

ALAT ETSA PRINTED BOARD CIRCUIT (PCB) OTOMATIS DENGAN ESP32-CAM DAN PEMANTAUAN BERBASIS TELEGRAM

**Nizarruddin Al Aufi¹, Izza Anshory², Jamaaluddin Jamaaluddin^{*3}, Agus Hayatal
Falah⁴**

*^{1,2,3,4})Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Indonesia*

**)Email : jamaaluddin@umsida.ac.id*

Abstract

The development of technology has a tremendous impact on human life. Work that previously required many large devices and was done manually, then with the development of technology, the work only requires a small tool and can work automatically, namely a microcontroller. The use of microcontrollers is very influential in the development of technology, many new tools have been created which are updates from previous tools, one of which is the process of making Printed Board Circuit (PCB) paths or also called the etching process. The etching process is carried out manually by immersing the PCB in FeCL₃ liquid and then moving it manually for a few minutes, this is inefficient and can endanger users if it comes into contact with their hands. This study aims to develop the etching process so that it can work automatically and users can see the process through the Telegram application on their Smartphone. There are several factors why ESP32 - Cam is chosen as a microcontroller, including the camera feature that allows users to monitor directly in different places, besides that the ports are quite numerous and easy to connect to the telegram application

Keywords : Automatic Etching, Printed Board Circuit, Telegram; Abstrak

Abstrak

Perkembangan teknologi memiliki dampak yang luar biasa bagi kehidupan manusia. Pekerjaan yang sebelumnya membutuhkan banyak perangkat besar dan dilakukan secara manual, maka dengan perkembangan teknologi, pekerjaan tersebut hanya membutuhkan alat kecil dan dapat bekerja secara otomatis, yaitu mikrokontroler. Penggunaan mikrokontroler sangat berpengaruh dalam perkembangan teknologi, banyak sekali alat baru yang telah diciptakan yang merupakan pembaruan dari alat sebelumnya, salah satunya adalah proses pembuatan jalur Printed Board Circuit (PCB) atau disebut juga proses etsing. Proses etsa dilakukan secara manual dengan merendam PCB dalam cairan FeCL₃ dan kemudian memindahkannya secara manual selama beberapa menit, hal ini tidak efisien dan dapat membahayakan pengguna jika bersentuhan dengan tangan mereka. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan proses etsa agar dapat bekerja secara otomatis dan pengguna dapat melihat prosesnya melalui aplikasi Telegram di Smartphone mereka. Ada beberapa faktor mengapa ESP32 - Cam dipilih sebagai mikrokontroler, antara lain fitur kamera yang memungkinkan pengguna

untuk memantau langsung di tempat yang berbeda, selain itu portnya cukup banyak dan mudah dihubungkan ke aplikasi telegram.

Kata Kunci : Etsa Otomatis; Papan Sirkuit Cetak; Telegram

1. PENDAHULUAN

Keinginan untuk mempermudah suatu pekerjaan merupakan naluri alami manusia, ia berjalan seiring dengan kecerdasan yang kita miliki [1]. Seiring berkembangnya teknologi, banyak inovasi alat-alat baru muncul dengan tujuan memproduksi suatu barang dalam jumlah besar tetapi dengan daya yang relatif kecil [2], [3] [1]. Salah satu inovasi yang berhasil diciptakan adalah alat yang digunakan untuk melarutkan lapisan tembaga pada PCB (*Printed Circuit Board*) secara otomatis dengan kontrol menggunakan *smartphone* [4], [5] [6]. Ponsel pintar saat ini sangat dikagumi dan dicari oleh berbagai kalangan, kemudahan aplikasi serta banyaknya fitur yang disediakan menjadi alasan utamanya [7].

Proses pelarutan lapisan tembaga pada PCB disebut proses *Etching* [8] atau disebut juga proses etsa. Proses etsa dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan lapisan tembaga yang tidak digunakan dalam pembuatan jalur rangkaian suatu perangkat yang berfungsi sebagai penyambung antar komponen pada PCB [9]. Proses pelarutan dilakukan dengan cara merendam PCB yang telah terdapat diagram rangkaiannya dalam larutan FeCl_3 , kemudian mencocok wadah tersebut secara manual dan perlahan menggunakan tangan [10]. Hal tersebut dinilai kurang efektif karena memerlukan waktu yang lama, selain itu apabila larutan FeCl_3 terkena tangan akan menimbulkan iritasi, untuk itu muncullah inovasi baru yaitu alat untuk melarutkan lapisan tembaga pada PCB secara otomatis dengan kontrol menggunakan *smartphone* [11], [12], [13].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang mesin pelarut lapisan tembaga pada PCB berbasis IoT (*Internet of Things*) menggunakan mikrokontroler ESP32-Cam [14], [15], [16], [17]. Sistem otomatis ini memperluas koneksi internet yang dapat terhubung secara real time menggunakan Internet of Things pada mesin pelarut pelapis tembaga pada PCB [18], [19], [20], [21]. Agar proses *etching* berjalan secara otomatis maka digunakan motor servo [22]. Motor servo umumnya dapat bekerja di kedua arah (umpan balik) dan motor servo dapat dikontrol menggunakan *Android* dan mikrokontroler ESP32-Cam [23], [24], [25]. Proses pelarutan lapisan tembaga pada PCB dilakukan dengan cara merendam PCB yang telah terukir di dalam wadah yang berisi cairan FeCl_3 , kemudian wadah tersebut digerakkan menggunakan motor dan ESP32-Cam digunakan untuk memonitor proses tersebut [26], [27] [28]. Ketika proses pelarutan lapisan tembaga pada PCB selesai, ESP32-Cam akan mengambil gambar dan mengirimkannya kepada pengguna melalui bot telegram [28], [29] [30]. Foto hasil pembilasan akan dijadikan sebagai pembanding oleh pengguna, apabila dirasa proses sudah cukup maka katup sensor piston akan terbuka sehingga cairan FeCl_3 akan keluar dari wadah yang digunakan dalam proses pelarutan [31], [32].

Proses penelitian mesin ini juga dilengkapi dengan prosedur keselamatan, mesin ini dilengkapi dengan sensor HC-SR04 yang berfungsi untuk mengukur jarak aman cairan FeCl_3 yang digunakan [33], [34], [35], [36] [37]. Apabila cairan FeCl_3 yang digunakan terlalu banyak, maka sensor akan mendeteksinya dan memberikan

perintah agar katup sensor piston terbuka dan cairan FeCl₃ yang berlebih akan dibuang [38]. Sensor DHT 11 yang digunakan pada mesin ini berfungsi untuk mendeteksi suhu cairan FeCl₃ (*Ferric Chloride*) sehingga pengguna dapat berhati-hati [39]. Cairan FeCl₃ bekerja dengan cara melarutkan lapisan tembaga pada PCB, sehingga menghasilkan reaksi kimia yang menimbulkan panas dan cairan tersebut akan menimbulkan iritasi jika terkena tangan. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan dampak yang lebih baik bagi pengguna yang melakukan proses etsa PCB.

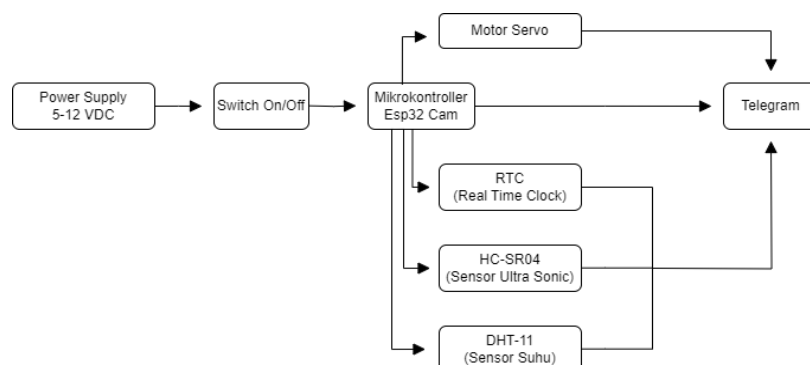
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research & Development* (R&D) dengan mengacu pada jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [40], [41], [42]. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Adi Prasetyo dengan judul “Mesin Etching PCB (*Printed Circuit Board*) menggunakan ESP32-Camera Berbasis *Internet Of Things*” menghasilkan sebuah mesin etching PCB otomatis namun terdapat beberapa hal yang kurang, alat yang dihasilkan tidak bekerja secara otomatis sepenuhnya. Pembuangan cairan FeCl₃ yang telah digunakan harus dilakukan secara manual sedangkan cairan tersebut dapat mengiritasi tangan, kemudian pada saat proses etching berlangsung untuk memantau prosesnya kita harus mendekat dan hal ini cukup beresiko karena cairan tersebut dapat mengenai mata.

Tujuan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat melengkapi kekurangan pada penelitian sebelumnya. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan alat yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya menjadi lebih baik lagi dan dapat bermanfaat bagi masyarakat luas khususnya dalam hal melarutkan lapisan tembaga pada PCB. Pada penelitian sebelumnya pembuatan mesin etching dilakukan secara sederhana agar proses etching berjalan secara otomatis, pada penelitian ini ditambahkan fitur kamera yang bertujuan agar pengguna dapat memantau proses etching melalui aplikasi telegram pada *Smartphone* di manapun pengguna berada.

2.1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok penelitian digunakan untuk memudahkan perancangan dan pembuatan alat. Diagram blok yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada gambar terdapat 8 bagian *hardware* yang saling terkait dan menggunakan tegangan DC 5 volt dari *Power Supply*. Langkah selanjutnya adalah menghubungkan *Power Supply* dengan *Switch* sebagai pemutus arus. Langkah ketiga menghubungkan ke mikrokontroler ESP32-Cam dengan menghubungkan pin VCC dan GND. Langkah keempat menghubungkan VCC dan GND yang digunakan sebagai sumber tegangan pada *hardware* seperti Motor Servo, RTC (*Real Time Clock*), HC-SR04, DHT-11. Langkah selanjutnya adalah menghubungkan data, setelah semua komponen sudah terhubung dan tersambung, langkah terakhir adalah menghubungkan ke Telegram untuk mengaktifkan sistem IOT (*Internet of things*).

2.2. Flowchart Sistem

Flowchart merupakan diagram alur penelitian dari awal sampai akhir penelitian dengan tujuan untuk memudahkan dalam proses penelitian dan apabila terjadi kesalahan mudah untuk dicari letak kesalahannya.



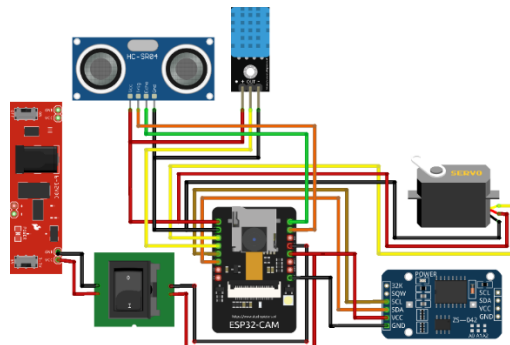
Gambar 2. Flowchart Sistem

Flowchart diawali dengan menghubungkan ESP32-Cam dengan IOT Sistem dan memastikan bahwa ESP32-Cam telah terhubung dengan IOT, jika belum terhubung maka dilakukan pengecekan ulang kemudian disambungkan kembali. Langkah selanjutnya adalah memasukkan batas waktu pada motor servo untuk menentukan berapa lama motor servo akan berjalan. Motor servo akan bergerak dan berhenti sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan pada langkah sebelumnya. Fitur kamera akan mengambil gambar, sensor DHT-11 akan mendeteksi suhu cairan FeCL3 pada container etching, dan sensor HC-SR04 akan mendeteksi ketinggian cairan FeCL3 yang digunakan. Hasil pembacaan sensor akan dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32-Cam ke user melalui bot telegram dan proses selesai.

2.3. Diagram Pengkabelan

Diagram pengkabelan pada merupakan jalur pengkabelan yang digunakan pada penelitian ini. Gambar tersebut berisi semua komponen yang digunakan sebagai input dan output pada penelitian ini, semua komponen yang digunakan dihubungkan dengan mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP-32. Semua komponen harus dihubungkan dengan baik dan benar agar perangkat yang telah dirakit dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang telah dibuat. Berikut ini adalah semua komponen yang digunakan pada penelitian tersebut:

- Sensor HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi kadar cairan FeCL3 yang digunakan dalam proses pelarutan lapisan tembaga pada PCB.
- Sensor DHT 11 digunakan untuk mendeteksi suhu cairan FeCL3 yang digunakan.
- Motor servo digunakan untuk menggerakkan wadah selama proses pelarutan lapisan tembaga pada PCB.
- Power Supply digunakan sebagai sumber tegangan
- ESP32-CAM digunakan sebagai Mikrokontroler [43], [44]
- Saklar digunakan sebagai pemutus tegangan
- Timer digunakan sebagai pemutus arus otomatis dengan periode waktu.



Gambar 3. Diagram Pengkabelan

Alamat pin dari komponen yang terhubung dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Alamat pin masing masing komponen menuju Mikrokontroller

NO	Component	Component Pin Address	ESP32-Cam Pin Address
1.	HC-SR04 Sensor	VCC	5V
		Trig	IO16
		Echo	3V3
		GND	GND
2.	DHT11 Sensor	+	5V
		Out	IO13
		-	GND
3.	Servo Motor	PWM	IO12
		VCC	5V
		GND	GND
4.	RTC 3231	SCL	IO15
		SDA	IO14
		VCC	VCC
		GND	GND
5.	Switch	VCC	VCC
		GND	GND
6.	Power Supply	VCC	-
		GND	-

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang pengujian setiap komponen yang akan digunakan dan kapan digunakan, kemudian merencanakan alat dan merealisasikan alat yang dibangun. Pengujian dilakukan untuk mengetahui data yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan yang telah dilakukan di awal penelitian, apabila hasil pengujian sesuai maka penelitian dilanjutkan ke tahap selanjutnya namun apabila terdapat kekurangan akan dilakukan perbaikan dan pengujian ulang agar alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan rencana penelitian.

3.1. Pengujian Power Supply

Tujuan pengujian *power supply* adalah untuk memastikan bahwa komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik. *Power supply* berfungsi sebagai sumber daya untuk seluruh perangkat sehingga harus dipastikan tegangan yang dihasilkan cukup baik dan stabil. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Pengujian Power Supply

Pengujian	Tegangan yang diperlukan	Alat Ukur	Perbedaan	Ketepatan
-----------	--------------------------	-----------	-----------	-----------

Ke-	(V)	(V)	(V)	(%)
1	5	5.08	0.8	92
2	5	5	0	100
3	5	5.07	0.7	93
4	5	5.01	0.1	99
5	5	5	0	100
Rata-rata	5	5.03	0.32	96.8

3.2. Pengujian Koneksi Jaringan Wifi Pada Esp32-Cam Sebagai Komunikasi Data

Pengujian koneksi jaringan internet Wi-Fi pada Esp32-Cam dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat dan berapa lama Esp32-Cam dapat terhubung dengan jaringan internet untuk komunikasi data di awal. Pengujian ESP32-Cam dapat dilihat terhubung dengan jaringan internet sebagai komunikasi data di awal. Untuk mengetahui apakah ESP32-Cam terhubung dengan internet atau tidak, maka dilakukan pengujian dengan menghitung waktu saat menghubungkan server sebanyak 5 kali. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Koneksi Wifi pada Mikrokontroller sebagai komunikasi data

Koneksi hotspot pada ESP32-Cam			
Pengujian Ke-	kondisi	Waktu tunggu (S)	Kecepatan
1	Terhubung	5	Baik
2	Terhubung	4	Baik
3	Terhubung	5	Baik
4	Terhubung	5	Baik
5	Terhubung	5	Baik

3.3. Pengujian Motor Servo SG90

Pengujian motor servo dilakukan untuk memastikan komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perintah yang diinginkan. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali kemudian diambil kesimpulan apakah motor servo yang digunakan dapat berfungsi dengan baik. Motor servo digunakan sebagai box drive pada saat proses etching. Pengujian dilakukan dari titik 0° sampai dengan titik 360° sehingga dapat diketahui apakah motor servo dapat bergerak dengan baik atau tidak, ketika motor servo bergerak sesuai dengan perintah yang diinginkan pengguna maka motor servo berhasil disetting dan sesuai dengan program. Penelitian ini menggunakan sudut 90° dan 180° agar kotak etsa dapat bergerak naik turun.

Tabel 4. Pengujian Motor Servo

Pengujian	Motor Servo SG90		Informasi
	Masukan	Keluaran	

1	0°	0°	Sukses
2	45°	45°	Sukses
3	90°	90°	Sukses
4	180°	180°	Sukses
5	360°	360°	Sukses

3.4. Pengujian Kamera Pada Esp32-Cam

Pengujian kamera dilakukan untuk memastikan apakah komponen dapat berfungsi dengan baik sesuai program atau tidak. Kamera digunakan pada proses terakhir setelah alat *etching* dihentikan. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah atau memberikan input dengan kata high yang berarti ESP32-Cam akan mengirimkan foto ke Telegram. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Pengujian Kamera pada ESP32-Cam

Pengujian	ESP32-CAM		Informasi
	Masukan	Keluaran	
1	Tinggi	Foto	Sukses
2	Tinggi	Foto	Sukses
3	Tinggi	Foto	Sukses
4	Tinggi	Foto	Sukses
5	Tinggi	Foto	Sukses

3.5. Pengujian Bot Telegram

Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian pada bot telegram. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk mengetahui apakah bot telegram dapat menerima pesan dengan baik. Waktu tunggu yang berbeda-beda adalah hal yang wajar asalkan tidak melebihi 7 detik, perbedaan tersebut disebabkan oleh jeda waktu yang memang dihasilkan oleh komponen.

Tabel 6. Pengujian Bot Telegram

Pengujian	Bot Telegram		Kecepatan
	Kondisi	Waktu tunggu (S)	
1	Mengirim	3	Bagus
2	Mengirim	2	Bagus
3	Mengirim	2	Bagus
4	Mengirim	3	Bagus
5	Mengirim	4	Bagus

3.6. Pengujian Sensor Dht11

Tabel 7 merupakan hasil pengujian sensor DHT 11 yang akan digunakan. Pengujian dilakukan untuk memastikan komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan program yang telah ditetapkan. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi yang dihasilkan sudah baik sehingga sensor DHT 11 yang digunakan dapat berfungsi dengan baik.

Tabel 7. Pengujian Sensor DHT11

Pengujian	Sensor DHT11		Ketepatan
	Suhu Terdeteksi	Waktu tunggu (S)	
1	32°	3	Bagus
2	34°	4	Bagus
3	33°	2	Bagus
4	33°	3	Bagus
5	32°	2	Bagus

3.7. Pengujian Sensor Hc-Sr04

Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan untuk memastikan komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan program yang telah ditetapkan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8. Pada tabel tersebut hasil akurasi menunjukkan nilai yang baik sehingga komponen sensor HC-SR04 yang digunakan dapat berfungsi dengan baik.

Tabel 8. Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian	Sensor HC-SR04		Ketepatan
	Jarak pengukuran (Cm)	Waktu tunggu (S)	
1	4	3	Bagus
2	3	4	Bagus
3	4	2	Bagus
4	2	3	Bagus
5	2	2	Bagus

3.8. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian secara keseluruhan dilakukan pada akhir proses setelah semua komponen selesai dirakit dan program telah dikirim ke mikrokontroler yang digunakan. Pengujian secara keseluruhan pada alat bertujuan untuk memastikan alat yang dibuat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan program yang diinginkan. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, kemudian akan dicatat hasil pengujian dan apakah dari ke 5 kali pengujian tersebut berhasil atau terdapat kendala. Jika alat dapat bergerak sesuai dengan

program, maka alat yang telah dirakit telah berhasil dan sukses, namun jika terdapat kendala maka dilakukan perbaikan hingga alat yang telah dirakit dapat berfungsi sesuai dengan program yang telah dibuat. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian	Sumber daya (v)	Waktu (Menit)	Waktu Awal (Menit)	Waktu berakhir (Menit)	Keterangan
1	5.08	5	19.20	19.25	Sukses
2	5	10	19.45	19.55	Sukses
3	5.07	15	20.10	20.25	Sukses
4	5.01	20	20.40	21.00	Sukses
5	5	25	21.10	21.35	Sukses

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pembuatan mesin etsa PCB menggunakan ESP32-Camera dan pembahasan yang telah dijelaskan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Mesin etsa yang telah dibuat dapat digunakan dalam proses pembuatan Papan PCB Biasa
2. Pembuatan PCB menjadi lebih mudah dan efisien karena waktu pembuatan PCB pada proses etsa lebih cepat.
3. Meminimalkan pekerjaan karena sistem yang digunakan berbasis *Internet of Things* sehingga dapat dikontrol menggunakan *Android*.
4. Sistem alat ini akan menyala saat saklar dinyalakan dan kemudian terhubung dengan wifi atau internet yang sama jika alat etsa ini bisa digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] M. Danuri, M. Informatika, J. Teknologi, and C. Semarang, "PERKEMBANGAN DAN TRANSFORMASI TEKNOLOGI DIGITAL."
- [2] R. Bangun Alat Monitoring Kondisi Suhu Tubuh dan Jantung Pasien Saat Perawatan, M. Abid Sahuri, D. R. Hadidjaja, A. Wisaksono, P. Studi Teknik Elektro, and F. Sains Dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, "RANCANG BANGUN ALAT MONITORING KONDISI SUHU TUBUH DAN JANTUNG PASIEN SAAT PERAWATAN BERBASIS INTERNET (IOT)," vol. 26, 2021.
- [3] H. Arif, S. Syahririni, A. F. Hayatal, and A. Ahfas, "SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika Sistem Deteksi Asap pada Ruangan dengan Dilengkapi Kamera Webcam", doi: 10.31284/p.snestik.2024.5909.
- [4] "PCB (Printed Circuit Board) Etching Machine Using ESP32-Camera Based Internet of Things".
- [5] M. Rangraz and L. Pareto, "Workplace work-integrated learning: supporting industry 4.0 transformation for small manufacturing plants by reskilling staff," *International Journal of Lifelong Education*, vol. 40, no. 1, pp. 5–22, 2021, doi: 10.1080/02601370.2020.1867249.
- [6] E. A. S. Aji, J. Jamaaluddin, A. Ahfas, and S. D. Ayuni, "Leak Monitoring in Split Duct Air Conditioner Based on Internet of Things," *IEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 7, no. 2, pp. 176–187, Nov. 2023, doi: 10.21070/jeeeu.v7i2.1678.
- [7] H. Yar, A. S. Imran, Z. A. Khan, M. Sajjad, and Z. Kastrati, "Towards smart home automation using iot-enabled edge-computing paradigm," *Sensors*, vol. 21, no. 14, Jul. 2021, doi: 10.3390/s21144932.
- [8] M. Veronika Tarihoran, Y. Alif Kurnia, J. Teknik Elektro, and U. Widya Kartika Surabaya megawati, "MESIN ETCHING PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD) MENGGUNAKAN ARDUINO NANO."
- [9] A. Hidayatno, A. R. Destyanto, and C. A. Hulu, "Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2019, pp. 227–233. doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.133.
- [10] "Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika".
- [11] J. Jamaaluddin, D. Hadidjaja, and H. Arif, "Smoke detection system using MQ2 sensor and Arduino microcontroller: Effective and efficient solution for promoting healthy environments," *AIP Conf. Proc.*, vol. 3167, no. 1, Jul. 2024.
- [12] M. C. Shilenge and A. Telukdarie, "Optimization of Operational and Information Technology Integration Towards Industry 4.0," *IEEE 31st International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 1076–1081, 2022.

- [13] R. A. A. Nur and D. Susandi, "Pengenalan Kondisi Tanah Dengan Raspberry Pi Pada Drone Penyemprot Tanaman," *"Pros. Semin. Nas. Ris. Dan Inf. Sci*, vol. 4, pp. 71–76, 2022.
- [14] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi, and I. B. Kennedy, "Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 225–230, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.010.
- [15] I. Hanafi, F. Hunaini, and D. Siswanto, "Monitoring And Control System Of Industrial Electric Motors Using The Internet Of Things Sistem Monitoring Dan Kontrol Motor Listrik Industri Menggunakan Internet Of Things (Iot)," *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA*, vol. 7, no. 1, 2023.
- [16] A. Isrofi, S. N. Utama, and O. V. Putra, "RANCANG BANGUN ROBOT PEMOTONG RUMPUT OTOMATIS MENGGUNAKAN WIRELESS KONTROLER MODUL ESP32-CAM BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)," *Jurnal Teknoinfo*, vol. 15, no. 1, p. 45, Jan. 2021, doi: 10.33365/jti.v15i1.675.
- [17] M. Aliffudin, I. Sulistiyowati, A. Hayatal, F. Prodi, and T. Elektro, "Sistem Monitoring Energy Mobil Listrik Terintegrasi IoT : Studi Kasus IMEI TEAM UMSIDA IoT Integrated Electric Car Energy Monitoring System: Case Study of IMEI TEAM UMSIDA," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 189.
- [18] A. Priyanto, S. Setiawidayat, and F. Rofii, "Design and Build an IoT Based Prepaid Water Usage Monitoring System and Telegram Notifications," *IEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 5, no. 2, pp. 197–213, Oct. 2021, doi: 10.21070/jeeeu.v5i2.1527.
- [19] M. K. J. Ramphela, P. A. Owolawi, T. Mapayi, and G. Aiyetoro, "Internet of Things (IoT) Integrated Data Center Infrastructure Monitoring System," in *2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/icABCD49160.2020.9183873.
- [20] I. Sulistiyowati, A. I. Muzaqi, M. S. Maulana, M. T. Alimova, and Supardi, "Revolutionizing package delivery with IoT-based smart boxes: Solving the Dilemma of missed deliveries," *AIP Conf Proc*, vol. 3167, no. 1, p. 20006, Jul. 2024, doi: 10.1063/5.0220240.
- [21] E. A. Suprayitno, I. Anshory, and Jamaaluddin, "Smart Home Integrated with Internet of Things (Iot) in the Digital Era of Industry 4.0," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/874/1/012010.
- [22] G. Rizka, A. Nrp, D. Pembimbing, F. Budiman, and K. Kontrol, "RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENJEPIT PCB 3 DOF BERBASIS ARDUINO UNTUK PROSES ETCHING PCB OTOMATIS."

- [23] V. Mulloni and M. Donelli, "Chipless RFID sensors for the internet of things: Challenges and opportunities," Apr. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s20072135.
- [24] A. Hilal and S. Manan, "PEMANFAATAN MOTOR SERVO SEBAGAI PENGGERAK CCTV UNTUK MELIHAT ALAT-ALAT MONITOR DAN KONDISI PASIEN DI RUANG ICU," 2012.
- [25] L. Chettri and R. Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 1, pp. 16–32, 2020.
- [26] A. A. Arsadi and E. Haryatmi, "Pemanfaatan Aplikasi Telegram dan Internet of Things pada Pemantauan Tempat Sampah," vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.30743/infotekjar.v5i2.3639.
- [27] M. I. Andriansyah, J. Jamaaluddin, A. Ahfas, Izza Anshory, and Dwi Hadidjaja, "Rancang Bangun Jebakan Tikus Berbasis Internet of Things dan Camera ESP32," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 4, no. 02 SE-Control, Robotics and System, pp. 43–53, Nov. 2023, doi: 10.31328/jasee.v4i02.442.
- [28] K. Jamaaluddin, Jamaaluddin; Anshory, Izza; S., Tedjo; Hindarto; Fudholi, Ahmad; Ahmudiarto, Yoyon; Martides, Erie; Sopian, "Heat Transfer Management of Solar Power Plant for Dryer," *Int. J. Eng. Appl.*, vol. 12, no. 3, p. 195, 2024, doi: 10.15866/irea.v12i3.23959.
- [29] M. H. S. Fadillansyah and I. Anshory, "Implementasi Home Security And Fire Detection System Berbasis Telegram," *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, p. 520, Dec. 2022, doi: 10.36499/psnst.v12i1.7007.
- [30] J. Qiu, Z. Tian, C. Du, Q. Zuo, S. Su, and B. Fang, "A Survey on Access Control in the Age of Internet of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 6, pp. 4682–4696, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2969326.
- [31] M. I. Hidayatullah, I. Sulistiyowati, D. Hadidjaja, and R. Saputra, "Automatic Roof Prototype on Aviary with Telegram Based Monitoring," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 239–250, 2023, doi: 10.12928/biste.v5i2.8214.
- [32] R. Seif El-Nasr, S. M. Abdelbasir, A. H. Kamel, and S. S. M. Hassan, "Environmentally friendly synthesis of copper nanoparticles from waste printed circuit boards," *Sep Purif Technol*, vol. 230, p. 115860, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115860>.
- [33] R. Prayogo, I. Anshory, I. Sulistiyowati, and S. Syahririni, "Formalin detection device in Tofu food with telegram monitoring," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 563–570, Jul. 2023, doi: 10.47709/cnahpc.v5i2.2393.
- [34] F.- Puspasari, I.- Fahrurrozi, T. P. Satya, G.- Setyawan, M. R. Al Fauzan, and E. M. D. Admoko, "Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due Untuk Sistem

- Monitoring Ketinggian,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 15, no. 2, p. 36, Jun. 2019, doi: 10.12962/j24604682.v15i2.4393.
- [35] M. Yan, E. Aditya, and H. Wibawanto, “Sistem Pengamatan Suhu dan Kelembaban Pada Rumah Berbasis Mikrokontroler ATmega8.”
- [36] A. Ahfas, D. Hadidjaja, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, “Implementation of ultrasonic sensor as a chemical percol fluid level control based on Atmega 16,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1098, no. 4, p. 042046, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/4/042046.
- [37] A. Halim, I. Anshory, and J. Jamaaluddin, “Sistem Pendeteksi Mundur Dan Manuver Pada Forklift Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino,” *Cyclotron*, vol. 2, no. 2, pp. 13–17, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i2.3255.
- [38] Jamaaluddin Jamaaluddin, Putra, Boy Isma and S. Agus Hayatal, “TRAINER SMART PLTS UNTUK PEMBELAJARAN SISTEM PLTS PADA SISWA SMK MUHAMMADIYAH 3 NGORO,” *MARTABE J. Pengabd. Masy.*, vol. 7, pp. 3552–3559, 2024, doi: 10.31604/jpm.v7i9.3552-3559.
- [39] Jamaaluddin, A. Akbar, and Khoiri, “Ultrasonic Flow Meters and Microcontrollers for Precise Water Management with 6.45% Error Margin,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2023. doi: 10.1088/1755-1315/1242/1/012017.
- [40] B. Budiana, N. S. Asaad, B. Sugandi, F. Nakul, V. Octowinandi, and M. T. Ginting, “The Effect of FC38 and FC34 as Etching Solutions on Multilayer PCB,” in *2020 3rd International Conference on Applied Engineering (ICAE)*, 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICAE50557.2020.9350553.
- [41] B. Muqdamien, U. Umayah, J. Juhri, and D. P. Raraswaty, “Tahap Definisi Dalam Four-D Model Pada Penelitian Research & Development (R&D) Alat Peraga Edukasi Ular Tangga Untuk Meningkatkan Pengetahuan Sains Dan Matematika Anak Usia 5-6 Tahun,” *Intersections*, vol. 6, no. 1, pp. 23–33, 2021, doi: 10.47200/intersections.v6i1.589.
- [42] B. S. Kusumaraga, S. Syahririni, D. Hadidjaja, and I. Anshory, “Aquarium Water Quality Monitoring Based On Internet Of Things,” *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i2.966.
- [43] I. Anshory, A. Wisaksono, J. Jamaaluddin, and A. Fudholi, “Implementation of ARM STM32F4 microcontroller for speed control of BLDC motor based on bat algorithm,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 127–135, Mar. 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i1.pp127-135.
- [44] B. Dewantara, I. Sulistiyowati, and J. Jamaaluddin, “Automatic Fish Feeder and Telegram Based Aquarium Water Level Monitoring,” *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 98–107, 2023.