

RANCANG BANGUN ALAT ETCHING PRINTED CIRCUIT BOARD OTOMATIS

Eliyani¹, Syahrul Azmi², M. Togar T.A. Banjarnahor³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: eliyani@pnl.ac.id¹, syahrulazmi@pnl.ac.id², m.togar.t.a.banjarnahor@gmail.com³

Corresponding Author : Eliyani

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: eliyani@pnl.ac.id

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah alat *etching* PCB otomatis berbasis mikrokontroler Arduino, yang berfungsi untuk mempercepat dan menyederhanakan proses pembuatan papan sirkuit cetak secara presisi. Alat ini dilengkapi dengan Motor DC sebagai penggerak utama, yang kecepatannya diatur melalui sinyal PWM untuk memastikan pergerakan wadah berisi cairan *ferric chloride* berlangsung merata. Sistem juga dilengkapi dengan sensor *load cell* yang berfungsi untuk membaca berat *ferric chloride*, sehingga ketika berat tercapai, pompa akan secara otomatis mengalirkan air ke dalam wadah *etching* sesuai takaran. Pengguna cukup mengatur parameter di awal dan memantau proses dari jarak aman tanpa perlu kontak langsung dengan bahan kimia. Pengujian alat menunjukkan bahwa motor dapat bergerak stabil dengan variasi kecepatan yang sesuai, serta sistem *load cell* dan pompa bekerja secara otomatis saat berat *ferric chloride* mencapai nilai yang ditentukan. Alat ini berhasil menyederhanakan proses pencelupan PCB ke dalam cairan *etching* dengan hasil yang lebih konsisten dan aman, serta mengurangi paparan langsung terhadap bahan kimia berbahaya. Sistem bekerja secara efektif dan efisien untuk keperluan pembuatan PCB skala kecil maupun eksperimen laboratorium.

Kata-kata kunci: *Alat Etching PCB, Arduino Uno, Motor DC, Load Cell.*

Abstract – This study aims to design and build an automatic PCB etching tool based on an Arduino microcontroller, which functions to accelerate and simplify the process of making printed circuit boards precisely. This tool is equipped with a DC Motor as the main driver, whose speed is controlled via a PWM signal to ensure that the movement of the container containing the ferric chloride liquid is even. The system is also equipped with a Load cell sensor that functions to read the weight of the ferric chloride, so that when the weight is reached, the pump will automatically flow water into the etching container according to the measurement. Users simply set the parameters at the beginning and monitor the process from a safe distance without the need for direct contact with chemicals. Testing of the tool shows that the motor can move stably with the appropriate speed variations, and the Load cell and pump systems work automatically when the weight of the ferric chloride reaches the specified value. This tool has succeeded in simplifying the process of dipping PCB into etching liquid with more consistent and safe results, and reducing direct exposure to hazardous chemicals. The system works effectively and efficiently for small-scale PCB manufacturing and laboratory experiments.

Keywords: *PCB Etching Tool, Arduino Uno, DC Motor, Load Cell.*

I. PENDAHULUAN

PCB atau *Printed Circuit Board* menjadi hal dasar yang penting dalam suatu rangkaian elektronika. PCB adalah sebuah *circuit* atau jalur-jalur rangkaian elektronika yang memiliki konduktivitas dari bahan konduktor, seperti tembaga, dibuat pada sebuah *circuit board* atau papan sirkuit guna untuk penghubung antar komponen-komponen elektronika [1]. Industri *Printed Circuit Board* (PCB) tumbuh dan berkembang seiring dinamika yang menuntut produk elektronika memiliki bentuk yang kompak, ringkas dan sederhana. Dilaporkan

peningkatan permintaan papan PCB dunia mencapai 8,7% pertahun [2]. Untuk membuat jalur pada PCB maka harus melalui beberapa proses yang tidak mudah, mulai dari menggambar skema rangkaian sampai menyablon jalur pada papan tersebut sebelum akhirnya dilarutkan dalam cairan asam pelarut logam sehingga papan tersebut membentuk jalur [3].

Proses *etching* adalah proses pembuatan jalur konduktor untuk menghubungkan antara komponen di papan tersebut dengan cara menghilangkan tembaga yang tidak digunakan sebagai jalur konduktor. Teknik *etching* (etsa) ditemukan oleh Daniel Hopfer pada tahun

1470-1536. Daniel Hopfer ini merupakan seniman yang berasal dari Jerman.

Proses *etching* manual membutuhkan keamanan yang tepat karena bahan kimia, yaitu FeCl_3 merupakan bahan kimia berbahaya bagi manusia. Biasanya untuk menggunakan bahan kimia FeCl_3 disarankan menggunakan alat bantu keselamatan seperti kacamata pelindung, baju yang tebal, dan sarung tangan [4].

Secara umum, teknologi saat ini dibuat secara otomatis. Seiring dengan kemajuan teknologi yang saat ini berkembang pesat dan didorong oleh meningkatnya kebutuhan manusia. Perkembangan teknologi yang sangat pesat ini membuat manusia menciptakan peralatan yang dapat meminimalisir aktivitas manusia.

Dengan adanya permasalahan diatas maka muncullah ide untuk membuat alat *etching* PCB otomatis yang mana proses pengadukan dapat dilakukan secara otomatis menggunakan motor yang dikendalikan dengan sistem elektronik. Motor ini akan menggerakkan larutan dengan kecepatan yang dapat diatur, sehingga memastikan distribusi larutan yang merata dan meningkatkan kualitas hasil akhir dari PCB yang dihasilkan.

Dengan menggunakan alat *etching* PCB otomatis, risiko paparan terhadap bahan kimia berbahaya seperti FeCl_3 dapat diminimalisir karena alat ini mengurangi interaksi langsung antara manusia dan larutan *etching*. Dalam metode *etching* manual, pengguna harus melakukan pengadukan secara berkala dan mengawasi proses secara terus-menerus untuk memastikan hasil yang merata. Hal ini tentu meningkatkan risiko kontak langsung dengan bahan kimia yang bisa membahayakan kesehatan, terutama bila terjadi tumpahan atau percikan larutan. Alat ini memastikan proses berjalan secara efektif tanpa memerlukan pengawasan intensif dari pengguna. Pengguna hanya perlu mengatur parameter di awal proses dan dapat menjaga jarak aman selama alat beroperasi.

Dengan demikian, alat *etching* otomatis tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja, tetapi juga melindungi pengguna dari paparan langsung bahan kimia berbahaya, menjadikannya lebih aman dan praktis. Sistem otomatisasi juga mengurangi kesalahan manusia dalam proses *etching*, memastikan hasil yang lebih konsisten dan presisi. Selain itu, alat ini memungkinkan proses yang lebih cepat dan mengurangi penggunaan bahan kimia, sehingga lebih ramah lingkungan dan hemat biaya dalam jangka panjang.

Kebaruan dari alat *etching* PCB otomatis ini terletak pada sistem penakaran serbuk *ferric chloride* (FeCl_3) secara otomatis menggunakan sensor *load cell* yang terintegrasi dengan sistem pengendali elektronik. Pada metode konvensional, pengguna menakar serbuk FeCl_3 secara manual sebelum melarutkannya dengan air, yang sering kali tidak presisi dan berpotensi menghasilkan konsentrasi larutan yang tidak konsisten. Hal ini dapat memengaruhi kualitas hasil proses *etching*, baik dari segi ketajaman jalur konduktor maupun waktu pelarutan.

Dalam rancangan ini, jumlah serbuk FeCl_3 yang dimasukkan ke dalam wadah akan dideteksi secara otomatis oleh *load cell*. Berdasarkan massa serbuk yang terukur, sistem akan mengatur volume air yang dialirkan dengan rasio tertentu, misalnya 1:4 (1 bagian massa serbuk FeCl_3 dan 4 bagian massa/volume air). Dengan demikian, konsentrasi larutan *etching* dapat dijaga agar selalu sesuai standar yang dibutuhkan, tanpa perlu penghitungan manual oleh pengguna. Inovasi ini menghadirkan pembaruan signifikan dibandingkan alat *etching* otomatis sebelumnya yang hanya berfokus pada pengadukan atau sirkulasi larutan. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mempermudah proses pembuatan larutan *etching*, tetapi juga meningkatkan presisi takaran, konsistensi kualitas hasil *etching*, serta keselamatan kerja karena mengurangi kontak langsung dengan bahan kimia berbahaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait perancangan alat *etching* PCB dapat dilihat dari beberapa penelitian sebelumnya. Dalam penelitian [5] yang dilakukan Saddam Maliki pada 2021, membahas tentang perancangan alat *etching* PCB dengan aplikasi android. Alat yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan Arduino Nano serta dilengkapi dengan sensor PH, sensor suhu untuk memantau larutan dan motor stepper sebagai penggerak. Parameter yang diamati adalah pH larutan *ferric chloride*, QoS dan bandwidth. Dari penelitian ini didapat nilai pH *ferric chloride*, *throughput* 3,22 kb/s, *packet loss* 0%, *delay* 17,1 ms dan *jitter* 0,5 yang membuktikan bahwa provider telkomsel memenuhi standar parameter QoS dengan kategori bagus.

Dalam penelitian [6] yang dilakukan Sonda pada tahun 2021, membahas tentang perancangan dan pembuatan alat pelarut PCB secara otomatis menggunakan sistem kontrol berbasis mikrokontroler Atmega328. Alat ini dirancang dengan mikrokontroler ATmega328 digunakan sebagai pusat kendali utama yang mengatur motor servo untuk pengadukan larutan serta berbagai fitur lainnya. Parameter yang diamati adalah nilai dari kedua sensor cahaya dan kondisi papan PCB yang diproses. Dari penelitian ini didapat hasil yang mana alat bekerja secara otomatis dalam proses pelarutan tembaga PCB yang tidak digunakan, mendeteksi tembaga PCB yang tidak digunakan sudah terlarut atau belum, mencuci PCB dan mengeringkan PCB.

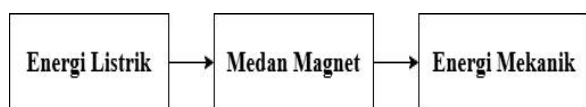
A. Etching PCB

Proses *etching* adalah proses pembuatan jalur konduktor untuk menghubungkan antara komponen di papan tersebut dengan cara menghilangkan tembaga yang tidak digunakan sebagai jalur konduktor. Proses ini harus dilakukan dengan hati-hati agar jalur yang terbentuk memiliki presisi tinggi dan tidak mengalami *short circuit* akibat residu tembaga yang masih tertinggal. Seperti yang sudah diketahui untuk membuat jalur pada PCB maka harus melalui beberapa proses mulai dari

menggambar skema rangkaian, menyablon jalur pada papan tersebut sebelum akhirnya dilarutkan dalam cairan asam pelarut logam (proses *etching*) sehingga papan tersebut membentuk jalur [7].

B. Motor DC

Motor DC dengan penguat sendiri (*self excited*) didefinisikan sebagai motor DC dimana arus kumparan medan diperoleh dari sumber arus DC yang sama dengan arus yang digunakan pada kumparan jangkar. Pada motor DC, kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konverter energi baik energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari suatu sistem ke sistem yang lain, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian, medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus proses perubahan energi, dimana proses perubahan energi pada motor arus searah dapat digambarkan pada Gambar 1.



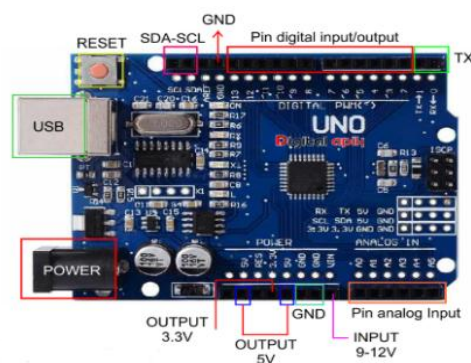
Gbr. 1 Proses Konversi Energi pada Motor DC [8]

Kontrol motor dc, terdiri dari pengaturan kecepatan dan pengaturan arah putar motor. Kecepatan putar motor dc dipengaruhi oleh gaya (F) yang dihasilkan pada motor dc. Sesuai kaidah tangan kiri besarnya gaya dipengaruhi oleh medan magnet (B) dan arus (I) yang melewati rotor pada motor dc. Semakin kuat medan magnet medan magnet yang melintas pada rotor atau semakin besar arus yang melewati rotor, maka besarnya gaya yang memutar rotor akan berbanding lurus, demikian juga sebaliknya. Apabila medan magnet pada motor dc dihasilkan dari aliran arus listrik pada kumparan medan, maka pengaturan arus yang melewati kumparan medan akan mempengaruhi kekuatan medan magnet yang melintasi rotor. Sedangkan untuk mengubah arah gaya atau mengubah arah putar motor dapat dilakukan dengan membalik arah medan magnet atau membalik arus yang mengalir melalui rotor motor dc [8].

C. Arduino Uno

Arduino Uno R3 adalah Papan Mikrokontroler populer yang dirancang bagi pemula dan penghobi untuk dengan mudah membuat interaktif proyek elektronik. Arduino Uno R3 merupakan bagian dari keluarga papan Arduino yang merupakan platform perangkat keras sumber terbuka yang menyediakan solusi sederhana dan cara yang dapat diakses untuk mengembangkan berbagai proyek elektronik.

Arduino Uno memiliki 14 pin digital *input/output* (biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan *crystal* 16 MHz, koneksi USB, *jack* listrik, header ICSP dan tombol reset. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung rangkaian mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi daya dengan adaptor AC-DC atau baterai, kita sudah dapat menggunakan Arduino UNO tanpa khawatir akan melakukan sesuatu yang salah. Kemungkinan paling buruk hanyalah kerusakan pada chip ATmega328, yang bisa kita ganti sendiri dengan mudah dan dengan harga yang relatif murah [9]. Board arduino uno dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gbr. 2 Board Arduino UNO [10]

D. Solenoid Valve

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan/solenoid. *Solenoid valve* ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem pneumatik, sistem hidrolik ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis. Contohnya pada sebuah tandon udara yang membutuhkan solenoid *valve* sebagai mengatur pengisian udara, sehingga tandon tersebut tidak sampai kosong. Banyak sekali jenis-jenis dari *solenoid valve*, karena solenoid *valve* ini didesain sesuai dari kegunaannya. Mulai dari 2 saluran, 3 saluran, 4 saluran dan sebagainya. Contohnya pada solenoid valve 2 saluran atau yang sering disebut katup kontrol arah 2/2. Memiliki 2 jenis menurut cara kerjanya, yaitu NC dan NO. Jadi fungsinya hanya menutup/membuka saluran karena hanya memiliki 1 lubang inlet dan 1 lubang *outlet* [11]. *Solenoid valve* dapat kita lihat pada Gambar 3.



Gbr. 3 Solenoid Valve [12]

E. Pompa Air DC

Pompa adalah suatu alat atau komponen untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk dengan bagian keluar. Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Besar tegangan yang diberikan berpengaruh langsung terhadap kecepatan putaran motor, di mana semakin tinggi tegangan yang diterapkan, semakin cepat pula motor berputar, sehingga aliran air yang dihasilkan pun menjadi lebih [13]. Pompa Air DC dapat kita lihat pada Gambar 4.



Gbr. 4 Pompa Air DC [13]

F. Motor Driver L298N

Motor Driver L298N merupakan modul driver motor DC yang paling banyak digunakan atau dipakai di dunia elektronika yang difungsikan untuk mengontrol kecepatan serta arah perputaran motor DC. Kelebihan dari driver motor L298N ini adalah cukup presisi dalam mengontrol motor. Untuk mengontrol driver motor L298N ini dibutuhkan 6 buah Pin mikrokontroler dua buah untuk Pin Enable (satu buah untuk motor A dan satu buah yang lain untuk motor B karena driver motor L298N ini dapat mengontrol dua buah motor dc) 4 buah untuk mengatur kecepatan motor tersebut. Pada prinsipnya rangkaian driver motor L298N ini dapat mengatur tegangan dan arus sehingga kecepatan dan arah motor dapat diatur [14]. Motor Driver L298N dapat kita lihat pada Gambar 5.



Gbr. 5 Motor Driver L298N [15]

G. PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation merupakan salah satu teknik pengkodean sinyal digital yang memanipulasi

lebar sinyal sebuah pulsa listrik dalam suatu periode tertentu sehingga didapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Sinyal PWM merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari sebuah piranti digital. Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, diantaranya bisa secara analog menggunakan IC *op-amp* maupun secara digital menggunakan mikrokontroler. Secara analog setiap perubahan sinyalnya bisa diatur sangat halus, sedangkan secara digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi PWM itu sendiri. Untuk sinyal PWM yang memiliki resolusi 8 bit, maka variasi perubahan nilainya akan sebanyak 256, mulai dari 0 – 225. Perubahan nilai ini akan mewakili lebar pulsa 0% – 100% *duty cycle* dari keluaran PWM tersebut. Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang yang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata rata dari gelombang tersebut [16].

H. Relay

Relay adalah sebuah saklar yang dikendalikan oleh arus. *Relay* memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah armatur besi yang akan tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. Armatur ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armatur tertarik menuju ini, kontak jalur bersama akan berubah posisinya dari kontak normal-tertutup ke kontak normal-terbuka. *Relay* dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai saklar otomatis. Secara fisik antara saklar atau kontaktor dengan elektromagnet relay terpisah sehingga antara beban dan sistem kontrol terpisah. Bagian utama relay elektro mekanik adalah sebagai kumparan elektromagnet Saklar atau kontaktor *Swing Armatur Spring* [17]. Gambar *relay* dapat kita lihat pada gambar 6.



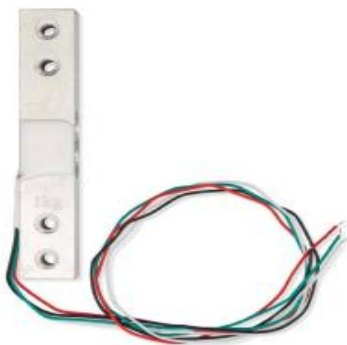
Gbr. 6 Relay [17]

I. Load Cell

Load Cell adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur beban dengan cara mendeteksi perubahan resistansi atau tegangan yang dihasilkan ketika gaya diterapkan pada elemen sensitif di dalamnya. *Load cell* dapat digunakan untuk mengukur baik beban tekan (*compression*) maupun beban tarik (*tension*) tergantung pada desain dan jenisnya. Hasil pengukuran *load cell* umumnya ditampilkan dalam satuan berat seperti kilogram (kg) atau Newton (N). *Load cell* bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastisitas. Ketika beban diterapkan pada elemen sensitif *load cell*, akan terjadi

deformasi. Deformasi ini mengubah resistansi listrik dari elemen tersebut, dan perubahan ini dapat diukur dan dikonversi menjadi sinyal listrik. Proses ini memungkinkan load cell untuk memberikan pembacaan yang akurat dan cepat [18].

Pada umumnya, *load cell* menggunakan Jembatan *Wheatstone* sebagai rangkaian utama untuk mendeteksi perubahan resistansi yang diberikan. Rangkaian ini berfungsi untuk mengkonversi perubahan kecil dalam resistansi menjadi tegangan yang dapat diukur dan diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler. Untuk bentuk dari sensor Load Cell ini dapat kita lihat pada Gambar 7.



Gbr. 7 Load Cell [19]

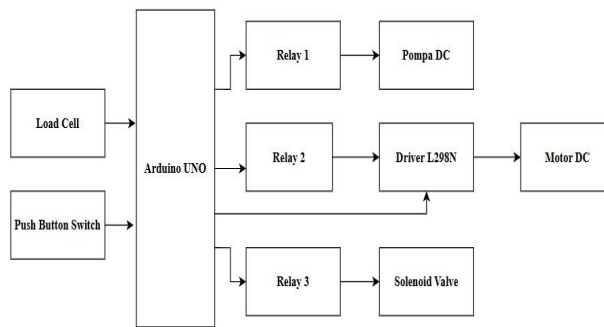
J. Push Button Switch

Push button switch adalah saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan *unlock*. Sistem kerja *unlock* disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan pada saat tombol tidak ditekan, maka saklar akan kembali pada kondisi normal [20].

Berdasarkan fungsi kerjanya yang menghubungkan dan memutuskan, *push button switch* mempunyai 2 tipe kontak yaitu NC (*Normally Close*) dan NO (*Normally Open*). NO (*Normally Open*), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya terbuka (aliran arus listrik tidak mengalir). Dan ketika tombol saklar ditekan, kontak yang NO ini akan menjadi menutup (*Close*) dan mengalirkan atau menghubungkan arus listrik. Kontak NO digunakan sebagai penghubung atau menyalakan sistem *circuit* (*Push Button ON*). Sedangkan NC (*Normally Close*), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya tertutup (mengalirkan arus listrik). Dan ketika tombol saklar *push button* ditekan, kontak NC ini akan menjadi membuka (*Open*), sehingga memutus aliran arus listrik. Kontak NC digunakan sebagai pemutus atau mematikan sistem *circuit* (*Push Button Off*).

III. METODOLOGI

Alat *etching* PCB otomatis terdiri dari beberapa buah perangkat keras, yaitu mikrokontroler dan aktuator yang mendukung kinerjanya. Blok diagram alat *etching* PCB otomatis dapat dilihat pada Gambar 8.



Gbr. 8 Blok Diagram Alat etching PCB otomatis

Sesuai dengan blok diagram yang ditunjukkan dalam Gambar 8 maka fungsi masing-masing dari tiap blok adalah sebagai berikut :

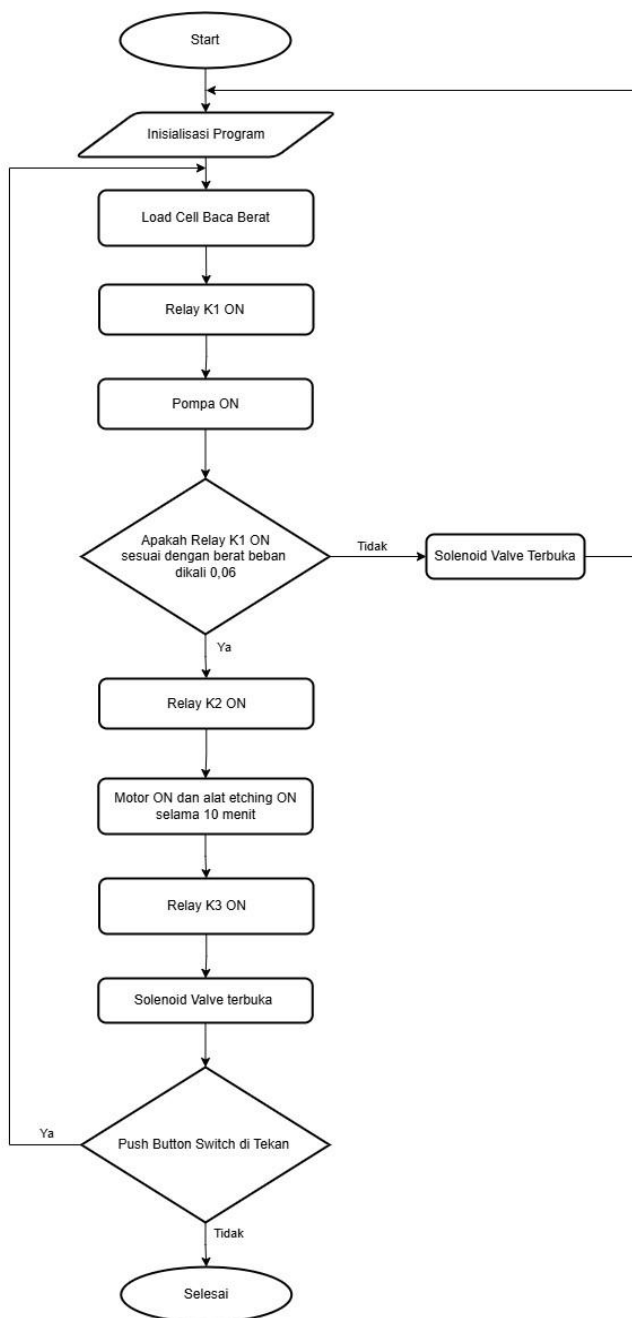
1. Arduino UNO sebagai pusat pengendalian alat *etching* PCB otomatis.
2. Pompa DC sebagai alat untuk memberikan air ke cairan FeCl_3 (*ferric chloride*) ke wadah alat *etching* PCB.
3. Driver L298N adalah driver yang menerima sinyal PWM dari mikrokontroler untuk mengontrol kecepatan motor dc.
4. Motor DC untuk menggerakkan wadah alat *etching*.
5. *Solenoid Valve* adalah alat yang berfungsi sebagai kran untuk membuang cairan FeCl_3 (*ferric chloride*) bekas cairan proses *etching* PCB.
6. *Relay* berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengaktifkan pompa dc, motor dc dan solenoid valve
7. *Load Cell* berfungsi sebagai sensor untuk menimbang *ferric chloride*.
8. *Push Button Switch* berfungsi sebagai tombol untuk mereset sistem agar kembali ke awal.

Setelah membuat blok diagram, hal yang dilakukan agar sistem yang dirancang berjalan dengan baik dan sesuai dengan harapan, maka yang harus dilakukan adalah membuat *flowchart* sistem untuk dapat tergambar dengan jelas bagai *Flowchart* sistem dapat dilihat pada Gambar 9.

Alat *etching* PCB otomatis yang memiliki kerangka utama berbahan kayu untuk memberikan kekuatan dan kestabilan selama proses berlangsung. Pusat kendali alat menggunakan Arduino UNO, yang bertugas mengatur kerja komponen seperti Motor DC, Pompa DC, *Load Cell*, *Solenoid Valve* dan *Relay*.

Proses dimulai dengan pembacaan nilai berat oleh *Load Cell*, selanjutnya pompa dc akan hidup mengalirkan air ke serbuk FeCl_3 ke tempat penyimpanan ke dalam wadah *etching*. Pompa dc ini akan hidup dengan durasi sesuai dengan berat dari serbuk FeCl_3 dikali 0,06 (jika berat 100 gram maka *relay* on selama 6 detik). Setelah *relay* dan pompa off maka *relay* dan motor dc akan on dan menggerakkan wadah PCB dengan mekanisme naik dan turun bergantian untuk menciptakan gerakan menggoyang. Motor dc akan on selama 10 menit dan setelah itu proses *etching* selesai, cairan FeCl_3 bekas dibuang melalui *solenoid valve* yang dikendalikan secara

otomatis. Untuk memulai sistem dari awal kembali maka kita hanya perlu menekan *push button* saja.



Gbr. 9 Flowchart Sistem Alat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat *etching* PCB otomatis yang dirancang berhasil beroperasi sesuai dengan program yang ditanamkan pada mikrokontroler. Seluruh komponen utama seperti load cell, pompa DC, motor DC, relay, dan solenoid valve dapat bekerja secara terpadu untuk menjalankan proses penakaran serbuk *ferric chloride* (FeCl_3), pencampuran dengan air, serta pengadukan larutan *etching* secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa load cell mampu membaca massa serbuk dengan akurasi yang akurat, yang kemudian dijadikan acuan sistem untuk

menentukan durasi aktif pompa. Dengan demikian, volume air yang dialirkan selalu mengikuti perbandingan tetap 1:4 terhadap massa serbuk, sehingga konsentrasi larutan *etching* berada pada komposisi yang sesuai.

Analisis kinerja alat dilakukan dengan meninjau keterhubungan antar komponen dan hasil proses yang dihasilkan. Pompa DC terbukti menyalurkan air secara linear terhadap lama durasi aktifnya, misalnya pada massa serbuk 100 gram diperlukan lama aktif pompa ± 6 detik untuk menghasilkan volume air sekitar 400 ml. Motor DC diuji dengan variasi PWM sebesar 50, 100, dan 150, di mana nilai PWM 100 terbukti memberikan pengadukan paling stabil dan mempercepat proses pelarutan tembaga hingga 20% lebih cepat dibanding PWM 50. *Relay* yang digunakan sebagai saklar otomatis juga menunjukkan keandalan penuh, karena dari 50 kali percobaan tidak ditemukan kegagalan dalam mengendalikan pompa maupun motor. Selain itu, solenoid valve dapat membuang larutan bekas dengan lancar tanpa menimbulkan kebocoran.

Parameter analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi massa serbuk *ferric chloride* yang terdeteksi oleh *load cell* (gram), volume air yang dialirkan pompa (mL), variasi nilai PWM motor DC, lama proses *etching* (menit), dan kualitas hasil jalur tembaga pada PCB. Dari parameter tersebut, fokus utama analisis diarahkan pada ketepatan sistem penakaran otomatis dengan rasio 1:4 serta efektivitas pengadukan larutan terhadap kualitas hasil *etching*. Hasil evaluasi dari lima sampel PCB menunjukkan pola jalur tembaga yang bersih, jelas, sesuai layout rancangan, dan bebas dari korosi berlebih, sehingga dapat disimpulkan bahwa alat *etching* PCB otomatis ini bekerja efektif, efisien, dan konsisten dalam menghasilkan kualitas *etching* yang optimal.

Tabel 1 menjelaskan bahwa hasil perhitungan kecepatan motor DC dari variasi duty cycle menunjukkan hubungan linear antara nilai PWM, tegangan output (Vout), dan kecepatan putaran motor (RPM). Semakin besar *duty cycle*, maka semakin besar pula nilai tegangan output dan RPM yang dihasilkan. Kecepatan maksimum motor sebesar 400 RPM tercapai pada *duty cycle* 100%, yang sesuai dengan spesifikasi motor DC yang digunakan pada alat *etching* PCB otomatis.

TABEL I
Hasil Perhitungan Kecepatan Motor DC

Duty Cycle	Ton (ms)	Toff (ms)	Nilai PWM	Vout (V)	Nilai RPM
10%	2	18	25,5	1,2	40
20%	4	16	51	2,4	80
30%	6	14	76,5	3,6	120
40%	8	12	102	4,8	160
50%	10	10	127,5	6,0	200
60%	12	8	153	7,2	240
70%	14	6	178,5	8,4	280
80%	16	4	204	9,6	320
90%	18	2	229,5	10,8	360
100%	20	0	255	12,0	400

Tabel 2 menjelaskan bahwa terdapat pengaruh nyata antara kecepatan motor (RPM) dengan kestabilan gerakan naik-turun wadah. Pada kecepatan rendah, yaitu 125 RPM, motor tidak mampu menggerakkan wadah. Kestabilan gerakan baru tercapai pada RPM 172 saat PWM disetel ke 110, menunjukkan bahwa nilai tersebut merupakan batas minimum kecepatan motor untuk mengatasi beban mekanis sistem.

TABEL II
Pengaruh RPM terhadap Gerakan Naik-Turun Wadah

PWM	Tegangan (V)	RPM	Kondisi Gerakan Wadah
80	2,4	125	Tidak bergerak
90	4,26	141	Sangat lambat
100	4,74	156	Lambat
110	5,22	172	Stabil naik turun

Tabel 3 menjelaskan bahwa sistem kontrol pompa berbasis *load cell* dapat mengatur durasi hidup pompa secara linier dan proporsional terhadap berat serbuk FeCl₃. Setiap 1 detik waktu kerja pompa menghasilkan rata-rata 66,66 mL air, dengan rasio tetap 1:4 terhadap berat serbuk, menunjukkan bahwa pompa bekerja secara efisien dan presisi.

TABEL III
Hasil Pengujian Pompa DC

Berat (Gram)	Lama Pompa ON (Detik)	Volume Air (mL)
34	2	133
50	3	200
67	4	266
80	5	333
100	6	400

Tabel 4 menjelaskan bahwa *relay* bekerja secara optimal sebagai saklar otomatis. Masing-masing channel relay (K1, K2, dan K3) dapat dikendalikan secara terpisah tanpa terjadi gangguan antar channel, dengan fungsionalitas sesuai peruntukannya, yaitu K1 untuk pompa DC, K2 untuk motor DC, dan K3 untuk *solenoid valve*.

TABEL IV
Hasil Pengujian Relay

Channel 1 (K1)	Channel 2 (K2)	Channel 3 (K3)
ON	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON
OFF	OFF	OFF

Tabel 5 menjelaskan bahwa proses *etching* PCB paling optimal terjadi pada nilai PWM 100. Saat PWM dinaikkan dari 90 ke 100, waktu *etching* menurun dari 15 menjadi 10 menit. Namun saat PWM dinaikkan lebih lanjut ke 110, waktu justru bertambah menjadi 18 menit

karena pengadukan terlalu cepat yang menyebabkan distribusi larutan menjadi tidak merata.

TABEL V
Hasil Pengujian Proses Etching Dengan Acuan PWM

Ukuran PCB (cm)	Nilai PWM	Tegangan (V)	Duty Cycle (%)	Waktu (Menit)
10 x 10	90	4,26	35,5	15
10 x 10	95	4,5	37,5	13
10 x 10	100	4,74	39,5	10
10 x 10	105	4,98	41,5	12
10 x 10	110	5,22	43,5	18

Tabel 6 menjelaskan tahapan proses *etching* berdasarkan waktu pada nilai PWM optimal 100. *Etching* mulai menunjukkan efek pada menit ke-3 dan selesai pada menit ke-10, di mana seluruh tembaga yang tidak dilindungi telah terkikis habis.

TABEL VI
Hasil Pengujian Proses Etching Dengan PWM 100

Ukuran PCB (cm)	Waktu Proses (Menit)	Kondisi Papan PCB
10 x 10	1	Tidak ada perubahan
10 x 10	3	Tembaga mulai terkikis
10 x 10	5	Pinggir papan terkikis habis
10 x 10	7	Bagian tengah mulai menghilang
10 x 10	8	Tembaga bagian tengah mulai hilang
10 x 10	10	Semua tembaga yang tidak digambar hilang

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Alat *etching* PCB otomatis dapat beroperasi sesuai dengan program yang telah dirancang pada Arduino IDE, di mana setiap komponen (motor DC, pompa, *load cell*, dan *relay*) bekerja selaras dengan logika sistem yang ditentukan.
2. Pengujian menunjukkan bahwa nilai PWM sebesar 100 merupakan nilai yang paling optimal dalam mendistribusikan larutan *ferric chloride* pada alat *etching* PCB otomatis. Nilai ini menghasilkan kecepatan pengadukan yang stabil dan efektif sehingga mempercepat proses pelarutan tembaga pada permukaan PCB.
3. Hasil pengujian pompa DC memperlihatkan adanya hubungan linear antara massa larutan yang terbaca pada sensor *load cell* dengan durasi aktif pompa. Hal ini membuktikan bahwa sistem takaran cairan dapat dikendalikan secara akurat melalui pengaturan waktu hidup pompa dengan tingkat deviasi yang rendah.
4. *Relay* sebagai saklar otomatis terbukti andal dalam mengendalikan aktuatur (motor dan pompa). *Relay*

mampu menyalakan dan mematikan beban sesuai logika kontrol mikrokontroler tanpa mengalami kegagalan *switching* selama pengujian.

5. Selama pengujian tidak ditemukan adanya tumpahan larutan *ferric chloride*, dan PCB yang telah melalui proses *etching* menunjukkan pola jalur tembaga yang bersih, jelas, serta sesuai dengan *layout* rancangan, tanpa cacat atau korosi berlebih diluar area yang diinginkan.

REFERENSI

- [1] Dwigista, C. (2022). Perancangan dan implementasi printed circuit board (PCB) ramah lingkungan menggunakan conductive ink. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 11(1), 31–35.
- [2] Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed., Sections 5–12). McGraw-Hill.
- [3] Irawati, I., Kartikasari, D., & Karyadi, K. (2022). Rancang bangun sablon jalur layout PCB otomatis berbasis programmable logic control (PLC). *Jurnal Elektro dan Informatika Swadharma*, 2(1), 15–20.
- [4] Tarihoran, M. V. (2019, October). Mesin etching PCB (Printed Circuit Board) menggunakan Arduino Nano. In *Seminar Nasional Ilmu Terapan*, 3(1), T15–T15.
- [5] Aldriansyah, S. M. (n.d.). Rancang bangun alat etching PCB dengan aplikasi Android. [Unpublished manuscript].
- [6] Sonda, D., & Anwar, M. (2021). Perancangan dan pembuatan alat pelarut PCB secara otomatis menggunakan sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATMEGA328. *Voteteknika*, 9(2), 1–8.
- [7] Mardianto, E. (2024). Rancang bangun sistem kontrol pada mesin pelarut PCB (Printed Circuit Board). *Electrical Network Systems and Sources*, 3(2), 87–91.
- [8] Nugroho, Nalaprana, & Agustina, S. (2015). Analisa motor DC (Direct Current) sebagai penggerak mobil listrik. [Nama Jurnal tidak disebutkan], 2, 28–34.
- [9] Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. In *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- [10] Arduino. (2015). *Datasheet*. <https://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf>
- [11] Ardiansyah, S. (2018). Prototype pengontrol pengisian tandon air secara paralel menggunakan solenoid valve berbasis Atmega 2560. *Jurnal Informatika*, 7(2).
- [12] Setiadi, I. (2018). Pengaman laju air umpan untuk arsinum kapasitas 5M3/hari menggunakan pressure switch dan selenoid valve. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 11(2).
- [13] Kusuma, K. B., Partha, C. G. I., & Sukerayasa, I. W. (2020). Perancangan sistem pompa air DC dengan PLTS 20 KWp Tianyar Tengah sebagai suplai daya untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat Banjar Bukit Lambuh. *Jurnal Spektrum*, 7(2).
- [14] Widiarto, Y. D., Najoran, M. E. I., & Putro, M. D. (2018). Sistem penggerak robot beroda vacuum cleaner berbasis mini computer Raspberry Pi. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(1), 25–32.
- [15] Amin, M., Ananda, R., & Eska, J. (2019). Analisis penggunaan driver mini Victor L298N terhadap mobil robot dengan dua perintah Android dan Arduino Nano. *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, 6(1), 51–58.
- [16] Setiawan, D. (2017). Sistem kontrol motor DC menggunakan PWM Arduino berbasis Android system. *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 15(1), 7–14.
- [17] Pratika, M. T. S., Piarsa, I. N., & Wiranatha, A. A. K. A. C. (2021). Rancang bangun wireless relay dengan monitoring daya listrik berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, 2(3), 515–523.
- [18] Wahyudi, W., Rahman, A., & Nawawi, M. (2017). Perbandingan nilai ukur sensor load cell pada alat penyortir buah otomatis terhadap timbangan manual. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 5(2), 207.
- [19] Sibrani, D. (2019). Pengisian otomatis menggunakan load cell untuk beberapa jenis ukuran botol berbasis SCADA. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 10(1).
- [20] Spruell, J. M., Paxton, W. F., Olsen, J. C., Benítez, D., Tkatchouk, E., Stern, C. L., ... & Stoddart, J. F. (2009). A push-button molecular switch. *Journal of the American Chemical Society*, 131(32), 11571–11580.