



Sistem Keamanan Kotak Paket Cerdas Berbasis IoT dengan Teknologi MQTT

Dani Sasmoko^{*1}, Reni Veliyanti², S.Anang Wijayanto³

^{1,2,3}Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Semarang, Indonesia

E-mail : dani@stekom.ac.id*

*Corresponding author

Received 14 November 2024; Revised 17 November 2024; Accepted 26 November 2024

Abstrak - Protokol MQTT digunakan oleh sistem keamanan kotak paket cerdas yang berbasis Internet of Things (IoT) untuk menjamin keamanan dan kecepatan penerimaan paket. Sistem ini menggunakan perangkat ESP32 dan sejumlah sensor, termasuk keypad dan sensor magnetik, serta aktuator seperti solenoid kunci pintu dan LCD yang terhubung ke server MQTT yang bisa diakses melalui perangkat android. Fitur utama sistem ini termasuk notifikasi tentang kedatangan paket, verifikasi identitas penerima menggunakan empat digit terakhir nomor telepon, dan dua mode operasi, otomatis dan manual. Pengujian dilakukan dalam kondisi hujan dengan 10x pengujian dan data terkirim dari perangkat keras ke server MQTT dan ke hp .Sistem ini telah menunjukkan bahwa dapat menjaga keamanan dan memantau status paket secara langsung dengan baik. Proses pengiriman informasi baik dari perangkat keras ke perangkat lunak maupun sebaliknya berjalan di waktu antara 1-2 detik saja. Hasil uji coba menunjukkan bahwa perangkat keras kotak paket cerdas dan server MQTT dapat berkomunikasi dengan baik, yang memungkinkan kurir dan pemilik berkomunikasi.

Kata Kunci – MQTT, IoT, ESP32, Kotak_Paket, Keamanan

Abstract - The MQTT protocol is used by the smart package box security system based on the Internet of Things (IoT) to ensure the security and speed of package reception. This system uses ESP32 devices and several sensors, including a keypad and magnetic sensors, as well as actuators such as door lock solenoids and an LCD connected to an MQTT server that can be accessed via Android devices. The main features of this system include notifications about package arrivals, recipient identity verification using the last four digits of their phone number, and two operating modes, automatic and manual. Testing was conducted in rainy conditions with 10 tests, and data was transmitted from the hardware to the MQTT server and to the phone. This system has shown that it can maintain security and monitor package status directly and effectively. The process of information transmission, whether from hardware to software or vice versa, takes only 1-2 seconds. The test results show that the smart package box hardware and the MQTT server can communicate well, allowing couriers and owners to communicate.

Keywords – MQTT, IoT, ESP32, package_box, Security.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang keamanan. IoT memungkinkan perangkat-perangkat yang berbeda untuk berkomunikasi dan berinteraksi dengan satu sama lain, sehingga membuka peluang untuk mengembangkan sistem keamanan yang lebih canggih dan efektif (Espino et al., 2024).



Salah satu teknologi yang digunakan dalam IoT adalah MQTT (Message Queue Telemetry Transport), yang merupakan protokol komunikasi yang dirancang khusus untuk aplikasi IoT. Menurut Has dan Kamil MQTT memungkinkan perangkat-perangkat IoT untuk berkomunikasi dengan server dan dengan perangkat lainnya dalam jaringan, sehingga memungkinkan pengembangan sistem keamanan yang lebih kompleks dan efektif (Has et al., 2024; Kamil et al., 2024).

Menurut Aswini dan Alzhrani saat ini, sistem keamanan pintu locker saat ini masih banyak yang menggunakan teknologi konvensional, seperti kunci mekanis atau kode akses di tinjau dari segi keamanan masih lemah dan mudah di manipulasi(Aswini & Nandakumar, 2019)(Alzhrani et al., 2024). Sistem keamanan ini memiliki kelemahan, seperti dapat dibobol oleh orang yang tidak berhak atau dapat diakses oleh orang yang tidak berhak (Abed et al., 2024; Ahmed et al., 2023; Aryanto et al., 2024). Selain itu, sistem keamanan ini tidak dapat memberikan notifikasi kepada pemilik ketika paket datang, sehingga paket dapat rusak atau hilang (Aswini & Nandakumar, 2019; Chakkaravarthy Sethuraman et al., 2022). Pengirim paket akan mengalami kendala dalam pengiriman paket ketika kondisi penerima tidak ada di rumah, proses pengiriman akan mengalami keterlambatan karena susah nya meletakan paket yang dapat membuat paket rusak atau hilang. (Abed et al., 2024; Ahmed et al., 2023). Pada penelitian Aswini memberikan solusi membuka paket dengan menggunakan bluetoot pada smartphone dan sistem yang di kembangkan Alzhrani menggunakan sistem pembuka kotak pake menggunakan pengenalan wajahm, ke dua sistem belum memikirkan bagaimana cara pengirim pake membuka kotak paket sehingga akan menyusahkan pengirim paket.

Pada penelitian ini di kembangkan sistem keamanan kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT. Sistem ini memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi dengan server dan dengan perangkat lainnya dalam jaringan, sehingga memungkinkan pengembangan sistem keamanan yang lebih kompleks dan efektif (Harkai, 2024; Sahrab & Marhoon, 2022; Uma Maheswari et al., 2023)(Seoane et al., 2021). Sistem keamanan Kotak paket cerdas berbasis IoT ini dapat memberikan notifikasi kepada pemilik kotak paket ketika paket datang, sehingga paket dapat diambil dengan cepat dan aman atau di letak kan di dalam kotak paket cerdas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT yang lebih canggih dan efektif. Pemilihan MQTT di karenakan padan teknologi ini lebih stabildi bandingkan pemakaian CoAP dan HTTP, selain itu pada pada MQTT dapat berjalan pada sistem jaringan terbatas karena overhead data rendah dan menggunakan model Publish/Subscribe sehingga Membantu mengurangi beban perangkat karena komunikasi dilakukan melalui broker(Kamil et al., 2024)(Aryanto et al., 2024). Pemilihan MQTT diharapkan dapat di gunakan di daerah yang koneksi nya tidak terlalu cepat dan tidak stabil serta sistem ini diharapkan dapat memberikan notifikasi kepada pemilik Kotak paket cerdas ketika paket datang, sehingga paket dapat diambil dengan cepat dan aman (Aryanto et al., 2024; Espino et al., 2024)..

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan kotak paket cerdas berbasis IoT yang dapat memantau kondisi kotak paket cerdas secara real-time, mengidentifikasi pengguna yang berhak mengakses kotak paket cerdas, dan mengirimkan notifikasi kepada pemilik kotak paket cerdas ketika paket datang (Aswini & Nandakumar, 2019; Chakkaravarthy Sethuraman et al., 2022; Uma Maheswari et al., 2023).

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan sistem keamanan kotak paket cerdas berbasis IoT yang lebih canggih dan efektif, sehingga memungkinkan pengembangan sistem keamanan yang lebih kompleks dan efektif..



2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan model prototype untuk mengembangkan sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT. Metode eksperimen ini dipilih karena dapat membantu peneliti untuk menguji coba sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang telah dikembangkan dan memastikan bahwa sistem tersebut dapat berfungsi dengan baik (Alzhrani et al., 2024; Uma Maheswari et al., 2023).

Model Prototype

Model prototype yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, seperti:

1. Perangkat IoT yang menggunakan teknologi MQTT
2. Sistem Kotak paket cerdas yang dapat memantau kondisi kotak paket secara real-time
3. Sistem pengenalan pengguna yang dapat mengidentifikasi pengguna yang berhak mengakses locker dengan menggunakan 4 digit nomor telepon yang tertera di paket.
4. Sistem notifikasi yang dapat mengirimkan notifikasi kepada pemilik Kotak paket cerdas ketika paket datang

Pengembangan Prototype

Pengembangan prototype sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT dilakukan dalam beberapa tahap, seperti:

1. Perancangan sistem: Tahap ini melibatkan perancangan sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT.
2. Pengembangan perangkat lunak: Tahap ini melibatkan pengembangan perangkat lunak yang dapat mengakses sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT dengan berbasis Android.
3. Pengembangan sistem pengenalan pengguna: Tahap ini melibatkan pengembangan sistem pengenalan pengguna yang dapat mengidentifikasi pengguna yang berhak mengakses kotak paket dengan memasukan 4 digit terakhir nomor telepon yang tertera.
4. Pengembangan sistem notifikasi: Tahap ini melibatkan pengembangan sistem notifikasi yang dapat mengirimkan notifikasi kepada pemilik kotak paket ketika paket datang

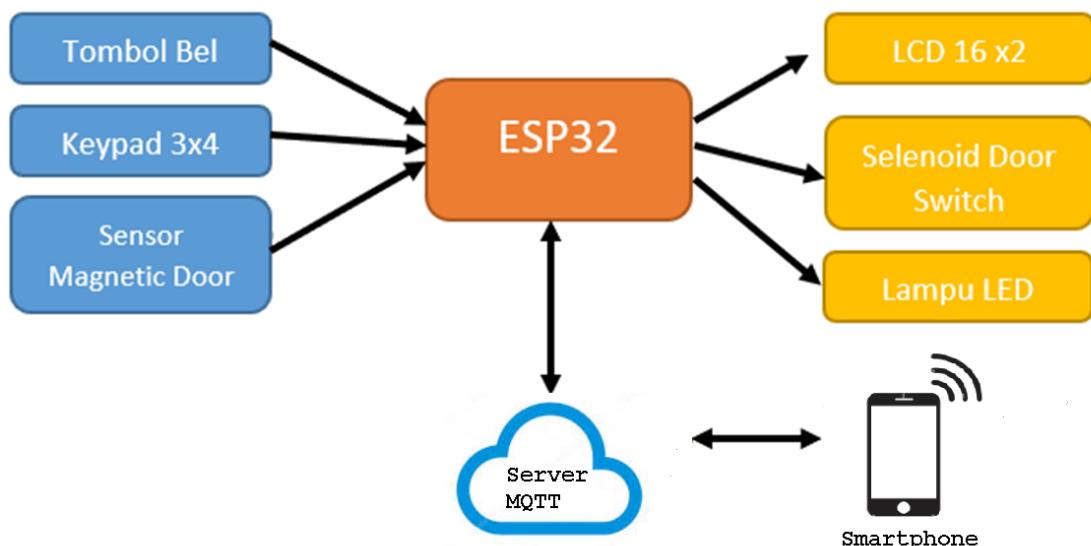
Pengujian Prototype

Pengujian prototype sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT dilakukan dalam beberapa tahap, seperti:

1. Pengujian sistem keamanan: Tahap ini melibatkan pengujian sistem Kotak paket cerdas berbasis IoT yang menggunakan teknologi MQTT untuk memastikan bahwa sistem tersebut dapat berfungsi dengan baik.
2. Pengujian sistem pengenalan pengguna: Tahap ini melibatkan pengujian sistem pengenalan pengguna untuk memastikan bahwa sistem tersebut dapat mengidentifikasi pengguna yang berhak mengakses Kotak paket cerdas dengan cara memasukan 4 digit nomor hp di paket jika sistem membaca benar dan terkirim ke hp nama pemilik paket berarti pengenalan benar.
3. Pengujian sistem notifikasi: Tahap ini melibatkan pengujian sistem notifikasi untuk memastikan bahwa sistem tersebut dapat mengirimkan notifikasi kepada pemilik Kotak



paket cerdas ketika paket datang dengan cara mencoba menekan tombol bel yang nanti terkirim statusnya ke pemilik hp.



Gambar 1. Alur Dari Sistem Yang di Kembangkan

Pada Gambar 1 adalah alur dari sistem ini di mana ada beberapa sensor dan perangkat aktuator yang terhubung ke esp32, data yang dimiliki oleh ESP32 akan dikirim ke server MQTT dan kemudian bisa diakses dengan android. Pada sistem ini input menggunakan tombol bel, keypad dan sensor magnetic door dan memakai aktuator lcd 16x2, solenoid door switch dan lampu led. Data kondisi kotak paket akan dikirim oleh esp32 ke server MQTT yang nanti digunakan akan diakses oleh dashboard android. Kondisi paket akan terpantau oleh sistem sehingga diharapkan berbeda dengan sistem konvensional. Pada sistem Kotak paket cerdas akan dikembangkan 2 model, pertama otomatis ketika pemilik paket tidak bisa dihubungi maka sistem akan berkomunikasi langsung dengan memberikan arahan tindakan yang harus dilakukan oleh pengirim paket dan manual ketika pemilik paket dapat dihubungi oleh pengirim paket.

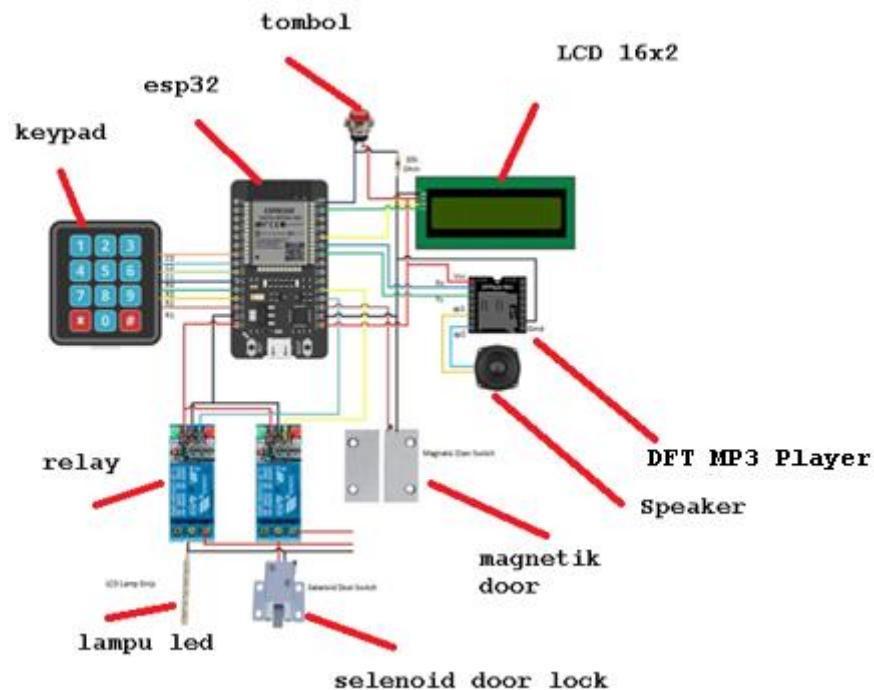
Tabel 1. Perancangan MQTT Publish dan Subscribe

No	Perintah	Jenis
1.	/project1/kotakpaket/status/statusbel	Publish
2.	/project1/kotakpaket/status/namahp	Publish
3.	/project1/kotakpaket/status/statuspengirim	Publish
4.	/project1/kotakpaket/status/otomatis	Publish
5.	/project1/kotakpaket/status/bukapintu	Publish
6.	/project1/kotakpaket/status/statuspintu	Publish
7.	/project1/kotakpaket/perintah/otomatis	Subscribe
8.	/project1/kotakpaket/perintah/nomorhppaket	Subscribe
9.	/project1/kotakpaket/perintah/bukapintu	Subscribe
10.	/project1/kotakpaket/perintah/lampuled	Subscribe

Pada sistem yang akan dikembangkan menggunakan Server HiveMQ sebagai broker dalam MQTT, dimana terlihat untuk berkomunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan metode publish dan subscribe dengan memakai QoS (Quality of Service) level 2

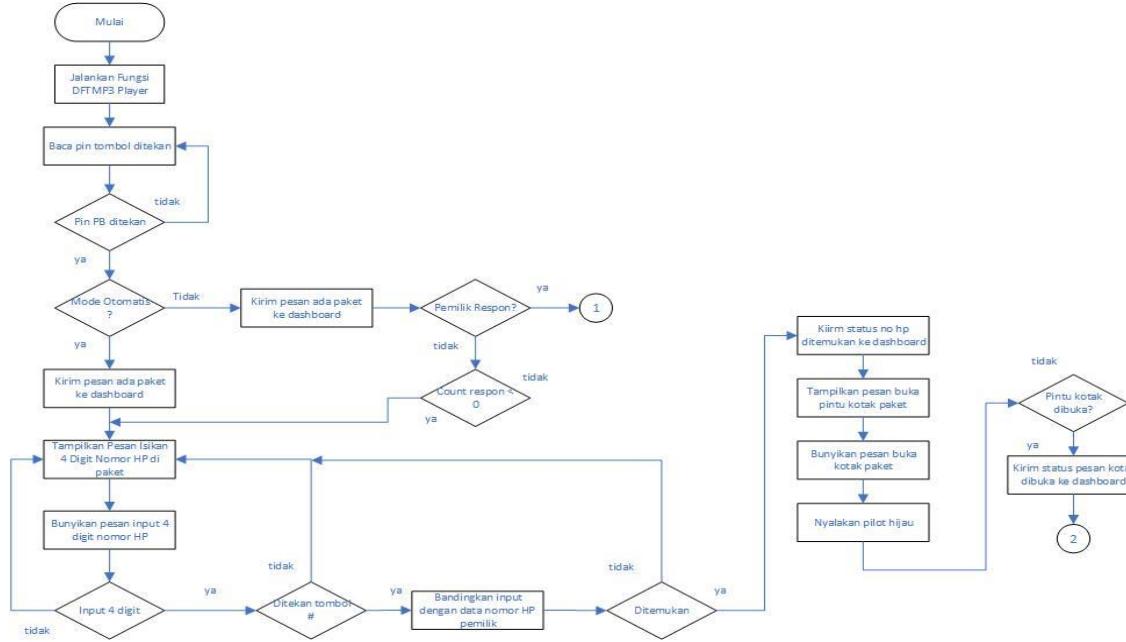


sehingga Pesan dikirimkan tepat satu kali, dengan mekanisme handshake empat langkah antara pengirim dan penerima sehingga diharapkan tidak ada duplikasi data.



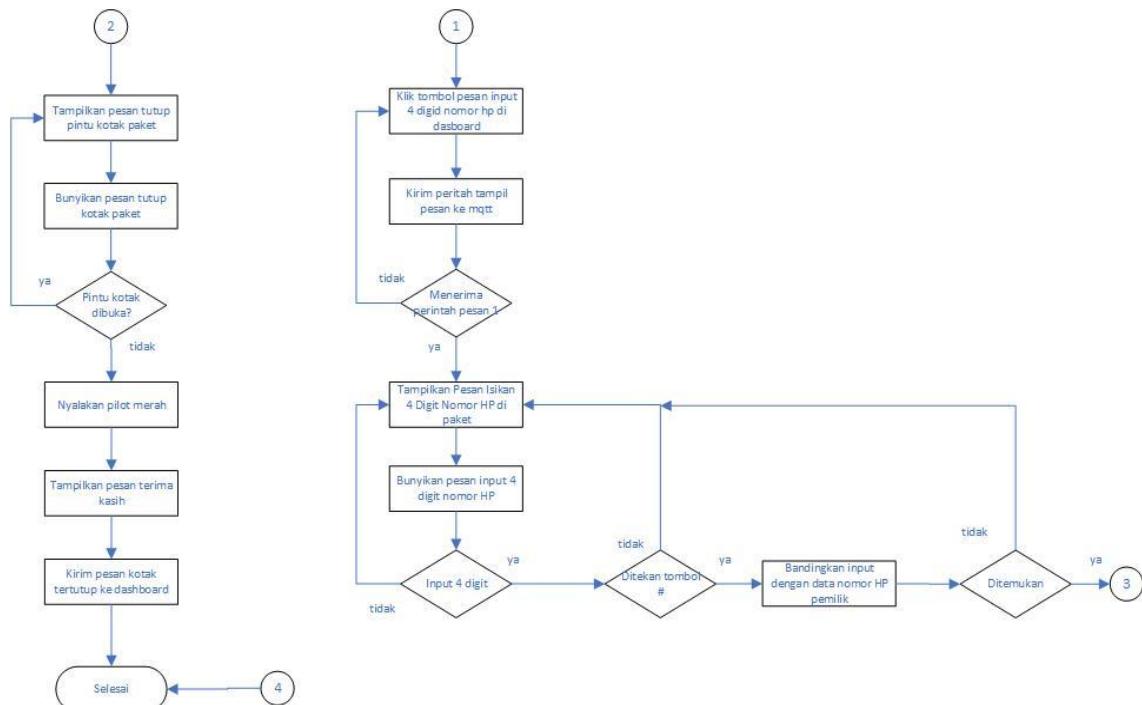
Gambar 2. Skematic Sistem Yang di Kembangkan

Pada gambar 2 di sistem Kotak paket cerdas yang di kembangkan memakai esp32 sebagai pusat prosesing data dengan memakai sensor berupa tombol, magnetic door, dan keypad. Untuk akuatornya memakai LCD 16x2, Midi player dan speaker, selenodi door loock, lampu led. Pada esp32 data akan di proses dan di kirim ke serverMQTT dan dapat muncul pada dashboard android



Gambar 3. Alur Dari Keseluruhan Sistem Bagian 1

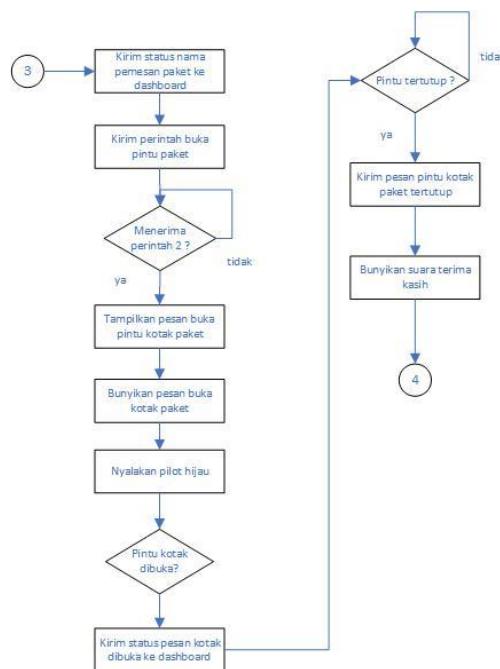
Pada gambar 3 ketika perangkat keras di nyalakan, pertama DFT MP3 Player akan berfungsi, kemudian ketika tombol di tekan akan masuk ke mode otomatis jika tidak di respon pemilik, secara otomatis akan ada suara pemberitahuan untuk memasukan 4 digit nomor telepon yang tertera di paket berupa suara dan tulisan di LCD, kemudian petugas paket memasukan 4 digit nomor telepon dan diakhiri tanda #, kemudian sistem akan memverifikasi dengan data yang sudah ada, jika sudah di temukan akan merubah tampilan di android yang kemudian menampilkan pesan buka pintu kotak paket, menyalakan buniyi notifikasi pintu terbuka dan pilot hijau menyalakan pintu terbuka dan status di dashboard android pintu terbuka.



Gambar 4. Alur Dari Sistem Bagian 2



Pada gambar 4 pada nomor 1 klik tombol pesan input 4 digit nomor hp di dashboard yang ini akan mengirim perintah di MQTT dan ketika terkirim ke perangkat keras maka petugas paket dapat mengimput 4 digit nomor hp dan langkah selanjut nya sama seperti pada gambar 3. Pada bagian 2 akan menampilkan pesan tutup pintu kotak paket, ketika pintu tertutup aka nada notifikasi bunyi, kemudian pilot merah akan menyala dan lcd akan menampilkan pesan terimakasih dan perangkat keras akan mengirim data melalui MQTT kondisi kotak tertutup ke dashboard android.



Gambar 5. Alur Dari Sistem Bagian 3

Pada gambar 5 adalah lanjutan proses gambar5 di mana ini hampir mirip dengan gambar 4 di mana proses membuka pintu menggunakan verifikasi 4 digit nomor hp terakhir dan dipantau oleh pemilik paket kemudian data pintu terbuka kemudian di kirim ke dashboard android di pemilik paket dan ketika pintu kotak paket tertutup akan diakhiri suara terimakasih.

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 6. Hasil Prototype Dari Kotak Paket



Gambar 6 adalah prototype perangkat keras yang di kembangkan dengan menggunakan esp32 dan sensor magnetic dan solenoid door lock untuk mengkontrol pintu terbuka dan tertutup dengan internet of things dengan MQTT.



Gambar 7. Tampilan Awal Di Android Ketika Baru di Aktifkan

Gambar 7 adalah tampilan pertama di dashboard android ketika dibuka di mana kondisi nya masih mati semua nya.



Gambar 8. Setelah di Koneksikan Dengan Server MQTT Hivemq Broker, dengan Status Otomatis On/Aktif

Gambar 8 adalah kondisi ketika sistem sudah siap dan terhubung dengan perangkat keras, hal ini terlihat dengan gambar lampu menyala dan status otomatis on dan ada tulisan sistem siap. Hal ini berguna agar pemilik paket bisa mengetahui apakah sistem perangkat keras masih terhubung dengan hp dan koneksi masih berjalan lancar.



Gambar 9. Setelah Kurir Menekan Bel untuk Menghubungi Pemilik / Pemesan Paket

Pada gambar 9 terlihat status tulisan sudah berubah menjadi pengirim menekan tombol di kotak paket. Hal ini terjadi komunikasi antara perangkat keras melalui komunikasi MQTT ke HP dengan terlihat perubahan status dimana pengirimpaket menekan bel .



Gambar 10. Setelah Kurir Menekan 4 Digit Nomor HP Pemesan Paket Yang Tertera di Paket

Gambar 10 adalah status ketika pengirim paket memasukan 4 digit terakhir nomor hp yang ada di paket. Pada status pengiriman tertera Kurir isi no hp, pada proses ini ketika kurir sedang dalam proses memasukan nomor hp terpantau dari hp pemilik paket, sehingga pemilik paket mengetahui ada seseorang yang berada di kotak paket dan berusaha memasukan data 4 digit nomor hp.



Gambar 11. Setelah Kurir Menekan 3 Digit Nomr HP Pemesan Paket Yang Tertera di Paket dan Paket Memang Dipesan oleh Salah Satu Penghuni Rumah

Pada gambar 11 setelah pengirim paket memasukan 4 digit nomor hp terakhir, data di verifikasi dan jika sudah benar di status muncul nama pemilik paketnya siapa, dalam penelitian ini muncul nama Oscar.Dalam proses ini 4 digit nomor hp benar dan tertera nama pemilik paket sehingga berarti pengirim paket benar memiliki paket untuk pemilik paket hal ini terbukti karena nomor yang di masukan benar.



Gambar 12. Setelah Pengirim Paket Membuka Pintu Kotak Paket



Gambar 12 adalah kondisi ketika pengirim paket sedang membuka kotak paket hal ini terlihat berubah nya status dari pemilik paket menjadi pengirim membuka pintu kotak paket. Pengirim peket melakukan tindakan membuka pintu kotak paket dan berusaha memasukan paket ke dalam kotak paket.



Gambar 13. Setelah Pengirim Menutup Pintu Kotak Paket

Pada gambar 13 adalah status ketika pengirim sudah memasukan paket ke dalam Kotak paket cerdas lalu menutup pintu paket, dari status pengiriman terlihat tulisan berubah menjadi pengirim menutup pintu. Pada status ini pengirim paket sudah memasukan dan meletakan paket ke dalam kotak paket dan menutup pintu paket .



Gambar 14. setelah Kurir Menutup Pintu Kotak Paket



dan di Dashboard Muncul Tulisan Paket Sudah Di Terima

Gambar 14 adalah data tentang paket sudah di tutup dan di terima di dalam Kotak paket cerdas, hal ini terlihat distatus pengiriman sudah berubah tulisannya menjadi paket sudah di terima. Pada proses ini pengirim paket sudah menutup pintu kotak paket dengan sempurna sehingga sistem menganggap paket sudah di terima dengan sempurna.



Gambar 15. Ketika Mode Manual, Pemilik Dapat Mengendalikan Pintu Baik untuk Membuka dan Menutup

Pada gambar 15 ada status ketika kondisi manual, dimana status otomatis menjadi off dan lampu status otomatis mati dan digantikan dengan buka/tutup pintu akan menyala dan menjadi on serta pada bagian hidup/mati led akan menyala dan on, pada proses ini pemilik paket membuka dan menutup pintu kotak paket menggunakan hp sehingga melakukan proses kontroling manual lewat jarakjauh melalui teknologi iot dengan protokol MQTT

Tabel 1. Pengujian Sistem Kotak Paket Cerdas dalam Kondisi manual dan otomatis

No	Status Perangkat Keras	Status Perangkat Lunak	Waktu	Data terkirim/tidak	Status Server MQTT
1.	Pintu terbuka otomatis	Pintu terbuka otomatis	1 detik	terkirim	lancar
2.	Input 4 digit nomor hp	Input nomor hp	2 detik	terkirim	lacar
3.	Pintu paket tertutup di sistem otomatis	Perangkat pintu tertutup otomatis	1detik	terkirim	lancar
4.	Nama pemilik paket keluar otomatis	Nama pemilik paket muncul	1 detik	terkirim	lancar
5.	Tombol bel di tekan	Statup pengirim menekan bel	2 detik	terkirim	lancar



6.	Lampu led di nyalakan manual	Lampu led di nyalakan manual lewat iot	1 detik	terkirim	lancar
7.	Pintu di buka manual	Pintu di buka lewat iot manual	1 detik	terkirim	lancar
8.	Pintu di tutup manual	Pintu di tutup lewat iot manual	1detik	terkirim	lancar
9.	Nama pemilik paket keluar di manual	Nama pemilik paket muncul di iot manual	2 detik	terkirim	lancar
10.	Pintu paket tertutup di sistem manual	Status pintu tertutup di iot manual	1detik	terkirim	lancar

Dapat dilihat pada tabel 1 merupakan hasil pengujian dengan kondisi internet menggunakan koneksi indie home pada perangkat keras dan menggunakan kartu simpati dengan kondisi cuaca hujan, pada 10 x ujicoba dengan berbagai kondisi perangkat keras dengan sistem otomatis dan manual dihasilkan data yang sesuai harapan, artinya proses komunikasi dari perangkat keras kotak paket cerdas ini berhasil mengirim data dengan memakai komunikasi MQTT ke perangkat dashboard android. Pada pengiriman paket dan meletakan di kotak paket cerdas bisa berjalan optimal dan dapat memantau secara real time ketika pengirim paket datang ke rumah, pengirim paket dengan mudah berkomunikasi dengan pemilik paket dengan menggunakan teknologi IoT, dengan komunikasi MQTT. Ketika Paket datang, pengirim paket dapat memasukan paket ke dalam kotak paket dengan verifikasi 4 digit nomor terakhir HP yang tertera dipaket sehingga memang benar pengirim paket yang terverifikasi data pemilik paket hal ini menentukan siapa saja yang berhak mengakses kotak paket. Status paket dikirim pengirim paket ke pemilik paket dengan menggunakan data paket datang sehingga pemilik paket mengetahui ada paket datang.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dari percobaan pada table 1 terlihat data yang terkirim menggunakan server MQTT telah terkirim sempurna dari perangkat keras kotak paket ke dashboard android, dari gambar 3, 4 dan 5 adalah alur dari sistem yang digunakan di mana alurnya sesuai dengan hasil yang diharapkan, hal ini terbukti di tampilan gambar 6-15 di mana paket dapat di pantau secara real-time, pemilik paket dapat berkomunikasi dengan pengirim paket, ketika paket datang pengirim paket dapat menekan tombol bel dikotak paket sehingga pemilik mengetahui ada paket, hal ini dapat di lihat pada gambar 15 dan pemilik paket dapat memantau ketika pengirim paket akan memverifikasi paket dengan memasukan data 4 digit nomor HP seperti pada gambar 10 dan gambar 11 hal ini bisa menjadi proses identifikasi pengirim paket . Jadi dapat disimpulkan bahwa Kotak paket cerdas ini dapat membantu pengirim paket untuk memberikan paket ke pemilik dengan kondisi aman dan kotak paket cerdas ini hanya dapat dibuka oleh yang berhak saja dengan memasukan 4 digit nomor yang tertera di dalam paket. Pada tabel 2 terlihat semua komunikasi berjalan lancar terlihat semua percobaan data terkirim di bawah 4 detik meskipun pengujian di lakukan dalam kondisi hujan yang arti nya mqtt bisa berjalan sempurna meskipun tidak dalam kondisi ideal.

Kelemahan sistem ini ketika pengirim paket meletakkan paket di dalam kotak paket atau tidak belum terpantau karena tidak menggunakan kamera, di sarankan menggunakan esp32 cam yang mampu merekam video hal ini bisa menjadi usulan untuk penelitian selanjutnya.



REFERENCES

- Abed, A. M., AlArjani, A., Seddek, L. f., & ElAttar, S. (2024). Reduce the delivery time and relevant costs in a chaotic requests system via lean-Heijunka model to enhance the logistic Hamiltonian route. *Results in Engineering*, 21(December 2023), 101745. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101745>
- Ahmed, N., Baker, T., Al Aghbari, Z., & Khedr, A. (2023). PRYORTIE: Public on-demand smart transportation service via a scalable fog-based platform. *Intelligent Systems with Applications*, 18(February), 200228. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200228>
- Alzhrani, A. A., Balfaqih, M., Alsenani, F., Alharthi, M., Alshehri, A., & Balfagih, Z. (2024). Design and Implementation of an IoT Integrated Smart Locker System utilizing Facial Recognition Technology. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14(4), 16000–16010. <https://doi.org/10.48084/etasr.7737>
- Aryanto, I. K. A. A., Maneetham, D., & Triandini, E. (2024). Developing a smart system for infant incubators using the internet of things and artificial intelligence. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(2), 2293–2312. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i2.pp2293-2312>
- Aswini, D., & Nandakumar, S. (2019). A smart locker. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11 Special Issue), 117–120. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1026.09811S19>
- Chakkaravarthy Sethuraman, S., Mitra, A., Li, K. C., Ghosh, A., Gopinath, M., & Sukhija, N. (2022). Loki: A Physical Security Key Compatible IoT Based Lock for Protecting Physical Assets. *IEEE Access*, 10(November), 112721–112730. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3216665>
- Espino, C. S., Vargas, F. G., Paiva-Peredo, E., & Segura, G. W. Z. (2024). Internet of things and radio frequency identification based embedded system to reduce shopping time in supermarkets. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(4), 2687–2698. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i4.7343>
- Harkai, A. (2024). Managing cyber-security risks associated with IoT devices for conducting financial transactions within the smart home ecosystem. *Procedia Computer Science*, 242, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.260>
- Has, M., Kreković, D., Kušek, M., & Podnar Žarko, I. (2024). Efficient Data Management in Agricultural IoT: Compression, Security, and MQTT Protocol Analysis. *Sensors*, 24(11). <https://doi.org/10.3390/s24113517>
- Kamil, A. A., Mousa, A. J., & Abdul-Rahaim, L. A. (2024). Smart Cloud Computing System for Environment Based on MQTT Protocol and Node MCU (ESP8266). *Journal European Des Systemes Automatises*, 57(5), 1503–1511. <https://doi.org/10.18280/jesa.570526>
- Sahrab, A. A., & Marhoon, H. M. (2022). Design and Fabrication of a Low-Cost System for Smart Home Applications. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(4), 409–414. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i4.15413>
- Seoane, V., Garcia-Rubio, C., Almenares, F., & Campo, C. (2021). Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments. *Computer Networks*, 197(April), 108338. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108338>
- Uma Maheswari, K., Balasubramanian, K., Ishwarya Niranjana, M., Dhanu Aravindh, K., Karthik, V., & Padmanaban, V. K. (2023). Smart Multi Verification Based Security System. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 10(2), 193–207. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1099817>