

Rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan ESP32 untuk Media Pratikum Di Laboratorium Teknologi Listrik

Heri Dermawan¹, Normansyah², Sy. Ishak Alkadri³, Rachmad Hidayat⁴

Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Ketapang

Jl. Ranga Sentap-Dalong, Telp: (0534)303686

heridarmawan@politap.ac.id¹, normansyah@politap.ac.id², sy.ishakalkadri@politap.ac.id³

ABSTRACT

PCB (Printed Circuit Board) dissolving is the process of removing the copper layer on a PCB to produce a pattern of conductive paths. On a hobby scale, this process is often done manually, takes a long time and involves repetitive physical work. By designing a control system on a PCB dissolving machine, the dissolving process can be made more efficient. An automated system will automate most of the steps in the dissolving process, reducing the time required and increasing operational efficiency. An automated control system will provide more accurate and consistent dissolving results than manual processes, reducing human error and improving product quality. In addition, this system allows for better monitoring and control of dissolving parameters such as time and solvent concentration. The influence of PCB dimensions on the dissolving process can also be minimized by automatic adjustment, ensuring uniform and optimal results on various PCB sizes. The etching process or what can also be called the PCB (printed circuit board) screen printing process, is the process of making conductor paths to connect the components on the board. Removing copper used as a path takes a long time and patience. In order for copper to dissolve with FeCl_3 (ferric chloride) solution, the printed PCB must be moved in the container.

The discussion results indicate that the design of the automatic PCB etching device based on ESP32, a 12 V DC motor, relay, and PWM controller is capable of improving the efficiency of the etching process compared to the manual method. Testing on a 5×5 cm PCB using a FeCl_3 solution (35.8 g/300 ml) showed a reduction in etching time from 27 minutes (Low speed) to 6.48 minutes (Mid speed), while at High speed no significant improvement was observed (6.46–6.48 minutes). These findings suggest the existence of an optimum agitation point, where increasing speed beyond this threshold no longer accelerates the etching kinetics, but instead potentially increases energy consumption and mechanical wear. From an electromechanical perspective, the estimated power requirements and torque ($P \approx 10.9\text{--}72\text{ W}$; $T \approx 0.086\text{--}0.573\text{ Nm}$ at 1200 rpm) are consistent with the performance needed to generate stable vertical motion through a crank mechanism, guided by hinges/rails to maintain linear movement and uniform distribution of the etchant.

Keywords: PCB Etching, Etching Process, Ferric Chloride, Agitation, Automation.

ABSTRAK

Pelarutan PCB (Printed Circuit Board) adalah proses menghilangkan lapisan tembaga pada PCB untuk menghasilkan pola jalur konduktif. Pada skala hobi, proses ini sering dilakukan secara manual, memakan

waktu lama dan melibatkan pekerjaan fisik yang berulang. Dengan merancang sistem kontrol pada mesin pelarut PCB, proses pelarutan dapat menjadi lebih efisien. Sistem otomatis akan mengotomatisasi sebagian besar langkah-langkah dalam proses pelarutan, mengurangi waktu yang dibutuhkan dan meningkatkan efisiensi operasional. Sistem kontrol otomatis akan memberikan hasil pelarutan yang lebih akurat dan konsisten dibandingkan proses manual, mengurangi kesalahan manusia dan meningkatkan kualitas produk. Selain itu, sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang lebih baik terhadap parameter pelarutan seperti waktu dan konsentrasi pelarut. Pengaruh dimensi PCB terhadap proses pelarutan juga dapat diminimalkan dengan penyesuaian otomatis, memastikan hasil yang seragam dan optimal pada berbagai ukuran PCB.

Hasil pembahasan menunjukkan bahwa rancangan alat pelarut PCB otomatis berbasis ESP32, motor DC 12 V, relay, dan pengendali PWM mampu meningkatkan efisiensi proses etching dibanding metode manual. Pengujian pada PCB 5×5 cm dengan larutan FeCl_3 35,8 g/300 ml memperlihatkan penurunan waktu pelarutan dari 27 menit (kecepatan Low) menjadi 6,48 menit (kecepatan Mid), sementara pada kecepatan High tidak terjadi perbaikan berarti (6,46–6,48 menit). Temuan ini mengindikasikan adanya titik optimum agitasi, di mana peningkatan kecepatan di atas ambang tersebut tidak lagi mempercepat kinetika pelarutan, tetapi berpotensi meningkatkan konsumsi energi dan keausan mekanis. Secara elektromechanic, estimasi kebutuhan daya dan momen puntir ($P \approx 10,9\text{--}72\text{ W}$; $T \approx 0,086\text{--}0,573\text{ Nm}$ pada 1200 rpm) konsisten dengan performa yang diperlukan untuk menghasilkan gerak naik–turun stabil melalui mekanisme engkol, yang dipandu engsel/rel untuk menjaga linearitas gerak dan keseragaman distribusi pelarut

Kata kunci : Pelarutan PCB, Etching, Larutan Ferit Klorida, Agitasi.

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu lembaga Pendidikan tinggi Politeknik Negeri Ketapang menyelenggarakan Pendidikan dan Pelatihan dalam bidang Pengetahuan dan Teknologi, yang diharapkan mampu menghasilkan lulusan yang terampil, Professional dan siap kerja sesuai dengan bidangnya. Dalam perkuliahan tidak hanya kuliah dalam bentuk teori tetapi juga kuliah dalam bentuk Praktikum, terutama di Program Studi Teknologi Listrik.

Perkembangan teknologi elektronika semakin hari semakin bertambah maju. Dalam dunia industri, elektronika memegang peranan penting dalam proses produksi. Seiring dengan lajunya percepatan teknologi, membuat banyak orang menjadi termotivasi untuk membuat sesuatu hal yang baru, sesuatu yang dapat dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan suatu sistem yang mudah dioperasikan. Dalam perkembangan teknologi manusia terus berusaha untuk memperbaharui atau menciptakan suatu metode ataupun suatu mesin yang diharapkan mampu mempermudah manusia dalam setiap sektor. Printed Circuit Board atau disingkat PCB merupakan komponen yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika, mulai dari aplikasi industri-industri besar, sampai aplikasi dilingkungan pendidikan, misalnya pada sekolah menengah kejuruan (SMK) dan universitas yang berhubungan

dengan elektronika. PCB memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan papan circuit penyusun komponen elektronika yang lain. Luasnya penggunaan PCB dalam dunia elektronika maka banyak dilakukan berbagai penelitian untuk mengurangi penggunaan waktu dalam melarutkan PCB dengan hasil maksimal dan baik untuk mencetak desain yang diinginkan, serta memberikan tingkat keamanan pada manusia yang tidak bersentuhan langsung dengan zat kimia yang berbahaya.

Dari beberapa permasalahan tersebut timbul ide dan gagasan untuk membuat alat mesin pelarut PCB otomatis. Mesin pelarut PCB otomatis ini nantinya mampu melarutkan PCB secara kontinyu dan menjaga suhu panas yang stabil, lanjut mendeteksi PCB yang sudah terlarut atau belumnya secara bertahap dan otomatis, setelah PCB sudah dipastikan terlarut pindah lagi ke proses mencuci, setelah dicuci pindah lagi ke proses mengeringkan PCB, sehingga disini peran manusia hanya melihat dan memonitor kerja mesin. Mesin pelarut PCB ini nantinya mampu meningkatkan efisiensi dan nilai guna. Dalam proses pembuatan software bahasa program yang digunakan adalah Bascom-AVR untuk membuat perintah dalam Mikrokontroler Atmega

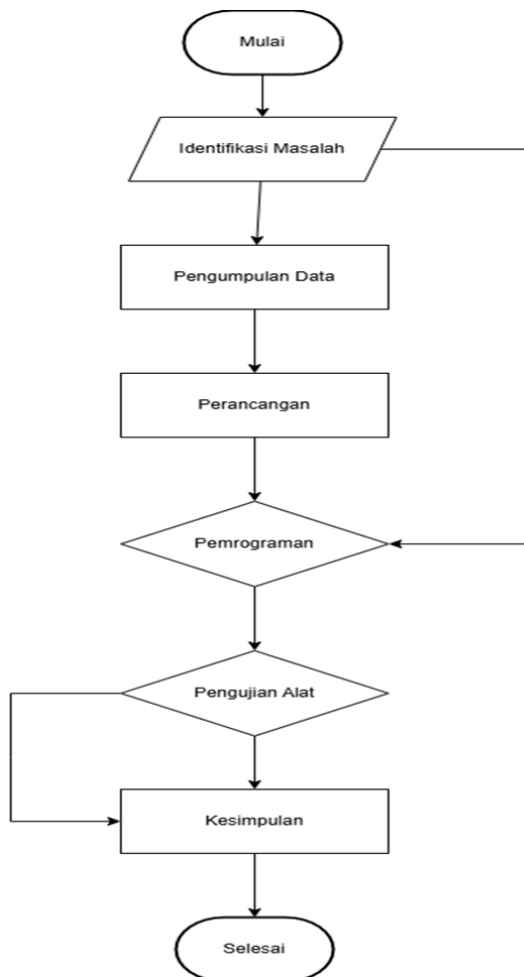
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Listrik, dengan alamat Jalan Jl. Rangge Sentap, Dalong Desa Sukaharja

Kecamatan Delta Pawan Kabupaten Ketapang
Provinsi Kalimantan Barat Kode Pos 78112



Dalam Proses perancangan untuk menyelesaikan Proyek Akhir (PA) penulis membuat Diagram Alir Penelitian (Flowchart) sebagai petunjuk dalam pembuatan dan penyelesaian Alat yang dibuat yaitu Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan Arduino R3 Untuk Media Pratikum Di Laboratorium Teknologi Listrik. Langkah-langkah dalam Diagram Alir adalah sebagai berikut:



Untuk memperjelas maksud dan tujuan yang terdapat di dalam diagram alir yang ada di atas maka dibuatlah penjelasan sederhana mengenai diagram alir tersebut. Penjelasan dari diagram alir tersebut akan dibahas secara

sederhana dan mudah dimengerti didalam pembahasan berikut:

A. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan langkah penting dalam melakukan suatu Proyek Akhir (PA) yang berjudul Rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan ESP32 Untuk Media Pratikum Di Laboratorium Teknologi Listrik. Proses ini berfungsi untuk mengetahui permasalahan yang terjadi dan Kebutuhan apa yang diperlukan di Laboratorium tersebut sehingga proses Rancang Bangun Alat Pelarut PCB bisa diterapkan dalam Proyek Akhir (PA).

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses yang dilakukan untuk mengumpulkan bahan-bahan yang diperlukan untuk rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan ESP32 Untuk Media Pratikum Di Laboratorium Teknologi Listrik. Maka metode yang diperlukan dalam pengumpulan data ini diantaranya:

a. Observasi merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung di lapangan, mengenai permasalahan yang ditinjau. Pada proses ini biasanya data diperoleh dengan terjun langsung ke lokasi tempat dilakukannya penelitian sebagai penerapan dari “Rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan ESP32 Untuk Media Pratikum Di Laboratorium Teknologi Listrik”.

b. Merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengambil data-data yang diperlukan dari literatur-literatur yang berkaitan, yaitu dengan cara memperoleh dari buku-buku yang berkaitan dengan Rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board (PCB) Menggunakan ESP32 mau pun dari jurnal-jurnal dan sumber dari internet.

C. Perancangan

Perancangan merupakan hal pertama yang akan dilakukan sebelum membuat alat itu secara nyata. Perancangan alat dilaksanakan untuk mempersiapkan alat agar dapat dibuat seefisiensi mungkin dengan memperhitungkan berbagai macam hal seperti bahan, bentuk, ukuran dan lain lain. Selain itu perancangan juga dapat dijadikan patokan bagaimana alat itu akan

dibuat sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

D. Pemrograman

Pemrograman dibuat pada mikrokontroler ESP32 sebagai otak utama alat kontrol perangkat elektronik. Pembuatan kodingan ini dibuat menggunakan aplikasi Arduino IDE, kemudian akan disimulasikan dahulu jika diperlukan sebelum kodingan benar-benar siap digunakan. Integrasi dengan KME Konfig dan KME Smart akan menjadi fokus utama dalam pemrograman.

E. Pengujian Alat

Uji coba dilakukan untuk menghindari kesalahan teknis pada saat alat telah dibuat secara nyata. Uji coba ini dilakukan dalam beberapa kali sampai tidak ada kendala pada saat alat dinyalakan. Uji coba ini juga dilakukan beberapa kali dengan tujuan meminimalisir faktor kesalahan pada saat pembuatan alat.

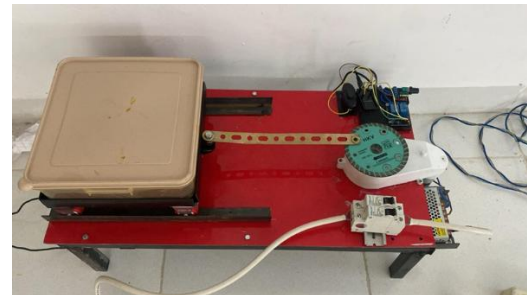
F. Kesimpulan

Setelah semua tahapan dilakukan hingga proses pengujian selesai, jika semuanya berjalan dengan baik, maka perancangan alat ini akan dapat diproses ke tahap selanjutnya yaitu membuat alat secara nyata dengan hasil hasil dari perancangan yang telah dibuat. Pembuatan alat yang akan dibuat nantinya harus berpedoman kepada perancangan alat ini dan pada saat tahap pembuatan selesai, tetap selanjutnya yaitu akan dilakukan pengujian kembali untuk memastikan kondisi alat memang sudah benar dan berjalan dengan semestinya

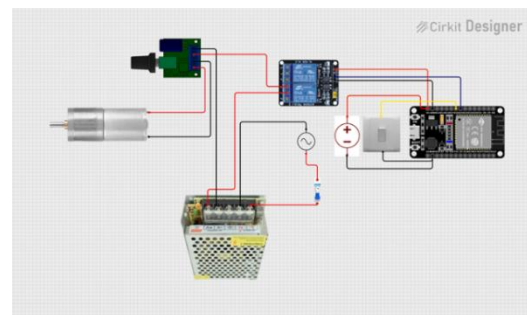
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Hasil Perancangan Sistem rancang bangun alat pelarut printed circuit board (pcb) menggunakan esp32

Alat pelarut PCB otomatis yang dirancang ini bertujuan untuk mempercepat dan mengefisienkan proses pelarutan lapisan tembaga pada papan sirkuit cetak (PCB) dengan gerakan otomatis naik-turun. Desain ini mengintegrasikan sistem mekanik dan elektronik dengan struktur yang kokoh dan fungsional.



3.2 Prinsip Kerja Alat



Power supply 12V adalah sumber utama energi untuk seluruh sistem. Komponen ini mengubah listrik AC 220V dari PLN menjadi DC 12V, yang akan digunakan untuk Menyalakan motor DC, Memberi daya pada modul relay, Menghidupkan ESP32 melalui regulator 5V atau step-down converter (karena ESP32 bekerja di 3.3V–5V), Menyuplai PWM speed controller untuk pengaturan kecepatan motor, power supply 12V adalah jantung dari sistem, menyediakan energi untuk komponen mekanis dan logika.

ESP32 berperan sebagai unit kontrol pusat yang bertugas mengatur Waktu kerja motor (durasi pelarutan PCB), Kecepatan motor (melalui PWM jika digunakan) Aktif / mati-nya relay sebagai penghubung motor, Menyimpan parameter kerja (jika menggunakan EEPROM) Bahkan dapat dikembangkan untuk kontrol Bluetooth, WiFi, atau sensor suhu.

Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikontrol oleh ESP32. Relay akan Menghubungkan atau memutus arus 12V dari power supply ke motor DC, Aktif jika diberi sinyal HIGH dari pin ESP32, Menjamin isolasi

antara sirkuit kontrol (ESP32) dan sirkuit daya (motor), Modul relay melindungi ESP32 dari beban besar yang langsung disuplai ke motor.

PWM Speed controller adalah teknik mengatur kecepatan motor DC tanpa mengurangi voltase, tetapi dengan mengatur lebar pulsa listrik. Speed controller ini bisa standalone (pakai potensiometer), atau Dikontrol oleh ESP32 (menggunakan pin PWM seperti analog Write) Motor akan berputar lambat jika duty cycle kecil, atau cepat jika duty cycle besar (misal: 30% vs 80%).

Saklar manual digunakan sebagai opsi override atau backup mode, agar alat tetap bisa dijalankan tanpa kontrol otomatis dari ESP32. Jika saklar ON → arus dari power supply langsung ke motor (lewat relay), Jika OFF → hanya kontrol otomatis yang bisa aktif, Saklar ini berguna untuk uji coba cepat atau keadaan darurat, tanpa perlu memprogram mikrokontroler.

Motor DC adalah aktuator utama yang berfungsi untuk Menggerakkan batang pengaduk atau PCB agar larutan tidak diam Membuat larutan FeCl_3 terus bersirkulasi, mempercepat proses etching, Kecepatan motor bisa diatur lewat PWM, dan waktu kerjanya dikendalikan oleh ESP32.

3.3 Perancangan Rangka Alat pelarut PCB

Alat pelarut PCB otomatis yang dirancang ini bertujuan untuk mempercepat dan mengefisienkan proses pelarutan lapisan tembaga pada papan sirkuit cetak (PCB) dengan gerakan otomatis naik-turun. Desain ini mengintegrasikan sistem mekanik dan elektronik dengan struktur yang kokoh dan fungsional. Berikut adalah uraian komponen utamanya

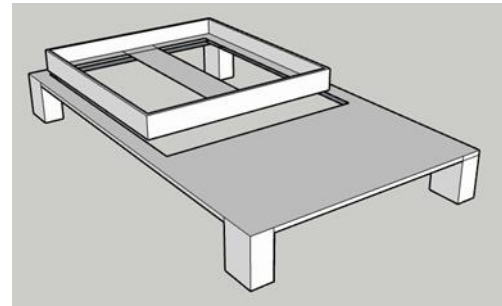
a. Rangka Utama

Rangka utama berupa bidang datar yang ditopang oleh empat kaki sebagai fondasi dari seluruh sistem. Bahan dapat menggunakan kayu, akrilik tebal, atau logam ringan agar tahan terhadap beban dan cairan pelarut. Rangka ini menyediakan tempat untuk memasang motor, wadah pelarut, dan komponen elektronik lainnya.

b. Dudukan Wadah Pelarut

Terdapat struktur kotak di bagian atas yang berfungsi sebagai penahan atau wadah untuk larutan pelarut (seperti FeCl_3). Desain ini memiliki lubang tengah yang memungkinkan

papan PCB dicelupkan ke dalam cairan dengan gerakan vertikal.



Gambar 4.1 Dudukan Wadah Pelarut

c. Sistem Penggerak (Lengan Engkol dan Motor DC)

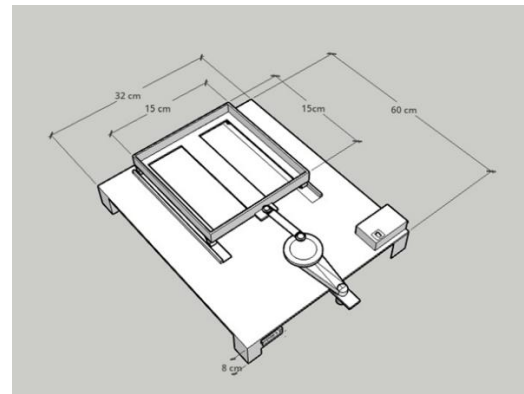
Di bagian kiri terdapat sistem engkol (mekanisme crank) yang dihubungkan ke motor DC. Motor ini mengubah putaran menjadi gerakan naik-turun pada dudukan PCB. Lengan engkol akan mendorong dan menarik bagian atas rangka, sehingga PCB dapat naik dan turun secara otomatis ke dalam larutan pelarut.

d. Penopang Engsel dan Rel Geser

Sistem dudukan atas dirancang agar dapat bergerak vertikal melalui sambungan engsel dan rel geser. Ini memungkinkan pergerakan yang halus dan stabil saat sistem bekerja.

e. Kotak Kontrol Elektronik

Pada bagian kanan rangka terdapat kotak kecil yang diduga sebagai tempat untuk mikrokontroler (misalnya Arduino/ESP32), relay, saklar, dan mungkin juga modul pengatur kecepatan motor. Komponen ini berfungsi untuk mengatur waktu, kecepatan, serta logika gerakan naik-turun secara otomatis.



3.4 Kapasitas dan Penggunaan Komponen

A. Perhitungan daya nyata motor

Dalam Menentukan Kapasitas daya motor listrik, adapun rumus cara menghitung kapasitas yang perlu digunakan dengan cara persamaan (1)

$$P=V \times I \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

V : Tegangan Yang Di Butuhkan Motor Dc

I : Arus Yang Di Butuhkan Dengan Beban Motor

P : Daya Listrik Yang Di butuhkan

Diketahui:

V : Teganganya 12V

A : Arus 0.91 A

P : Daya Listrik Yang Di Konsumsi

Penyelesaian:

$$P = 12V \times 0.91A = 10,9 \text{ Watt}$$

Perhitungan Motor DC: Daya input yang dibutuhkan oleh motor DC adalah 10,9W, dengan arus 0,19A pada tegangan 12V.

B. Perhitungan daya semu

Dalam Menentukan Kapasitas daya semu motor listrik, adapun rumus cara menghitung kapasitas yang perlu digunakan dengan cara persamaan (2)

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

S : daya semu (Volt-Ampere / VA)

V : tegangan motor (Volt)

I : arus motor (Ampere)

Diketahui :

Tegangan motor : 12 V

Arus motor : 6A

Penyelesaian :

$$S = 12 \times 6 = 72 \text{ VA}$$

Daya semu motor dihitung sebesar 72 VA.

C. Perhitungan daya reaktif

Daya reaktif (Q, satuan: VAR) hanya muncul pada beban AC karena adanya komponen induktif (seperti kumparan) dan kapasitif yang menyebabkan beda fasa antara arus dan tegangan. Pada arus searah (DC), tidak

ada frekuensi bolak-balik, sehingga tidak ada beda fasa, dan tidak terjadi pergeseran daya.

D. Perhitungan torsi motor Listrik

Dalam Menentukan Kapasitas torsi motor listrik, adapun rumus cara menghitung kapasitas yang perlu digunakan dengan cara persamaan (7)

$$T = \frac{P}{n} \times 9.55 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

T : Torsi (dalam Nm)

P : Dayamotor (dalam W)

n : Kecepatan putar motor (dalam RPM)

9.55 : Konstanta (untuk menyamakan satuan daya dan kecepatan)

Diketahui:

P : 72 Watt

N : 1200RPM

Konstanta : 9.55

Penyelesaian:

$$T = \frac{72}{1200} \times 9.55 = 0,06 \times 9.55 = 0.573 \text{ Nm}$$

E. Perhitungan torsi beban

Dalam Menentukan Kapasitas torsi beban, adapun rumus cara menghitung kapasitas yang perlu digunakan dengan cara persamaan (4)

$$T = \frac{P}{n} \times 9.55 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

T : Torsi (dalam Nm)

P : Dayamotor (dalam W)

n : Kecepatan putar motor (dalam RPM)

9.55 : Konstanta (untuk menyamakan satuan daya dan kecepatan)

Diketahui:

P : 10,9Watt

n : 1200 RPM

Konstanta : 9.55

Penyelesaian:

$$T = \frac{10,9}{1200} \times 9.55 = 0.009 \times 9.55 = 0.086 \text{ Nm}$$

F. Perhitungan amper MCB AC

Dalam Menentukan Kapasitas *Miniatur Circut Breaker (MCB)*, adapun rumus cara menghitung kapasitas *MCB* yang perlu digunakan dengan cara persamaan [5]

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

I = Kuat Arus (*Ampere*)

P = Daya (*Watt*)

V = Tegangan (*Voltage*)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Diketahui:

I = Kuat Arus (*Ampere*)

P = 72 *Watt*

V = 220V

$\cos \varphi$ = 0,8

Penyelesaian:

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{72}{220 \times 0,8}$$

$$I = \frac{72}{176}$$

$$I = 0,4 \text{ A}$$

Pada jaringan instalasi listrik Menggunakan MCB 2 Ampere

3.4 Spesifikasi peralatan yang di gunakan

a. Tabel Spesifikasi Power Supply

Spesifikasi	Keterangan
Model	<i>Switching Power Supply</i>
Tegangan Input	100-120V AC
Arus Output Maksimum	12A
Daya maksimal	120Watt
Efisiensi	±80%- 90%
Proteksi	± <i>Overload, Over Voltage, Short Circuit</i>
Pendingin	<i>Heatsink</i>
Ukuran	±200 mm x 100mm x 50mm
Konektor Output	Terminal Sekrup(+12V dan GND)
Sertifikasi	<i>CE, FCC, RoHS</i> (tergantung merek)

b. Tabel Spesifikasi Gearbox Motor DC

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Motor	Brushed DC Motor + Gearbox
Tegangan Kerja	6V - 12V DC (optimal pada 12V)
Tegangan Nominal	12 <i>Volt DC</i>
Kecepatan Tanpa Beban	± 1200 RPM pada 12V

Tipe Gearbox	Planetary / Spur Gear (tergantung model)
Torsi Output	± 2 - 10 kg.cm (tergantung rasio gearbox)
Arus Tanpa Beban	± 300 - 600 mA
Arus dengan Beban	± 1 - 2 A
Arus Stall Maksimum	± 3 - 5 A
Daya Maksimum	± 15 - 25 <i>Watt</i>
Panjang Motor (tanpa gearbox)	± 55 mm (tipe RS-550)
Panjang Total dengan Gearbox	± 85 - 110 mm
Bahan Gearbox	Plastik
Berat	± 200 - 350 gram

c. Tabel Spesifikasi Modul Relay

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Relay	<i>SPDT (Single Pole Double Throw)</i>
Jumlah Channel	2 Channel (Relay Ganda)
Tegangan Input Sinyal	3.3V - 5V (kompatibel dengan Arduino/ESP32/STM32)
Arus Aktif per Channel	± 1200 RPM pada 12V
Tegangan dan Arus Kontak	±70 - 80 mA per channel (saat ON)
Pin Input	GND, VCC (5V), IN1, IN2
Pin Output	COM, NO, NC per relay
Proteksi	Diode flyback terhadap arus balik (induktif)
Kompatibilitas	Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi, dll

d. Tabel Spesifikasi PWM 12V

Spesifikasi	Keterangan
Jenis Sinyal	<i>PWM (Pulse Width Modulation)</i>
Tegangan Input	12V DC (beberapa versi support 6V–28V DC)
Tegangan Output	12V DC (mengikuti input)
Arus Output Maksimum	1A – 10A (tergantung modul, versi umum: 5A atau 10A)
Frekuensi PWM	10 kHz – 25 kHz (umumnya 13–16 kHz)
Rasio Duty Cycle	0% – 100% (bisa diatur lewat potensiometer atau digital control)
Kontrol Manual	Potensiometer untuk pengaturan kecepatan atau daya output

e. Tabel Spesifikasi Esp32

Spesifikasi	Keterangan
mikroprosesor	<i>Dual-core Tensilica LX6 (Xtensa), 32-bit</i>
Kecepatan CPU	Hingga 240 MHz
Modul Utama	ESP32-WROOM-32
Memori Flash	4 MB (tergantung versi board)
SEAM (RAM)	Sekitar 520 KB

Tegangan Operasi	3.0V - 3.6V (umumnya 3.3V)
Tegangan Input via USB	5V via micro USB
Regulator Tegangan	AMS1117 atau sejenis (output ke 3.3V)
Konsumsi Daya	±160 mA saat WiFi aktif, <10 Ua saat deep sleep
Dimensi Devkit V1	± 51 mm x 25.4 mm
Kompatibilitas Software	Arduino IDE, PlatformIO, MicroPython, ESP-IDF

4. KESIMPULAN

Rancang bangun alat pelarut PCB otomatis berbasis ESP32 berhasil direalisasikan sebagai solusi praktis untuk menunjang kegiatan praktik di laboratorium teknologi listrik. Alat ini menggunakan ESP32 sebagai otak utama pengendali, modul relay 2 channel sebagai saklar elektronik, serta motor DC 12V dengan gearbox untuk mengaduk larutan pelarut PCB secara otomatis. Sistem dikendalikan melalui sinyal PWM yang mengatur kecepatan motor, dan power supply 12V 10A digunakan sebagai sumber daya utama. Penggunaan ESP32 memungkinkan integrasi dengan aplikasi kontrol berbasis mobile, seperti KME Smart, sehingga pengguna dapat mengoperasikan alat secara nirkabel. Hal ini menjadikan alat lebih efisien, aman, dan mudah dioperasikan oleh mahasiswa atau teknisi selama kegiatan praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiansyah, M., & Prasetyo, H. (2021). Perancangan alat pelarut PCB berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(2), 55–63.
<https://doi.org/10.1234/jte.v12i2.567>
- [2] Espressif Systems. (2020). ESP32 technical reference manual. Espressif Systems.
<https://www.espressif.com/en/products/soc/s/esp32>
- [3] Gunawan, A., & Wibowo, T. (2022). Implementasi kontrol motor DC menggunakan PWM berbasis ESP32. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 18(1), 23–30.
<https://doi.org/10.25077/jre.v18i1.321>
- [4] Hidayat, R & Putra, A. (2020). Analisis efisiensi proses etching PCB dengan variasi larutan FeCl₃. *Jurnal Teknologi Material*, 5(3), 101–109.
- [5] Nugroho, S., & Santoso, B. (2023). Mikrokontroler untuk otomatisasi laboratorium: teori dan aplikasi. Yogyakarta: Deepublish.
- [6] Orosz, T., & Kovacs, P. (2021). IoT-based laboratory devices for engineering education. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 17(12), 120–133.
<https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i12.27385>
- [7] Pratama, I., & Susanto, Y. (2019). Teknologi mikrokontroler untuk sistem kendali. Bandung: Informatika.
- [8] Sari, D. M., & Kurniawan, A. (2022). Penggunaan ESP32 dalam pengembangan perangkat praktikum berbasis IoT. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 28(2), 178–186.
<https://doi.org/10.21831/jptk.v28i2.45678>
- [9] Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2020). *Microelectronic circuits* (8th ed.). New York: Oxford University Press.
- [10] Widodo, A., & Hartono, R. (2021). Sistem monitoring suhu dan agitasi pada proses etching PCB menggunakan sensor IoT. *Jurnal Elektronika dan Aplikasi*, 19(4), 225–234.
<https://doi.org/10.21460/jea.v19i4.812>