua jenis encoder ini menghasilkan sinyal output dengan cara yang sama.

Kemudian ada *resolver* dan *speed sensor*, *resolver* adalah detektor sudut dan posisi rotasi dan digunakan sebagai sensor motor. Tidak seperti encoder yang menghasilkan sinyal output dalam format digital, *resolver* menghasilkan output dalam format analog. *Resolver* terdiri dari stator, rotor, dan trafo rotasi. Kumparan stator dan rotor disusun untuk membuat distribusi fluks magnetik menjadi gelombang sinus sehubungan dengan sudut. *Resolver* memiliki struktur yang mirip dengan motor dan tidak peka terhadap getaran dan guncangan mekanis. Selain itu, karena outputnya adalah sinyal analog, maka transmisi sinyal jarak jauh dan miniaturisasi perangkat dimungkinkan. Namun demikian, sirkuit pemrosesan sinyal rumit dan perangkat ini lebih mahal

daripada rotary encoder. Sedangkan *speed sensor* sesuai namanya adalah sensor kecepatan dalam suatu sistem CNC.

Selain motor dan sensor, ada tiga komponen penting lainnya dalam sebuah sistem CNC yaitu *Linear Movement Guide*, *Coupling*, dan *Control Loop*. *Linear Movement Guide* merupakan sebuah komponen fisik yang digunakan sebagai jalur untuk sistem CNC fungsi dari komponen ini adalah memastikan pergerakan dalam sistem tetap akurat dan baik. *Linear Movement Guide* terdiri dari rel pemandu berbentuk M dan bagian pemindahan. *Bearing* berada di antara rel pemandu dan bagian pemindahan dan pelumas disuplai ke permukaan rel *Linear Movement Guide* untuk mengurangi gesekan saat bagian pemindahan bergerak. Berikut pada gambar 2.6 adalah contoh dari *Linear Movement Guide*.



Gambar 2.6: *Linear Movement Guide*

Coupling atau kopling merupakan merupakan salah satu komponen mesin CNC yang menghubungkan poros motor servo dengan sekrup bola. Ketika sekrup bola dan motor servo disambungkan, bagian tengah porosnya harus identik. Namun, dalam praktiknya, ini sangat sulit. Untuk alasan ini, kopling harus dirancang agar tidak sensitif terhadap pusat rotasi yang tidak sejajar. Dan *Control Loop* merupakan rangkaian kontrol yang dilakukan terhadap mesin CNC, kontrol ini dilakukan secara kontinuis sehingga pergerakan yang dilakukan oleh mesin CNC akurat. Kontrol ini dapat dilakukan dengan akurat dengan menggunakan sensor dan motor yang menjadi komponen utama dari CNC.

Sistem CNC dapat diatur dengan menggunakan instruksi yang diberikan secara program, instruksi ini dinamakan sebagai *G-Code* yang disiapkan sebelum mesin CNC berfungsi. Kode ini berisi lintasan, kecepatan, dan posisi alat dalam koordinat X, Y, dan Z. Kontrol yang sudah terprogram tersebut akan dioperasikan kepada *Driving Motor* dan sensor pada sistem CNC. [8]

2.2.4 *Computer Assisted Design (CAD)*

CAD atau *Computer Assited Design* adalah sistem yang digunakan untuk drafting, desain, simulasi, analisis, dan manufaktur sebuah produk. CAD biasanya digunakan untuk proyek teknik. Sistem CAD memiliki beberapa aplikasi dalam penggunaannya, yang pertama dan utama yaitu **modul geometris** atau pemanfaatan representasi geometri yang tepat, di mana model dibuat menggunakan entitas dasar seperti titik, garis, kurva, dan bentuk 3D. salah satu konsep kunci dalam CAD adalah pemodelan parametrik, yang memungkinkan pengguna mendefin-

isikan dimensi sebagai parameter yang dapat dengan mudah diubah, sehingga desain dapat diperbarui secara otomatis tanpa harus menggambar ulang secara manual. Dengan pendekatan ini, perubahan dalam satu bagian desain secara otomatis memperbarui bagian lain yang terkait, menjaga konsistensi dan efisiensi. Kemudian ada **modul aplikasi** yaitu kemampuan sistem CAD untuk menghasilkan tidak hanya sebuah model, namun sebuah objek yang fungsional yang dapat direalisasikan ke dunia nyata dengan bantuan alat eksternal, dan sistem tersebut harus dapat melakukan kalkulasi dan simulasi yang akurat sehingga dapat menjadi visualisasi yang baik dari produk akhir. **Modul pemrograman** menyediakan kemampuan untuk melakukan pemrograman dengan bahasa pemrograman tertentu terhadap produk yang dihasilkan sehingga desain dapat menyesuaikan hasil secara detail sesuai keinginan penggunanya. Terakhir adalah **modul komunikasi** dan **modul kolaborasi**, modul komunikasi sangat penting dalam proyek yang membutuhkan berbagai alat dalam pengerjaannya, baik itu secara perangkat keras maupun perangkat lunak, sebuah sistem CAD harus dapat berkomunikasi dengan alat lainnya agar tercipta ekosistem desain dan manufaktur yang baik dan mudah dilakukan, sedangkan modul kolaborasi merupakan sesuatu yang berkembang sejak adanya internet, dimana sebuah desain dapat dikerjakan secara kolaboratif dengan bantuan internet.

Beberapa contoh perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) yang banyak digunakan di berbagai industri adalah AutoCAD, SolidWorks, dan Fusion 360, yang masing-masing memiliki keunggulan dan perbedaan khusus dalam fitur dan aplikasi yang ditawarkan. AutoCAD, yang dikembangkan oleh Autodesk, merupakan salah satu perangkat lunak CAD paling populer yang dikenal karena fleksibilitasnya dalam pembuatan gambar 2D dan model 3D. Perangkat lunak ini sering digunakan di bidang arsitektur, konstruksi, dan teknik sipil untuk merancang rencana struktur dan infrastruktur yang membutuhkan presisi tinggi, dengan antarmuka yang dirancang untuk memudahkan proses penggambaran teknis. Di sisi lain, SolidWorks adalah perangkat lunak CAD berbasis parametrik yang banyak digunakan dalam teknik mesin dan desain produk, terutama untuk perancangan komponen mekanik yang kompleks. SolidWorks menonjol dalam simulasi dan analisis desain, seperti analisis tegangan, dinamika fluida, dan optimasi desain, yang memungkinkan insinyur menguji kinerja model sebelum diproduksi. Perangkat lunak ini juga mendukung perakitan produk yang rumit dengan fitur-fitur seperti perakitan bergerak dan analisis beban, yang sangat berguna dalam pengembangan produk mekanis. Sementara itu, Fusion 360, yang juga merupakan produk Autodesk, menawarkan pendekatan inovatif dengan platform berbasis cloud yang memungkinkan kolaborasi real-time dan pengintegrasian fitur-fitur untuk pemodelan parametrik, simulasi, dan manufaktur aditif. Fusion 360 cocok untuk perancangan produk dan pembuatan prototipe karena menggabungkan desain, simulasi, dan proses manufaktur dalam satu antarmuka yang efisien. Perbedaan utama antara perangkat lunak ini terletak pada fokus penggunaannya: AutoCAD lebih fleksibel untuk berbagai jenis desain umum dan lebih banyak digunakan dalam bidang konstruksi, SolidWorks unggul dalam simulasi dan desain mekanik yang memerlukan analisis kinerja, sementara Fusion 360 menawarkan kemudahan kolaborasi berbasis cloud dan integrasi manufaktur yang ideal untuk proses pengembangan produk yang cepat dan kolaboratif. [9]

2.2.5 Manufaktur Aditif (3D Printing)

Manufaktur aditif adalah istilah formal untuk apa yang sering disebut sebagai pembuatan *Rapid Prototyping* dan *3D Printing*. *Rapid Prototyping (RP)* adalah proses untuk membuat representasi sistem atau bagian dengan cepat sebelum dirilis atau dikomersialkan. Dengan kata lain, penekanannya adalah menciptakan sesuatu dengan cepat, di mana hasilnya adalah prototipe atau model dasar yang nantinya akan menjadi model lanjutan dan, pada akhirnya, menjadi produk yang siap dipasarkan. Konsep manufaktur aditif ini direalisasikan melalui proses *lay-*

ering, di mana pembuatan komponen melibatkan penggunaan lapisan-lapisan 2-dimensi yang diperoleh dari perpotongan model 3D, yang kemudian ditumpuk secara berurutan untuk membentuk struktur akhir. Hampir semua teknologi manufaktur aditif mengikuti prinsip ini, yaitu membuat komponen dengan menambahkan material lapis demi lapis secara presisi. Lapisan-lapisan ini dapat bervariasi dalam ketebalan, tergantung pada teknologi yang digunakan. Dengan pendekatan manufaktur berbasis lapisan ini, proses pembuatan prototipe dapat dipercepat dan biaya pengembangan dapat dikurangi, sehingga sangat bermanfaat dalam inovasi produk dan pengembangan iteratif.

Aplikasi dari manufaktur aditif telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, terutama karena kemampuan teknologi ini untuk menciptakan visualisasi produk yang sedang dikembangkan dengan lebih efektif dan intuitif. Model fisik yang dihasilkan oleh manufaktur aditif menawarkan keuntungan yang signifikan dibandingkan dengan gambaran 2-dimensi atau *rendering* 3-dimensi yang biasa digunakan dalam proses desain. Keunggulan utama dari model fisik adalah kemudahan dalam pemahaman oleh penggunanya, yang dapat mempelajari dan mengevaluasi bentuk dan fitur produk dengan lebih akurat. Peningkatan yang konsisten dalam kualitas manufaktur aditif, yang mencakup akurasi geometrik, keanekaragaman material, dan kecepatan produksi, telah memungkinkan teknologi ini digunakan dalam berbagai pengujian yang lebih kritis. Produk yang dihasilkan kini dapat dievaluasi berdasarkan tiga kriteria utama, yaitu *Form*, *Fit*, dan *Function*. *Form* mengacu pada kriteria yang memastikan bahwa model fisik yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan bentuk estetika dan fungsi dasar dari produk yang direncanakan. Kriteria ini sangat penting untuk menentukan apakah produk secara visual dan fisik memenuhi harapan awal yang diinginkan. Selanjutnya, ada kriteria *Fit*, yang berfokus pada akurasi dimensi dan toleransi dari komponen yang diproduksi. Komponen ini harus sesuai dengan spesifikasi desain untuk memastikan bahwa mereka dapat dirakit dengan sempurna ke dalam sistem yang lebih besar tanpa adanya celah atau masalah lain yang dapat mempengaruhi kinerja produk. Uji *Fit* sering kali mencakup pengukuran presisi yang sangat ketat, karena kesalahan kecil dalam dimensi dapat menyebabkan masalah dalam perakitan. Kriteria terakhir adalah *Function*, yang menguji apakah produk atau komponen yang dihasilkan memiliki material dan karakteristik fungsional yang sesuai dengan tujuan akhir desain. Aspek ini memastikan bahwa produk dapat bertahan dalam kondisi lingkungan nyata, seperti tekanan, suhu, atau gaya mekanis, yang mungkin dihadapi selama penggunaannya. Pengujian *Function* sering kali mencakup simulasi kondisi dunia nyata untuk memverifikasi bahwa performa produk tidak hanya sesuai secara fisik tetapi juga secara operasional, menjadikan manufaktur aditif alat yang sangat fungsional dalam proses iteratif pengembangan produk.

Prinsip dasar dari teknologi ini adalah bahwa sebuah model, yang awalnya dibuat dengan menggunakan sistem *Computer-Aided Design* (CAD) tiga dimensi, dapat difabrikasi secara langsung tanpa memerlukan perencanaan proses. Meskipun pada kenyataannya tidak sesederhana kedengarannya, teknologi manufaktur aditif tentu saja secara signifikan menyederhanakan proses produksi objek 3D yang kompleks secara langsung dari data CAD. Proses manufaktur lainnya memerlukan analisis yang cermat dan terperinci dari geometri bagian untuk menentukan hal-hal seperti urutan fitur yang berbeda yang dapat dibuat, alat dan proses apa yang harus digunakan, dan perlengkapan tambahan apa yang mungkin diperlukan untuk menyelesaikan bagian tersebut. Sebaliknya, manufaktur aditif hanya membutuhkan beberapa detail dimensi dasar dan sedikit pemahaman tentang cara kerja mesin manufaktur aditif dan bahan yang digunakan untuk membuat komponen. Kunci dari cara kerja manufaktur aditif adalah bahwa komponen dibuat dengan menambahkan material secara berlapis-lapis; setiap lapisan merupakan penampang tipis dari komponen yang berasal dari data CAD asli. Tentunya dalam dunia fisik, setiap lapisan

harus memiliki ketebalan yang terbatas sehingga bagian yang dihasilkan akan menjadi perkiraan dari data asli, seperti yang diilustrasikan oleh gambar 2.7. Semakin tipis setiap lapisan, semakin dekat bagian akhir dengan aslinya. Semua mesin manufaktur aditif yang dikomersialkan hingga saat ini menggunakan pendekatan berbasis lapisan, dan perbedaan utamanya terletak pada bahan yang dapat digunakan, bagaimana lapisan dibuat, dan bagaimana lapisan diikat satu sama lain. Perbedaan tersebut akan menentukan faktor-faktor seperti keakuratan bagian akhir serta sifat material dan sifat mekanisnya. Perbedaan tersebut juga akan menentukan faktor-faktor seperti seberapa cepat komponen dapat dibuat, berapa banyak pasca-pemrosesan yang diperlukan, ukuran mesin manufaktur aditif yang digunakan, dan biaya keseluruhan mesin dan proses.



Gambar 2.7: Rendering tiga dimensi dengan menggunakan *Computer Aided Design*

Seperti yang sudah dijelaskan diatas, manufaktur aditif secara keseluruhan menggunakan pendekatan sama yaitu dengan berbasis lapisan, namun dapat diklasifikasikan sesuai dengan teknologi yang digunakan untuk menghasilkan tiap lapisan tersebut. Jenis dari manufaktur aditif sangat banyak, namun pada umumnya yang sering digunakan adalah *SLA*, *SLS*, dan *FDM*. *SLA* atau *Stereolithography* atau yang disebut juga sebagai *Vat Photopolymerisation* adalah salah satu bentuk dari manufaktur aditif yang memanfaatkan sinar laser ultraviolet yang dapat menyebabkan material tertentu (seperti resin) berubah menjadi sebuah polymer yang mengeras sehingga menghasilkan sebuah objek 3-dimensi. *SLS* atau *Selective Laser Sintering* juga sebuah teknik manufaktur aditif yang menggunakan laser, namun laser yang digunakan merupakan laser dengan suhu tinggi yang dapat menyebabkan material tertentu (nilon atau polyamida) yang awalnya berbentuk bubuk, saling mengikat satu sama lain karna suhu tinggi tersebut sehingga dapat mengeras yang dilakukan dari tiap lapisan - lapisan dengan tinggi tertentu dan menghasilkan sebuah objek. Terakhir adalah *FDM* atau *Fused Deposition Modelling* adalah teknik manufaktur aditif yang menggunakan bahan plastik yang dipanaskan pada suhu tertentu (sesuai dengan jenis plastik yang digunakan) untuk menghasilkan sebuah bentuk tertentu, kemudian berbagi bentuk - bentuk ini ditumpuk sehingga menghasilkan barang 3-dimensi.

Berikut adalah beberapa contoh dari alat - alat manufaktur aditif



Gambar 2.8: Alat 3D Printer dengan Teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*)



Gambar 2.9: Alat 3D Printer dengan Teknologi SLA (*Stereolithography*)



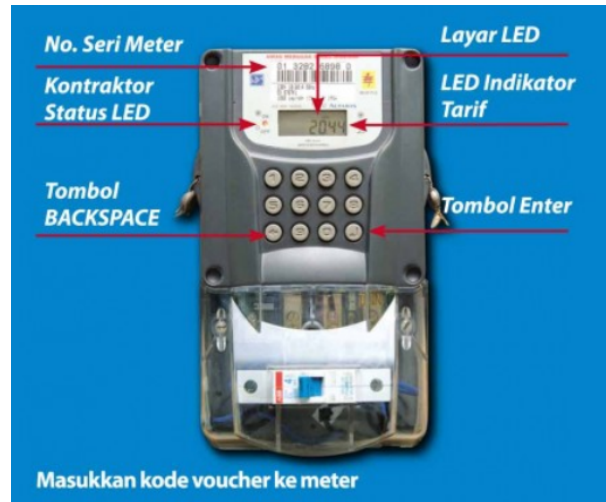
Gambar 2.10: Alat 3D Printer dengan Teknologi SLS (*Selective Laser Sintering*)

Secara luas manufaktur aditif memiliki banyak kesamaan dengan teknologi mesin CNC. Dimana merupakan sebuah alat yang menghasilkan produk menggunakan bantuan komputer. Perbedaan utama dari kedua teknik ini adalah teknik yang digunakan dimana alat CNC utamanya menggunakan teknik subtraktif yang membutuhkan sebuah blok material tertentu untuk menghasilkan sebuah produk dengan desain yang telah ditentukan. Namun ada beberapa hal lainnya yang lebih rinci yang dapat membedakan kedua teknik manufaktur ini, yaitu material, kecepatan, kompleksitas, akurasi, geometri, dan pemrograman. Secara material teknologi manufaktur aditif pada awalnya dikembangkan di sekitar bahan polimer, lilin, dan laminasi kertas. Selanjutnya, diperkenalkan bahan komposit, logam, dan keramik. Pemesinan CNC dapat digunakan untuk bahan lunak, seperti papan serat kepadatan menengah (MDF), busa yang dapat dikerjakan dengan mesin, lilin yang dapat dikerjakan dengan mesin, dan bahkan beberapa polimer. Secara kecepatan, Pemesinan CNC pada umumnya dapat membuang material jauh lebih cepat

daripada mesin manufaktur aditif dapat menambahkan volume material yang sama. Namun, ini hanya sebagian dari gambaran, karena teknologi manufaktur aditif dapat digunakan untuk memproduksi komponen dalam satu tahap. Mesin CNC memerlukan penyiapan dan perencanaan proses yang cukup banyak, terutama karena komponen menjadi lebih kompleks dalam geometrinya. Secara kompleksitas, semakin tinggi kompleksitas geometris, semakin besar keunggulan teknik manufaktur aditif dibandingkan CNC. Jika CNC digunakan untuk membuat bagian secara langsung dalam satu bagian, maka mungkin ada beberapa fitur geometris yang tidak dapat dibuat. Karena alat pemesian harus dibawa dalam spindel, mungkin ada kendala aksesibilitas atau benturan tertentu yang mencegah alat tersebut ditempatkan pada permukaan pemesian suatu bagian. Proses AM tidak dibatasi dengan cara yang sama dan *undercut* serta fitur internal dapat dengan mudah dibuat secara mudah tanpa perencanaan proses yang spesifik. Bagian-bagian tertentu tidak dapat dibuat dengan CNC kecuali jika dipecah menjadi beberapa komponen dan dipasang kembali pada tahap selanjutnya. Secara akurasi, mesin manufaktur aditif pada umumnya beroperasi dengan resolusi beberapa puluh mikron. Biasanya mesin AM juga memiliki resolusi yang berbeda di sepanjang sumbu ortogonal yang berbeda. Biasanya, sumbu build vertikal sesuai dengan ketebalan lapisan dan ini akan memiliki resolusi yang lebih rendah dibandingkan dengan dua sumbu pada *build plate*. Sedangkan akurasi pada mesin CNC, utamanya ditentukan oleh resolusi pemosisian yang serupa di sepanjang ketiga sumbu ortogonal dan oleh diameter alat potong putar. Ada beberapa faktor yang ditentukan oleh geometri pahat, seperti jari-jari sudut internal, tetapi ketebalan dinding bisa lebih tipis daripada diameter pahat karena ini adalah proses subtraktif. Dalam kedua kasus tersebut, detail yang sangat halus juga akan menjadi fungsi dari geometri dan sifat material yang diinginkan. Secara geometri, mesin manufaktur aditif pada dasarnya memecah masalah 3D yang rumit menjadi serangkaian penampang 2D sederhana dengan ketebalan nominal. Dengan cara ini, koneksi permukaan dalam 3D dihilangkan dan kontinuitas ditentukan oleh seberapa dekat kedekatan satu penampang dengan penampang yang berdekatan. Karena hal ini tidak dapat dengan mudah dilakukan dalam CNC, pemesian permukaan biasanya harus dibuat dalam ruang 3D. Terakhir secara pemrograman, urutan pemrograman untuk mesin CNC bisa sangat rumit, termasuk pemilihan pahat, pengaturan kecepatan mesin, posisi dan sudut pendekatan, dll. Banyak mesin manufaktur aditif juga memiliki opsi yang harus dipilih, tetapi kisaran, kerumitan, dan implikasi seputar pilihannya sangat minim jika dibandingkan. [10]

2.2.6 Meteran Listrik Prabayar

Meteran Listrik Prabayar atau yang disebut sebagai Listrik Pintar, sesuai gambar 2.11 merupakan alat yang dikeluarkan oleh PT. PLN dimana pembayaran listrik yang awalnya dilakukan diakhir pemakaian dan dihitung oleh PLN sekarang dilakukan dengan mengisi token secara prabayar sehingga pengguna bisa mengatur seberapa banyak listrik yang digunakan dengan lebih mudah.



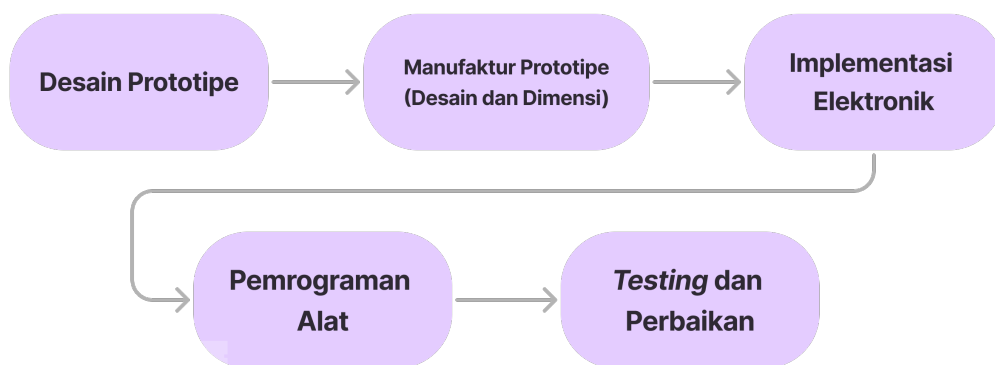
Gambar 2.11: Meteran listrik prabayar PLN

Mengisi token dapat dilakukan dengan cara membeli token melalui gerai ATM atau melalui loket pembayaran tagihan listrik online lainnya. Token atau pulsa listrik ini terdiri dari 20 digit angka yang dimasukkan kedalam kWh meteran khusus dari PLN. Token ini setelah dimasukkan akan berbentuk kWh yang dapat dilihat di meteran listrik dengan nilai yang telah ditentukan ketika membeli token.

Beberapa kelebihan yang dimiliki meteran listrik prabayar dibanding meteran tradisional ini adalah kemudahan untuk membeli token, monitoring dari meteran listrik yang lebih mudah, dan dapat privasi yang lebih terjaga. Dan jika energi listrik yang tersimpan di meteran sudah hampir habis, maka meteran akan memberikan sinyal awal suara agar segera dapat dilakukan pengisian ulang.

BAB 3 METODOLOGI

Berikut, pada gambar 3.1, adalah blok diagram dari penelitian yang dilakukan, yang secara besar terdiri dari 5 tahap.

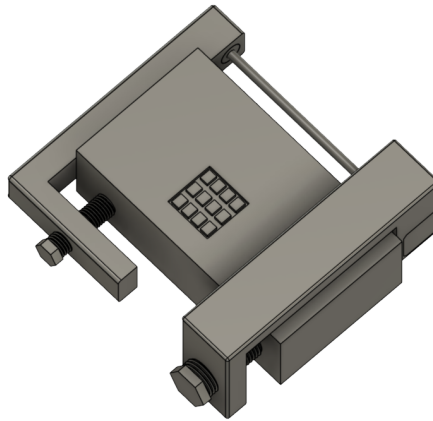


Gambar 3.1: Blok Diagram Penelitian

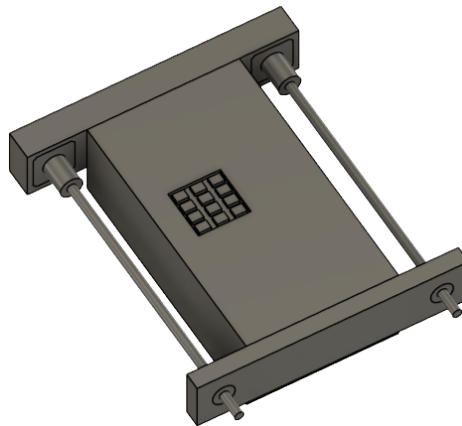
3.1 Desain Prototipe

Desain diawali dengan menggambar kasar secara digital menggunakan *software Goodnotes* pada *iPad*, memastikan desain yang akan dibuat sesuai dengan kebutuhan, fungsionalitas yang diinginkan, dan ukuran yang sesuai. Desain prototipe kemudian dilanjutkan dalam bentuk *3D Modelling* dengan bantuan *software Computer Assisted Design* atau yang sering disebut sebagai *CAD*. Aplikasi yang akan penulis gunakan dalam penelitian ini adalah *Autodesk Fusion 360*. Dengan *software* ini, penulis dapat menghasilkan gambar teknik yang lebih rinci dan detail, sehingga dapat dijadikan acuan dalam proses manufaktur. Juga *software* ini dapat melakukan export file dalam format *.stl* yang dapat digunakan dalam proses manufaktur menggunakan *3D Printer*.

Ada beberapa desain yang telah dibuat, sesuai pada gambar 3.2 dan gambar 3.3, desain ini dibuat sehingga dapat menyesuaikan dengan meteran listrik prabayar yang biasa terpasang di rumah-rumah secara *universal*. Dengan desain yang menggunakan *clamp* sehingga dapat menyesuaikan dengan ukuran alat meteran listrik prabayar yang berbeda-beda.



Gambar 3.2: Desain Prototipe Pertama



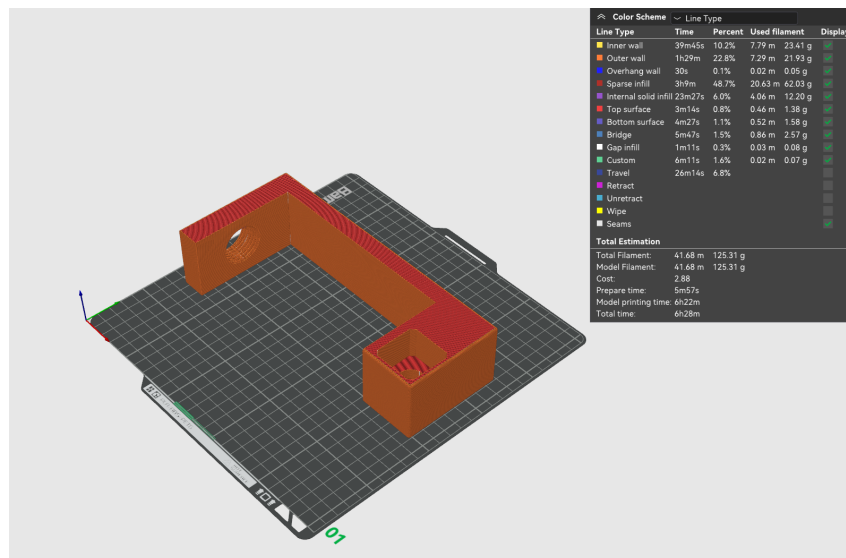
Gambar 3.3: Desain Prototipe Kedua

Desain diatas merupakan protipe yang belum final, dimana masih memerlukan beberapa perbaikan, juga bagian pergerakan horizontal (sumbu-x) masih belum diimplementasikan.

3.2 Manufaktur Prototipe

Manufaktur prototipe dilakukan menggunakan bantuan *3D Printer* dengan merek *Bambulab A1*. Penulis menggunakan *3D Printer* ini karena dilengkapi dengan fitur yang sangat lengkap, beberapa dari fitur tersebut adalah sistem *AMS Lite* yaitu merupakan sistem yang dapat mengatur perubahan material yang digunakan secara lebih mudah sehingga dapat menggabungkan beberapa material atau warna yang berbeda dalam satu cetakan, kemudian ada fitur *Auto Bed Leveling* yang dapat mengatur keseimbangan *bed plate* dari *3D Printer* secara otomatis memastikan cetakan yang dihasilkan lebih rata dan presisi. Fitur lainnya yang sangat membantu dalam manufaktur adalah beberapa sensor yang terpasang pada *3D Printer*, diantaranya adalah sensor *filament runout* yang dapat memberikan notifikasi ketika *filament*, habis, kemudian sensor *filament tangle* yang dapat memberikan notifikasi ketika *filament* terjebak atau terlilit, dan masih banyak lagi fitur lainnya. Fitur - fitur tersebut sangat membantu dalam proses manufaktur prototipe yang butuh pengulangan yang cukup banyak, sehingga penulis dapat memfokuskan waktu pada tahap desain dan pengujian.

Proses manufaktur diawali dengan menghasilkan file *.stl* dari desain yang telah dibuat menggunakan *Autodesk Fusion 360*, kemudian file tersebut diolah menggunakan *software Slicer*, sesuai pada gambar 3.4, yang memotong model 3D menjadi beberapa lapisan dan menyatakan perintah sehingga dapat dicetak oleh *3D Printer*. Penulis menggunakan *software Bambu Studio* yang dapat diakses melalui *cloud* yang terhubung dengan *3D Printer*. File *.stl* tersebut merupakan representasi dari objek 3 dimensi yang dibuat dari lapisan-lapisan 2 dimensi, yang dimana dijadikan sebagai acuan sesuai dengan lokasi tertentu oleh *3D Printer* untuk mencetak objek tersebut. Kemudian file tersebut diunggah ke *cloud* yang terhubung dengan *3D Printer*, kemudian *3D Printer* akan membaca file tersebut dan mencetak objek tersebut.



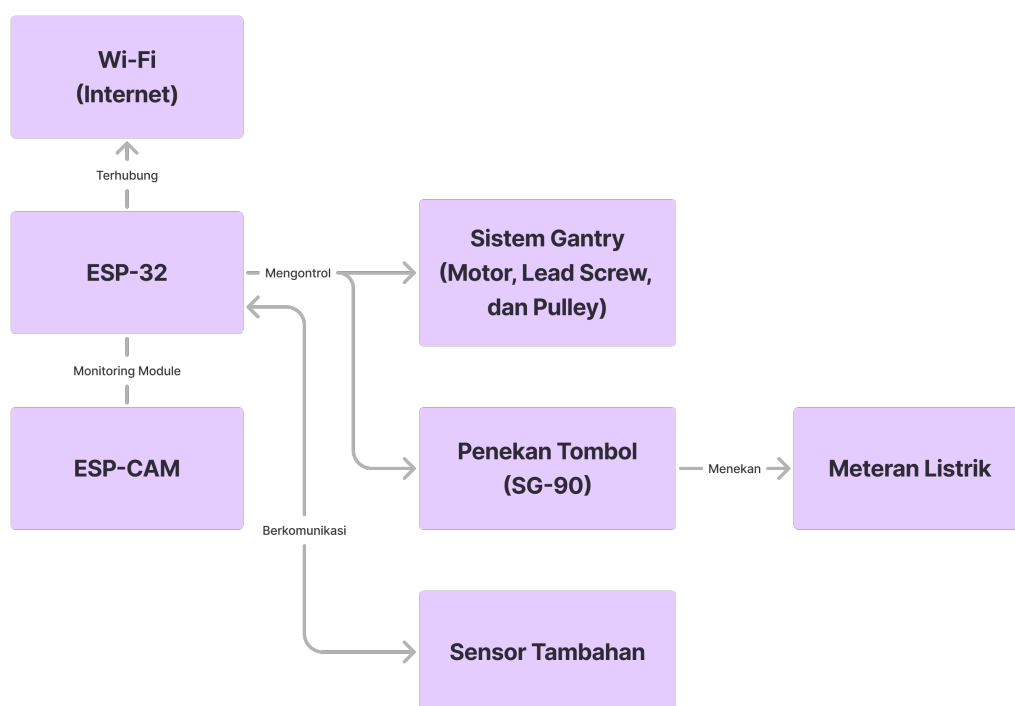
Gambar 3.4: file *.stl* yang diolah menggunakan *software Slicer*

Hasil dari manufaktur prototipe dan implementasinya tertera pada gambar 3.5, dimana prototipe tersebut masih dalam tahap pengujian dan perbaikan, namun dapat menjadi visualisasi dan representasi yang baik untuk hasil produk akhir. Material yang digunakan dalam manufaktur prototipe adalah *PLA* atau *Polylactic Acid*, material ini digunakan karena harga nya yang terjangkau, mudah dicetak, dan cukup kuat untuk digunakan sebagai prototipe. Namun, material ini memiliki kekurangan yaitu tidak tahan terhadap panas dan suhu tinggi, sehingga tidak dapat digunakan dalam lingkungan yang memiliki suhu tinggi. Sebagai alternatif material yang digunakan adalah *PETG* atau *Polyethylene Terephthalate Glycol*, material ini memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap suhu tinggi, kuat, dan tahan terhadap benturan, namun material ini memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan *PLA* dan lebih sulit untuk dicetak.



Gambar 3.5: Contoh manufaktur prototipe menggunakan *3D Printer*

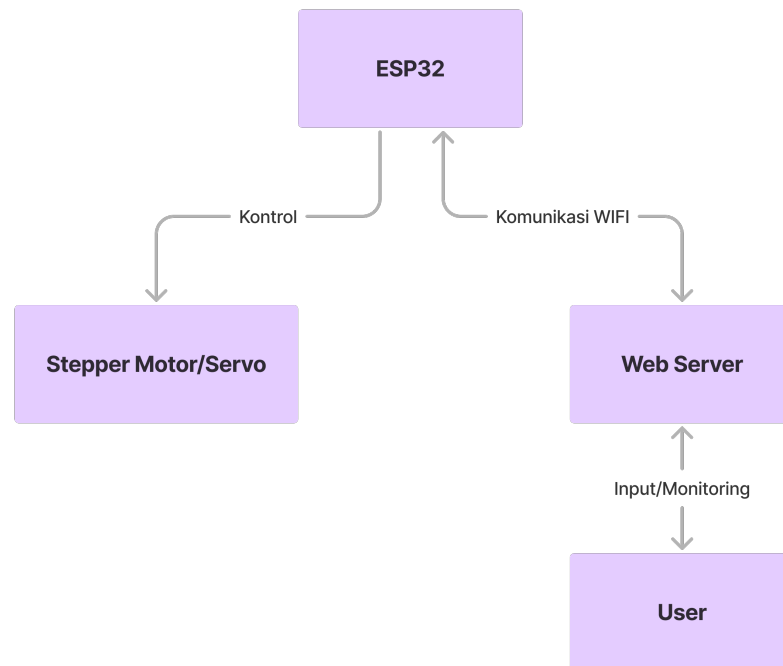
3.3 Implementasi Elektronik



Gambar 3.6: Diagram hubungan komponen elektronik

Ada beberapa komponen elektronik yang digunakan dalam penelitian ini sesuai pada gambar 3.6, beberapa diantaranya adalah mikrokontroler *ESP32* akan diprogram untuk menjalankan seluruh pergerakan dari alat, baik dari pergerakan vertikal, horizontal, maupun penekanan tombol dari meteran listrik. *ESP32* juga akan terhubung ke internet melalui Wi-Fi sehingga pengguna dapat mengontrol alat dari jarak jauh. Kemudian motor yang digunakan adalah motor *stepper* NEMA-14 untuk pergerakan horizontal dan vertikal yang dikontrol menggunakan *motor driver* DRV8825, motor ini digunakan karena ukurannya yang kecil dan cukup kuat untuk menggerakkan alat, salah satu motor tersebut akan dihubungkan ke *lead-screw* dan sekrupnya yang juga dibantu dengan *guide rail* MGN12, yang menjadi penggerak vertikal utama dari alat, dan motor lainnya akan terhubung ke sistem *pulley* yang menjadi penggerak horizontal dari alat. kemudian motor *servo* SG-90 untuk penekanan tombol pada meteran listrik, motor ini digunakan karena ukurannya yang kecil dan cukup kuat dengan *torque* 1.98 kg/cm. Kemudian akan digunakan juga ESP-CAM sebagai sarana monitoring jarak jauh dari alat, ESP-CAM ini digunakan karena kemampuannya yang dapat mengirimkan data melalui jaringan *Wi-Fi*. Penulis juga berencana untuk menggunakan beberapa sensor tambahan, seperti sensor jarak ultrasonik, yang difungsikan sebagai sarana kalibrasi dan pengukuran jarak dari alat ke meteran listrik, memastikan penggunaan alat dapat akurat dan presisi. Namun, sensor ini masih dalam tahap pengujian sehingga belum diimplementasikan dalam prototipe. Kemudian baterai lithium-ion akan digunakan sebagai sumber daya dari alat, sehingga alat dapat dipasang secara portabel tanpa perlu terhubung ke sumber listrik AC.

3.4 Pemrograman Alat



Gambar 3.7: Diagram hubungan program alat

Pemrograman alat dilakukan dengan menggunakan *Arduino IDE* langsung menuju ESP32, kemudian komponen listrik seperti motor stepper dan servo akan diatur menggunakan *library* yang sudah disediakan oleh *Arduino IDE*. Beberapa dari *library* yang digunakan adalah *AccelStepper.h* untuk motor stepper (yang terhubung ke driver motor), *Servo.h* untuk motor servo, dan *WiFi.h* untuk koneksi internet.

Secara garis besar, algoritma yang digunakan diawali dengan memastikan koneksi internet terhubung dan dapat berkomunikasi dengan *web interface*, kemudian dilakukan kalibrasi dari motor stepper dan servo memastikan jarak maksimum dari masing masing motor dan posisi angka dari meteran listrik, untuk kalibrasi pergerakan vertikal dan horizontal dapat digunakan tombol yang menentukan titik maksimum dan minimum dari posisi alat, sedangkan kalibrasi posisi tombol dapat dilakukan dari *web interface* secara manual, memastikan alat dapat digunakan di berbagai meteran listrik prabayar. kemudian pengguna memberikan input melalui *web interface*/aplikasi yang terhubung ke ESP32, dan ESP32 akan menggerakkan motor stepper dan servo sesuai dengan input yang diberikan.

Web interface dari alat berisikan dua fungsi utama, yaitu input dan monitoring, pada bagian input user dapat memasukkan token yang telah mereka beli, kemudian input tersebut akan dikirimkan melalui jaringan internet ke ESP32, kemudian ESP32 akan menggerakkan motor servo untuk menekan tombol pada meteran listrik, kemudian pada bagian monitoring, user dapat melihat menggunakan kamera yang terpasang pada ESP32 untuk memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik dan dapat melihat sisa kWh yang tersisa pada meteran listrik.

3.5 Testing dan Perbaikan

Setelah alat atau prototipe alat selesai dibuat, dilakukan *testing* untuk memastikan alat dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan, beberapa tes yang dilakukan adalah memastikan bahwa alat dapat bergerak secara vertikal dan horizontal dengan baik dan mulus, kemudian memastikan bahwa kalibrasi dari alat dapat berjalan dengan baik. Alat juga harus dipastikan dapat menekan tombol dengan akurat dalam banyak percobaan sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama tanpa perlu banyak perbaikan atau kalibrasi ulang. Kemudian alat juga harus dipastikan dapat berkomunikasi dengan *web interface* dengan baik, sehingga pengguna dapat melakukan input dan monitoring tanpa ada gangguan. Jika terdapat kesalahan atau kekurangan, maka dilakukan perbaikan dan pengulangan dari tahap *testing* hingga alat dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan dari penelitian.

BAB 4 HASIL YANG DIHARAPKAN

4.1 Hasil yang Diharapkan dari Penelitian

Dari penelitian yang akan dilakukan, diharapkan alat yang dihasilkan dapat mempermudah proses pengisian token listrik pada meteran Prabayar secara otomatis dan nirkabel. Alat ini dirancang agar mampu menekan tombol-tombol pada meteran listrik dengan presisi tinggi, sesuai dengan angka yang dimasukkan melalui aplikasi kontrol melalui aplikasi web atau *mobile*. Selain itu, alat ini diharapkan dapat dipasang secara fleksibel pada berbagai model meteran listrik Prabayar, tanpa memerlukan modifikasi besar pada perangkat meteran listrik Prabayar yang sudah ada.

Dengan dilengkapi sistem kamera dan mikrofon, alat ini juga memungkinkan pengguna untuk memverifikasi keberhasilan proses pengisian token secara visual dan auditori, serta memastikan token yang dimasukkan telah diterima dengan benar. Alat ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu dalam pengisian token tetapi juga memberikan kenyamanan dan keandalan bagi pengguna dalam memastikan proses berjalan tanpa gangguan. Dalam jangka panjang, alat ini dapat menjadi solusi yang hemat energi dan dapat diandalkan dalam pengelolaan listrik Prabayar berbasis IoT.

4.2 Hasil Pendahuluan

Sampai saat ini, pembuatan alat pengisi token listrik dalam tahapan perancangan desain dan implementasi hardware, memastikan bahwa desain dan struktur dari alat dapat memenuhi kebutuhan secara berat dan tetap mempertahankan presisi dari alat, desain juga sangat penting untuk memastikan alat terlihat baik secara estetika dan ergonomis.

Secara perangkat keras, penggerak vertikal dengan komponen stepper motor, lead screw, dan coupling sudah terpasang dan sudah bisa bergerak secara vertikal, sistem ini dibantu dengan adanya guide rail yang dapat meningkatkan presisi dan mempermudah pergerakan dari load alat, dimana bagian ini akan mengerakkan bagian alat yang bergerak secara horizontal serta bagian yang akan menekan tombol pada meteran listrik Prabayar. Selain itu, alat sudah bisa mengontrol motor vertikal dengan menggunakan program dengan menggunakan stepper motor driver TB6600 selama proses pengembangan dan akan diganti dengan stepper motor driver yang lebih kecil dan lebih hemat energi. Berikut adalah gambar dari hasil sementara dari alat yang dibuat.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5 JADWAL PENELITIAN

Tabel 5.1: Tabel timeline

Kegiatan	Minggu															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Perancangan desain alat																
Implementasi hardware																
Pemrograman alat																
Evaluasi alat																

Pada *timeline* yang tertera di Tabel 5.1 di atas, terdapat 4 kegiatan komponen utama yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Perancangan desain alat

Perancangan alat dilakukan pada minggu pertama hingga minggu kedua, dimana saat ini perancangan alat sudah berjalan sehingga hanya membutuhkan sedikit perubahan pada desain alat yang sudah ada.

2. Implementasi hardware

Untuk implementasi hardware, dilakukan pada minggu ketiga hingga minggu delapan, dimana saat ini alat sudah bisa bergerak secara vertikal dan sudah bisa dikontrol, selanjutnya akan dilakukan implementasi hardware untuk bagian yang bergerak secara horizontal dan bagian yang akan menekan tombol pada meteran listrik prabayar. Tahap ini membutuhkan waktu yang panjang untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik juga digunakan waktu tersebut untuk *troubleshooting* dan menyesuaikan desain sesuai kebutuhan dari hardware yang digunakan

3. Pemrograman alat

Pemrograman alat dilakukan pada minggu kesembilan hingga minggu ke-14 dimana saat ini alat tahap pemrograman sampai pada tahap perputaran stepper motor secara vertikal yang diprogram menggunakan Arduino IDE dan library AccelStepperMotor. Selanjutnya program akan dikembangkan sehingga pergerakan yang dilakukan dapat dikontrol dengan lebih presisi juga dengan bantuan limit switch untuk kalibrasi dan melakukan limit pada pergerakan vertikal. Kemudian dilanjutkan dengan pemrograman terhadap pergerakan horizontal dan penekanan tombol pada meteran listrik prabayar.

4. Evaluasi alat

Tahap terakhir adalah evaluasi dari alat dimana memastikan program dan hardware dapat bekerja satu sama lain sesuai dengan harapan keluaran penelitian, dimana tahap ini menjadi tahap iteratif yang akan dilakukan hingga alat dapat bekerja dengan baik.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Manullang, "Robot pengisi nomor token listrik," *Pustaka Politeknik Caltex Riau*, 2020.
- [2] D. Kurnianto, A. Wijaya, and M. A. Amanaf, "Sistem pengisian token listrik jarak jauh berbasis iot pada alat ukur listrik rumah," *Jurnal TELKA UIN*, 2022.
- [3] S. Vaidyaa, P. Ambadb, and S. Bhosle, "Industry 4.0 – a glimpse," *ScienceDirect*, 2018.
- [4] S. Greengard, *The Internet of Things*. The MIT Press, 2015.
- [5] A. A.-F. amd Mohsen Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols and applications," *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2015.
- [6] Espressif, *Introduction to esp32*, Diakses 14 Oktober 2024, 2024. [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/get-started/index.html>.
- [7] Espresssif, *Esp32 series datasheet*, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf, Diakses 20 Oktober 2024, 2024.
- [8] S.-H. Suh, S.-K. Kang, D.-H. Chung, and I. Stroud, *Theory and Design of CNC Systems*. Springer, 2008.
- [9] I. Zeid, *Mastering CAD/CAM*. McGraw Hill, 2002.
- [10] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*. Springer, 2020.