

Rancang Bangun Sistem Hidrolik Buka Tutup Palka secara Otomatis dan Manual Berbasis *IoT*

Fahad Abdulloh Bin Ahmad^{1*}, Edi Kurniawan²

^{1,2}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: fahadabdulloh9@gmail.com

Abstract. *This study aims to design and build a hydraulic system capable of operating hatch opening and closing automatically and manually, with the application of Internet of Things (IoT) technology to monitor and control the system remotely. This system is designed to improve efficiency and ease of hatch operation on ships or other industrial applications, as well as prevent fires in cargo due to several factors such as unintentional negligence of the ship's crew and also weather factors with increasing temperatures. Where the automatic system uses a rain sensor to optimize time and energy, while manual control remains available as a backup option. This design involves the integration of hydraulic actuators, rain drop sensors, microcontrollers, and IoT communication modules that allow users to control and monitor the position of the hatch through a web-based application or mobile device. In compiling this scientific paper, researchers use experimental methods. This study shows the results that testing will be carried out directly by researchers, by testing the performance of the prototype of the automatic and manual hatch opening and closing hydraulic system design tool based on IoT by testing the effectiveness of the control system and sensor performance. In conclusion, this system successfully combines hydraulic and IoT technology to create an efficient, safe, and easy-to-use solution in practical applications.*

Keywords: *Hydraulic System, IoT, Microcontrollers, Rain Drop Sensor.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem hidrolik yang mampu mengoperasikan buka tutup palka secara otomatis dan manual, dengan penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan kemudahan dalam pengoperasian palka pada kapal atau aplikasi industri lainnya, serta mencegah terjadinya kebakaran pada muatan yang dikarenakan beberapa faktor seperti kelalaian crew kapal yang tidak disengaja serta bisa juga faktor cuaca yang temperaturnya meningkat. Dimana sistem otomatis menggunakan *rain sensor* digunakan untuk mengoptimalkan waktu dan tenaga, sementara kontrol manual tetap tersedia sebagai opsi cadangan. Perancangan ini melibatkan integrasi aktuator hidrolik, *rain drop sensor*, *mikrokontroler*, serta modul komunikasi *IoT* yang memungkinkan pengguna untuk mengendalikan dan memantau posisi palka melalui aplikasi berbasis web atau perangkat *mobile*. Dalam penyusunan karya ilmiah ini, peneliti menggunakan metode eksperimen. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa pengujian akan dilakukan secara langsung oleh peneliti, dengan cara menguji dari kinerja *prototype* alat rancang bangun sistem *hidraulik* buka tutup palka secara otomatis dan manual berbasis *IoT* dengan menguji keefektifan kinerja sistem kontrol dan sensor. Kesimpulannya, sistem ini berhasil menggabungkan teknologi hidrolik dan *IoT* untuk menciptakan Solusi yang efisien, aman, dan mudah digunakan dalam aplikasi praktis.

Kata kunci: *IoT, Mikrokontroler, Rain Drop Sensor, Sistem Hidrolik.*

1. PENDAHULUAN

Batubara adalah batuan sedimen yang mudah terbakar, terbentuk dari sisa-sisa tanaman dalam variasi tingkat pengawetan, diikat oleh proses kompaksi dan terkubur dalam cekungan-cekungan pada kedalaman yang bervariasi, dari dangkal sampai dalam (Hower, 2017). Batu bara menjadi salah satu sumber energi yang melimpah di Indonesia, menjadikannya salah satu negara penghasil batu bara terbesar di dunia. Saat ini, banyak negara maju menggunakan batu bara sebagai energi alternatif untuk menggantikan minyak.

Received April 02, 2025; Revised April 16, 2025; Accepted Mei 03, 2025; Published Mei 06, 2025

Batu bara sendiri merupakan batuan organik dengan sifat fisika dan kimia yang kompleks dan dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti kubus, balok, bulat, atau segitiga. Proses pemindahan distribusi batubara tidak hanya dilakukan didarat saja melainkan dapat dilakukan pada lepas pantai atau di muara menggunakan floating crane dan crane kapal sendiri. Pada lepas Muara Berau terdapat kegiatan pemuatan Batubara menggunakan metode floating crane atau menggunakan crane kapal sendiri.

Pada pelaksanaan bongkar muat sering terjadi perubahan cuaca yang tidak menentu. Kondisi cuaca buruk seperti hujan deras, badai atau kondisi cuaca buruk lainnya, seringkali dapat menyebabkan terjadinya insiden atau kecelakaan dalam operasional transportasi. Faktor cuaca buruk merupakan permasalahan yang sering kali dianggap sebagai penyebab utama dalam proses bongkar muat yang dilakukan di lepas pantai/muara. Dikarenakan pada saat proses bongkar muat harus dalam keadaan cuaca yang bagus dan mendukung mengingat muatan batu bara juga harus berhati hati agar tidak terjadi kebakaran pada batu bara. Seperti insiden di kapal MV. Habco Carina yang batu baranya terbakar saat dilakukan proses bongkar muat dan setelah dilakukan investigasi dari pihak terkait yang diakibatkan dari beberapa faktor muatan batu bara lama atau faktor dari kelalaian crew kapal yang tidak disengaja serta bisa juga faktor cuaca yang temperaturnya meningkat. Hal ini juga diakibatkan adanya oksidasi antara kandungan yang terdapat pada batu bara dengan oksigen yang berada di udara. Dengan ini diperlukan adanya teknologi sistem kontrol otomatis salah satunya otomatis penutup pintu palka yang bisa mencegah terjadinya kebakaran batu bara akibat tidak stabilnya temperatur atau suhu pada batu bara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

PALKA

Dalam industri maritim, palka kapal memegang peranan krusial dalam mendukung aktivitas bongkar muat barang, serta sebagai tempat penyimpanan muatan dan peralatan penting kapal. Fungsi utama palka kapal adalah menyediakan ruang penyimpanan yang aman dan efisien untuk muatan atau kargo yang akan diangkut kapal. Dalam hal ini, palka kapal harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menampung berbagai jenis muatan, termasuk barang cair, kering, curah, dan muatan khusus lainnya.

ESP32

ESP32 adalah modul *mikrokontroler terintegrasi* yang memiliki fitur lengkap dan kinerja tinggi (Kryсна Yudha Maulana, 2022). Modul ini merupakan pengembangan dari ESP8266, yang merupakan modul *WiFi* populer. ESP32 memiliki dua prosesor komputasi, satu prosesor untuk mengelola *jaringan WiFi* dan *Bluetooth*, serta satu prosesor lainnya untuk menjalankan aplikasi.

Dilengkapi dengan memori RAM yang cukup besar untuk menyimpan data. Fitur yang berguna seperti TCP/IP, HTTP, dan FTP. Modul ini juga dilengkapi fitur pemrosesan sinyal analog, dukungan untuk sensor, dan dukungan untuk perangkat *Input/Output (I/O)* digital. ESP32 juga memiliki dukungan untuk konektivitas *Bluetooth*. Dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat yang terhubung dengan *Bluetooth*.

Rain Drop Sensor

Rain sensor merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi hujan turun atau tidak. Intinya sensor ini jika terkena air pada papan sensornya maka resistansinya akan berubah, semakin banyak semakin kecil dan sebaliknya (Farhan, 2019). Sensor ini dapat digunakan sebagai *switch* saat adanya tetesan air hujan yang jatuh melewati *raining board* yang terdapat pada sensor, selain itu *rain drop sensor* juga dapat digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan.

Hidrolik

Sistem hidrolik merupakan suatu bentuk perubahan atau pemindahan daya dengan menggunakan media penghantar berupa fluida cair untuk memperoleh daya yang lebih besar dari daya awal yang dikeluarkan (Bhirawa, 2017). Sistem ini termasuk dari bentuk perubahan dan pemindahan daya dengan menggunakan media penghantar berupa *fluida* cair guna mendapatkan daya yang lebih besar dari yang awalnya dikeluarkan.

Solenoid Valve

Katup *solenoid*, perangkat elektromekanis, mengontrol aliran gas atau cairan dengan mengubah posisi katup ketika arus listrik dilewatkan melalui kumparan solenoid (Angadi et al., 2009). *Solenoid valve pneumatic* atau katup *valve solenoida* mempunyai lubang keluaran, lubang masukan dan lubang *exhaust*.

Water Pump DC 12V

Pompa air merupakan alat yang digunakan untuk menyerap sekaligus mendorong air dengan bantuan sumber daya listrik (Yosia Priambodo et al., 2019). Pompa air ada dua jenis yaitu pompa air DC dan pompa air AC. Pompa air yang digunakan adalah pompa DC. *Water pump* DC biasanya dihubungkan langsung ke sumber daya energi alternatif, seperti panel surya atau baterai, yang membuatnya lebih efisien dalam penggunaan energi dan biaya.

Relay 12v

Relay adalah suatu komponen elektronika berupa saklar atau switch yang digerakkan oleh arus listrik. *Relay* ini terdiri dari dua komponen utama di dalamnya yakni bagian pertama berupa lilitan atau kumparan elektromagnet dan bagian kedua adalah seperangkat kontak saklar (Amara, 2023). Komponen ini terdiri dari dua bagian, yaitu *elektromagnet coil* dan mekanikal *switch*. Dalam pengoperasiannya, *relay* memanfaatkan prinsip *elektromagnetik* untuk menggerakkan saklar dan menghantarkan arus listrik.

Buzzer

Buzzer adalah komponen elektronik yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara (Manurung et al., 2021). Di gunakan pada rangkaian elektronik yang membutuhkan sinyal suara sebagai tanda atau indikator, seperti pada alarm, permainan elektronik, atau perangkat pengaman. *Buzzer* bekerja dengan menggunakan prinsip elektromagnetik. Pada dasarnya, terdapat dua komponen utama yang ada dalam *buzzer*, yaitu elektromagnet dan membran/penutup yang bergetar ketika arus listrik mengalir.

Power Supply (Adaptor)

Power supply adalah komponen perangkat keras yang menyediakan listrik untuk menyalakan komputer dan perangkat lainnya. Ini mengubah arus listrik yang ditarik dari sumber listrik, seperti stopkontak, baterai atau generator, ke format yang benar dan meneruskannya ke perangkat (Alvana Noor Fariza, 2021). Ini juga mengatur tegangan yang dilewatkan ke mesin untuk mencegah panas berlebih. Untuk mengubah tegangan AC ke DC didalam *power supply* banyak sekali komponen elektronika. Sebagian komponen-komponen yang ada pada alat peraga ini menggunakan arus DC 12 V, maka untuk mengubah arus dari AC ke DC maka perlu adanya *power supply*.

Step Down Converter

Konversi DC-DC mode sakelar sebagaimana pada gambar 2.10 adalah teknologi yang matang dan mapan yang digunakan dalam berbagai macam aplikasi yang menuntut (Geyer et al., 2008). Namun, masalah kontrol yang terkait dengan konverter tersebut masih menimbulkan teoritis dan tantangan praktis. Secara garis besar rangkaian converter DC ke DC ini memakai komponen *switching* seperti *MOSFET* (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), *thyristor*, IGBT untuk mengatur *duty cycle*.

3. METODE PENELITIAN

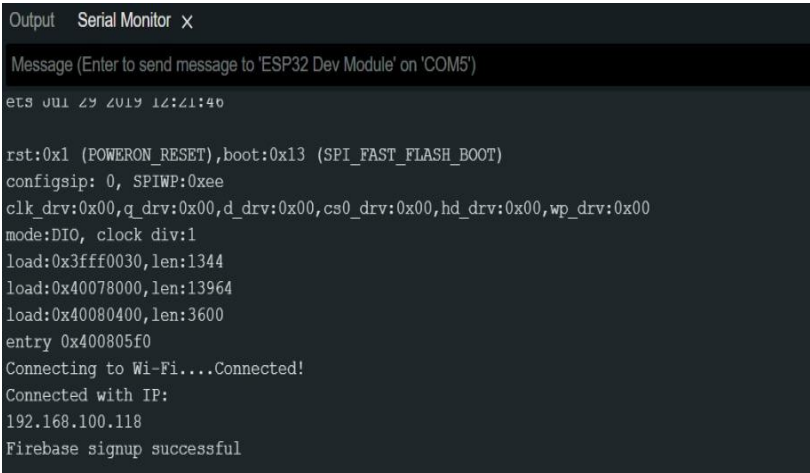
Dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini, peneliti menggunakan metode penelitian eksperimen. Rencana pengujian yang akan dilakukan pada alat ini yaitu menggunakan dua buah metode pengujian yaitu rencana pengujian statis dan rencana pengujian dinamis.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Statis

Pengujian Akses *Firestore*

Pengujian *Firestore* dilakukan dengan cara mengirim data dari ESP 32 pada server ke aplikasi *Firestore* untuk mengetahui apakah dapat dilakukan komunikasi dari *Firestore* dengan ESP 32, Komunikasi tersebut nanti digunakan untuk mengontrol sistem *IoT*.



```

Output  Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM5')
ets Jun 29 2019 12:21:40

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0030,len:1344
load:0x40078000,len:13964
load:0x40080400,len:3600
entry 0x400805f0
Connecting to Wi-Fi....Connected!
Connected with IP:
192.168.100.118
Firestore signup successful
  
```

Sumber: Dokumen Pribadi

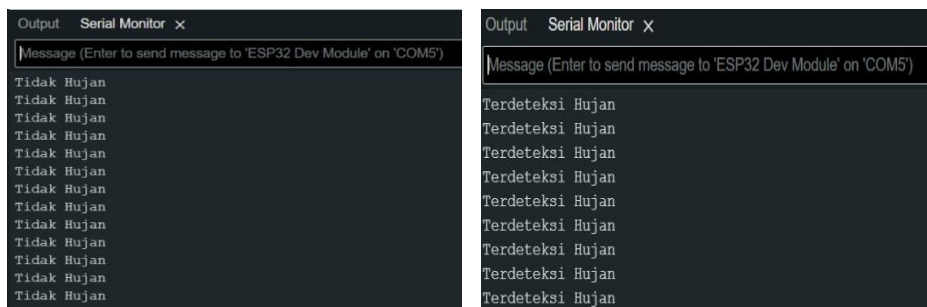
Gambar 1. Program Koneksi ESP ke *Firestore*

Berdasarkan gambar 1 menunjukkan tampilan Serial Monitor yang menampilkan log saat ESP32 melakukan proses booting dan koneksi ke Wi-Fi serta IP agar bisa terhubung dengan aplikasi *Firestore*. Pada gambar tersebut ESP32 berhasil melakukan booting, terhubung

ke Wi-Fi, mendapatkan alamat IP, dan sukses mengakses *Firebase*. Log ini biasanya digunakan untuk debugging dan memastikan bahwa system berjalan dengan benar.

Pengujian Sensor Hujan

Pengujian sensor hujan dengan cara memberikan sensor dengan air. Apabila sensor mendeteksi air maka serial monitor akan membaca dan menampilkan bahwa terdeteksi adanya hujan, apabila sensor tidak terdapat air maka serial monitor menunjukkan tidak adanya hujan.



(a) Tidak hujan

(b) Terdeteksi hujan

Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 2. Pengujian Sensor Hujan (A) Tidak Hujan, (B) Terdeteksi Hujan

Berdasarkan gambar 2 menunjukkan tampilan serial monitor dari pengujian sensor hujan dengan menggunakan air bekerja dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Water Pump

Pengujian *water pump* dengan cara mengecek tegangan pada pompa tersebut terdapat tegangan 12 V atau tidak.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 3. Pengujian Water Pump

Berdasarkan gambar 3 menunjukkan bahwa *water pump* memiliki tegangan 12V. Sehingga dapat dikatakan *water pump* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Pengujian *Buzzer*

Pengujian *buzzer* dengan mengecek tegangan pada kabel dengan ESP32, apakah *buzzer* tersebut terdapat tegangan 3 V atau tidak.



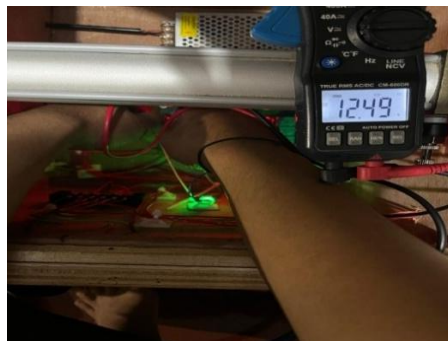
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 4. Pengujian Buzzer

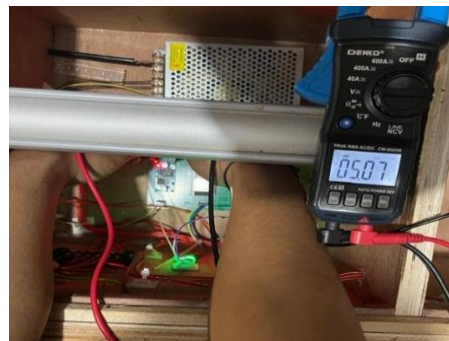
Berdasarkan gambar 4 hasil dari pengukuran tegangan *buzzer* menggunakan Avometer menunjukkan 3V. Sehingga dapat dikatakan bahwa *buzzer* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Pengujian Step Down

Pengujian modul *step down* DC bertujuan untuk memastikan bahwa modul tersebut dapat menurunkan tegangan input ke tegangan output sesuai spesifikasi, dengan cara memultitester *step down* apakah tegangan yang kita inginkan sudah sesuai atau belum.



(a)



(b)

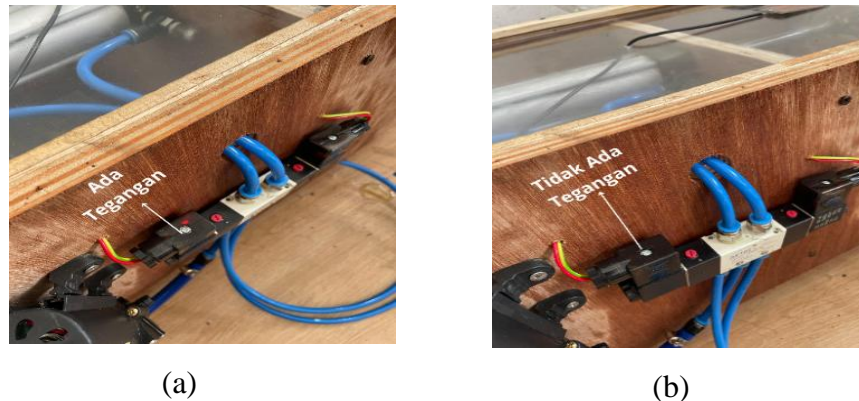
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 5. Pengujian Step Down (A) Input Tegangan (B) Output Tegangan

Berdasarkan gambar 5 hasil dari pengukuran tegangan input dan output *step down* menggunakan Avometer berfungsi dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa *step down* memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Pengujian Solenoid Valve

Pengujian *Solenoid valve* dengan cara mengecek pada kabel yang terkoneksi, apakah *solenoid valve* tersebut ada tegangan atau tidak.



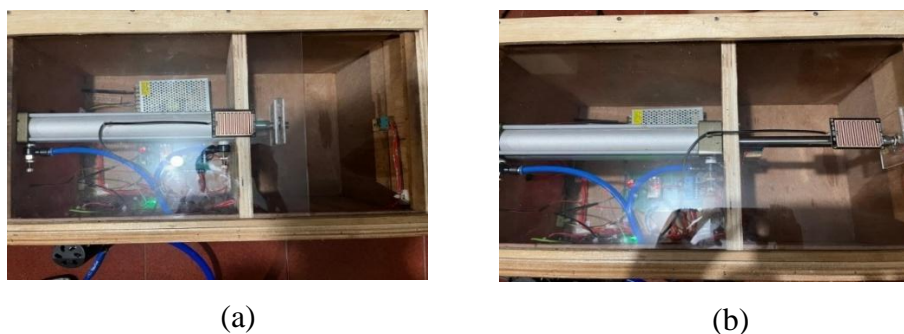
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 6. Pengujian Solenoid Valve (A) Ketika Ada Tegangan, (B) Ketika Tidak Ada Tegangan

Berdasarkan gambar 6 menunjukkan hasil pengujian tegangan *solenoid valve* bekerja dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa *solenoid valve* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Hidrolik

Pengujian hidrolik dengan cara memberikan tekanan oli apakah hidrolik bisa berfungsi dengan baik untuk membuka dan menutup palka.



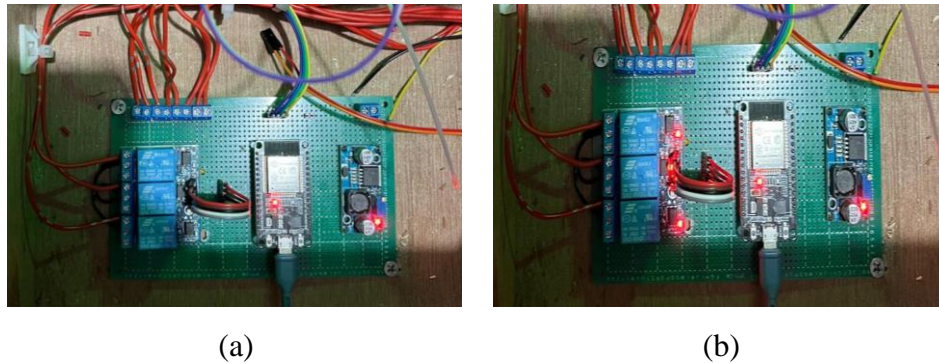
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 7. Pengujian Hidrolik (A) Palka Terbuka, (B) Palka Tertutup

Berdasarkan gambar 7 menunjukkan hasil pengujian hidrolik bekerja dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa hidrolik berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Relay

Pengujian *Relay 3 Channel* dengan cara mengunci respon setiap *channel relay* ketika mendapat perintah dari program untuk diaktifkan.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 8. Pengujian Relay (A) Tidak Terkoneksi (B) Terkoneksi

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan hasil pengujian tegangan *relay* bekerja dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa *relay* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Dinamis

Pengujian Aplikasi Firebase

Berikut adalah dokumentasi dari pengujian ketika alat mendapatkan perintah melalui aplikasi *firebase*. Dan juga kita bisa melihat gambar apakah aplikasi *firebase* bekerja dengan baik sesuai perintah atau tidak.



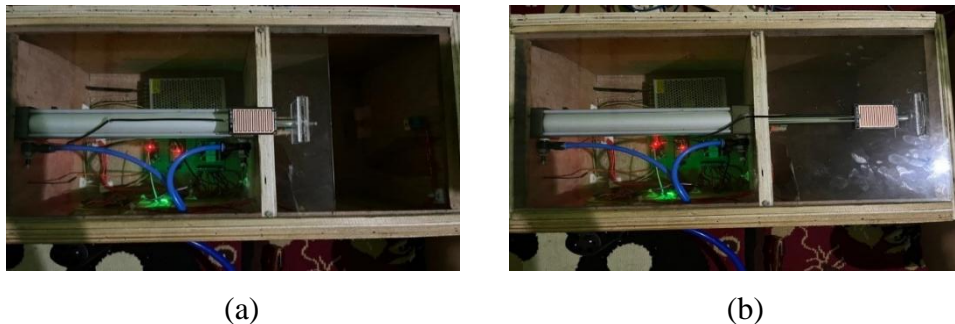
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 9. Pengujian Aplikasi Firebase

Berdasarkan gambar 9 menunjukkan hasil pengujian dari aplikasi *IoT* bekerja dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa aplikasi *IoT* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Kontrol

Pada pengujian kontrol ini dibagi menjadi 2 yaitu dengan cara manual dan otomatis. Untuk manual kita sediakan *Push button* buat kontrol manual dan untuk otomatis sendiri dari sensor hujan.



Sumber: Dokumen Pribadi

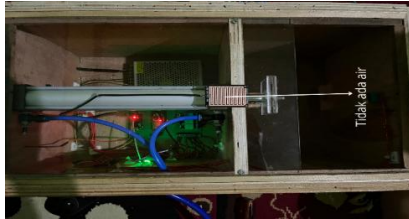
Gambar 10. Pengujian Kontrol Manual (A) Palka Membuka, (B) Palka Menutup

TABEL 1. PENGUJIAN KONTROL MANUAL

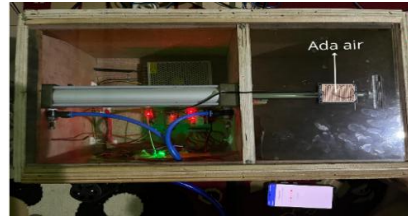
No.	Perintah	Kerja Hidrolik	Keterangan
1	Membuka	Membuka	Palka Membuka
2	Membuka	Membuka	Palka Membuka
3	Membuka	Membuka	Palka Membuka
4	Membuka	Membuka	Palka Membuka
5	Membuka	Membuka	Palka Membuka
6	Membuka	Membuka	Palka Membuka
7	Membuka	Membuka	Palka Membuka
8	Membuka	Membuka	Palka Membuka
9	Membuka	Membuka	Palka Membuka
10	Membuka	Membuka	Palka Membuka
11	Membuka	Membuka	Palka Membuka
12	Membuka	Membuka	Palka Membuka
13	Membuka	Membuka	Palka Membuka
14	Membuka	Membuka	Palka Membuka
15	Membuka	Membuka	Palka Membuka
16	Menutup	Menutup	Palka Menutup
17	Menutup	Menutup	Palka Menutup
18	Menutup	Menutup	Palka Menutup
19	Menutup	Menutup	Palka Menutup
20	Menutup	Menutup	Palka Menutup
21	Menutup	Menutup	Palka Menutup
22	Menutup	Menutup	Palka Menutup
23	Menutup	Menutup	Palka Menutup
24	Menutup	Menutup	Palka Menutup
25	Menutup	Menutup	Palka Menutup

No.	Perintah	Kerja Hidrolik	Keterangan
26	Menutup	Menutup	Palka Menutup
27	Menutup	Menutup	Palka Menutup
28	Menutup	Menutup	Palka Menutup
29	Menutup	Menutup	Palka Menutup
30	Menutup	Menutup	Palka Menutup

Berdasarkan data diatas menunjukkan tingkat keberhasilan dari pengujian kontrol manual membuka dan menutup palka sangat bagus dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.



(a)



(b)

Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 11. Pengujian Kontrol Otomatis (A) Tidak Ada Air, (B) Ada Air

TABEL 2. PENGUJIAN KONTROL OTOMATIS

No	Kondisi Cuaca	Kondisi Hidrolik	Keterangan
1	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
2	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
3	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
4	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
5	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
6	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
7	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
8	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
9	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
10	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
11	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
12	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
13	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
14	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
15	Tidak Hujan	Membuka	Palka Membuka
16	Hujan	Menutup	Palka Menutup
17	Hujan	Menutup	Palka Menutup
18	Hujan	Menutup	Palka Menutup
19	Hujan	Menutup	Palka Menutup
20	Hujan	Menutup	Palka Menutup
21	Hujan	Menutup	Palka Menutup
22	Hujan	Menutup	Palka Menutup
23	Hujan	Menutup	Palka Menutup
24	Hujan	Menutup	Palka Menutup
25	Hujan	Menutup	Palka Menutup
26	Hujan	Menutup	Palka Menutup
27	Hujan	Menutup	Palka Menutup
28	Hujan	Menutup	Palka Menutup
29	Hujan	Menutup	Palka Menutup
30	Hujan	Menutup	Palka Menutup

Berdasarkan data diatas menunjukkan tingkat keberhasilan dari pengujian kontrol otomatis membuka palka dengan sensor hujan sangat bagus dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Pengujian Dengan Push Button

Berikut adalah dokumentasi dari pengujian ketika alat mendapatkan perintah ketika *push button* tutup dan *push button* membuka. Apakah alat berfungsi dengan baik sesuai perintah atau tidak.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 12. Pengujian Dengan Push Button (A) Palka Membuka, (B) Palka Menutup

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan hasil pengujian tegangan *push button* bekerja dengan baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa *push button* berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dalam karya tulis skripsi ini, dapat disimpulkan bahwa sistem rancang bangun palka secara otomatis dan manual dengan rain sensor berbasis IoT dirancang untuk mendeteksi perubahan cuaca melalui sensor hujan. Sensor ini terhubung dengan sistem berbasis IoT yang memungkinkan palka menutup secara otomatis saat hujan terdeteksi. Selain itu, disediakan juga sistem manual menggunakan push button sebagai cadangan apabila diperlukan. Kombinasi antara sistem otomatis dan manual ini memastikan fungsi palka tetap berjalan baik dalam berbagai kondisi. Keandalan palka otomatis ini terbukti mampu bekerja secara cepat dan berhasil 100% dengan memanfaatkan sensor hujan yang responsif, sistem kontrol berbasis IoT yang terintegrasi, serta mekanisme penggerak yang efisien. Kombinasi tersebut memungkinkan sistem mendeteksi hujan dengan cepat dan

menutup palka secara otomatis tanpa jeda yang signifikan, sehingga area yang dilindungi tetap aman dan terlindungi secara efektif.

Berdasarkan hasil percobaan dan data yang diperoleh, terdapat beberapa hal yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, aplikasi masih menggunakan Firebase, yang merupakan platform pihak ketiga dengan keterbatasan fitur dan akses, di mana fitur-fitur lanjutan bersifat berbayar. Kedua, sistem ini masih bergantung pada koneksi internet karena Firebase mengharuskan alat dan smartphone untuk selalu terhubung secara daring, sehingga belum dapat diakses secara lokal. Ketiga, untuk pembuatan prototype selanjutnya, disarankan agar sistem hidrolik menggunakan tenaga udara (pneumatik) bukan oli, karena penggunaan oli dapat menyebabkan kebocoran yang signifikan pada prototype. Terakhir, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur kontrol otomatis tidak hanya untuk menutup, tetapi juga membuka palka, agar sistem menjadi lebih fleksibel dan efisien.

REFERENSI

- Alvana Noor Fariza. (2021). *Mengulas power supply, komponen hardware untuk mengubah arus tegangan*. Sekawanmedia. <https://www.sekawanmedia.co.id/blog/mengenal-power-supply/#:~:text=Power> supply adalah komponen perangkat keras yang menyediakan, ke format yang benar dan meneruskannya ke perangkat.
- Amara, C. (2023). *Relay: Pengertian, simbol, fungsi, jenis dan cara kerja relay*. Ilmu Elektro. <https://ilmuelektro.id/relay/#:~:text=Pengertian> relay adalah suatu komponen elektronika berupa saklar atau switch
- Angadi, S. V., Jackson, R. L., Choe, S. Y., Flowers, G. T., Suhling, J. C., Chang, Y. K., Ham, J. K., & Bae, J. I. (2009). Reliability and life study of hydraulic solenoid valve. Part 2: Experimental study. *Engineering Failure Analysis*, 16(3), 944–963. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.08.012>
- Bhirawa, W. (2017). Sistem hidrolik pada mesin industri. *Jurnal Teknologi Industri*, 6, 78–88.
- Farhan. (2019). *Mendeteksi hujan menggunakan rain sensor dan Arduino*. Indomaker. <http://indomaker.com/product/blog/mendeteksi-hujan-menggunakan-rain-sensor-dan-arduino/#:~:text=Rain> sensor merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi hujan turun
- Gamal Tabroni. (2021). *Metode penelitian eksperimen: Pengertian, langkah & jenis*. Serupa.id. <https://serupa.id/metode-penelitian-eksperimen/#:~:text=Menurut> Darmadi (2014, hlm. 17)
- Geyer, T., Papafotiou, G., Frasca, R., & Morari, M. (2008). Constrained optimal control of the step-down DC-DC converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(5), 2454–2464. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2008.2002057>

- Hower, J. C. (2017). *International handbook of coal petrography: Second edition, 1963, International Committee for Coal and Organic Petrology, 2001 CD ROM reprint.*
- Kryсна Yudha Maulana. (2022). Apa itu ESP32, salah satu modul Wi-Fi populer. Anak Teknik. <https://www.anakteknik.co.id/krysnayudhamaulana/articles/apa-itu-esp32-salah-satu-modul-wi-fi-poppuler>
- Lestari, E., Rachman, S., & Rais, A. A. (2022). Persiapan ruang muat pada kapal curah guna menunjang keberhasilan dalam proses pemuatan di MV. C. Utopia. *Jurnal Venus*, 9(2), 26–34. <https://doi.org/10.48192/vns.v9i02.440>
- Manurung, M. J., Poningsi, P., Andani, S. R., Safii, M., & Irawan, I. (2021). Door security design using fingerprint and buzzer alarm based on Arduino. *Journal of Computer Networks, Architecture, and High-Performance Computing*, 3(1), 42–51. <https://doi.org/10.47709/cnahpc.v3i1.929>
- Muliyah, P., Aminatun, D., Nasution, S. S., Hastomo, T., & Sitepu, S. S. W. (2020). Metode penelitian. *Journal GEEJ*, 7(2), 40–58.
- Priambodo, Y. V., & Rahmawati, Y. (2019). Studi perencanaan pompa air tenaga surya sebagai pengadaan air bersih rumah tangga. *SinarFe7*, 2(1), 388–392.
- Sari, D. P., & Kurniawan, R. (2021). Penerapan Internet of Things pada sistem monitoring suhu ruang server menggunakan ESP32. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 9(2), 124–130.
- Wicaksono, A. (2022). Penggunaan sensor kelembaban tanah berbasis Arduino untuk irigasi otomatis. *Jurnal Inovasi Teknologi*, 5(1), 55–62.