

Implementasi *Internet of Things* dan Deteksi Anomali Menggunakan Algoritma *Deep Learning* Pada Distribusi Buah Melon

Andi Sulviqrah Amalia¹; Karlisa Priandana²; Irman Hermadi³

¹Sekolah Pascasarjana, Program Studi Magister Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

^{*)}Email: viqrahsulviqrah@apps.ipb.ac.id

Received: 05 Juni 2024 | Accepted: 18 Desember 2024 | Published: 10 Januari 2025

ABSTRACT

Melon is the horticultural plant that has the potential to improve Indonesia's economy in the agricultural sector. Efforts to improve the economy must be accompanied by improving the production and distribution quality of melon until reaching consumers. One way to maintain the quality of melon is to combine production and distribution processes with the use of temperature sensors. Utilizing temperature sensors with Internet of Things (IoT) technology to monitor melon temperatures during the distribution process is a form of technological innovation. This research aims to develop a melon distribution system by applying IoT devices to monitor environmental temperature and detect anomalies before transferring data to blockchain system. The anomaly detection method in this research uses deep learning algorithms. Autoencoder was chosen as the architecture model in this research because this method can help minimize data anomalies. The results of this research indicate that IoT technology and anomaly detection had been successfully implemented and were running very well. Based on performance testing using quality of service parameters, the throughput was 86,152 bps, the delay was 0.041199 ms, and the packet loss was 0.064%. The evaluation results of anomaly detection model for precision, recall, and F1-score were 0.9952, 1, and 0.9658.

Keywords: Anomaly Detection, Autoencoder, Deep Learning, Internet of Things

ABSTRAK

Melon adalah tanaman holtikultura yang berpotensi meningkatkan perekonomian Indonesia dari sektor pertanian. Upaya peningkatan perekonomian tersebut harus disertai dengan peningkatan kualitas produksi dan distribusi buah melon hingga sampai ke konsumen. Salah satu cara dalam menjaga kualitas buah melon adalah mengkombinasikan proses produksi dan distribusi dengan penggunaan sensor suhu. Penggunaan sensor suhu dengan memanfaatkan teknologi internet of things dalam melakukan pemantauan suhu melon selama proses distribusi merupakan bentuk inovasi teknologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem distribusi buah melon dengan menerapkan perangkat IoT dalam melakukan pemantauan suhu lingkungan dan deteksi anomali sebelum data tersebut ditransfer ke dalam sistem blockchain. Metode deteksi anomali pada penelitian ini menggunakan algoritma deep learning. Autoencoder dipilih sebagai model arsitektur pada penelitian ini karena metode ini dapat membantu meminimalisir anomali data. Hasil dari penelitian ini menunjukkan teknologi internet of things dan deteksi anomali berhasil diterapkan dan berjalan dengan sangat baik. Berdasarkan hasil pengujian kinerja dengan parameter uji quality of service yaitu throughput sebesar 86,152 bps, delay sebesar 0,041199 ms dan packet loss 0,064%. Adapun hasil evaluasi model deteksi anomali untuk precision, recall dan f1-score yaitu 0,9952, 1 dan 0,9658.

Kata kunci: Deteksi Anomali, Autoencoder, Deep Learning, Internet of Things

1. PENDAHULUAN

Melon merupakan buah yang cukup populer dengan hasil produksi kedua terbesar di Indonesia. Data statistik hasil produksi melon menunjukkan angka mencapai 117.730 ton dengan luas 7.025 ha pada tahun 2023 [1]. Hasil produksi pertanian sektor hortikultura khususnya melon yang mengalami peningkatan setiap tahunnya berpengaruh dalam meningkatnya laju pertumbuhan ekonomi dan pendapatan nasional [2].

Pertumbuhan ekonomi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yang perlu diperhatikan yaitu ekspor [3]. Ekspor hasil produksi pertanian khususnya melon dapat menjadi pilihan dalam meningkatkan perekonomian Indonesia, namun hal tersebut harus didukung dengan memenuhi kriteria standar ekspor buah yang ditetapkan oleh pemerintah dan negara tujuan ekspor. Salah satu standar ekspor buah yang harus diperhatikan yaitu standar kualitas buah meliputi kondisi fisik buah seperti ukuran dan warna buah, sehingga memastikan bahwa buah yang akan di ekspor memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Pemenuhan standar kualitas buah yaitu dengan menjaga kondisi fisik buah agar terhindar dari pembusukan. Upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari hal tersebut yaitu dengan melakukan pemantauan lingkungan khususnya lokasi penyimpanan buah. Salah satu faktor yang berpengaruh yaitu suhu penyimpanan dan pendistribusian buah agar kondisi buah tetap terjaga [4]. Suhu merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan secara terus menerus mulai dari produksi, distribusi sampai retail hingga produk buah sampai ke konsumen.

Upaya untuk menjaga kualitas buah melon adalah mengkombinasikan proses pemantauan suhu penyimpanan dan distribusi dengan penggunaan sensor suhu. Sistem ini dapat diterapkan secara terus menerus, saat buah melon telah dipanen oleh petani hingga pada saat proses distribusi sampai ke konsumen. Sistem ini didukung dengan meningkatnya inovasi teknologi modern sehingga berpengaruh pada proses penyimpanan dan proses distribusi sehingga dapat menjadi lebih baik [5].

Sebagai bentuk penerapan inovasi teknologi modern yaitu dengan memanfaatkan teknologi *blockchain* yang dikombinasikan dengan *internet of things*. Kombinasi kedua teknologi ini dapat menghasilkan sistem yang terdesentralisasi, tingkat keamanan yang terjamin dan manajemen data yang efisien [6]. *Blockchain* dapat menjadi solusi untuk akuisisi keamanan data pada sistem IoT. Hal ini dapat membantu menghindari gangguan transmisi dan keamanan data yang tidak diinginkan [7]. Selain itu, kombinasi sistem ini dapat membantu proses pengiriman data suhu yang diperoleh dari perangkat IoT ke *stakeholder* terkait. *Blockchain* dengan *smart contract* juga mampu memudahkan dalam mengaudit informasi yang diperoleh dari perangkat IoT. Sehingga teknologi *internet of things* menjadi bagian penting dalam melakukan pemantauan suhu lingkungan [8].

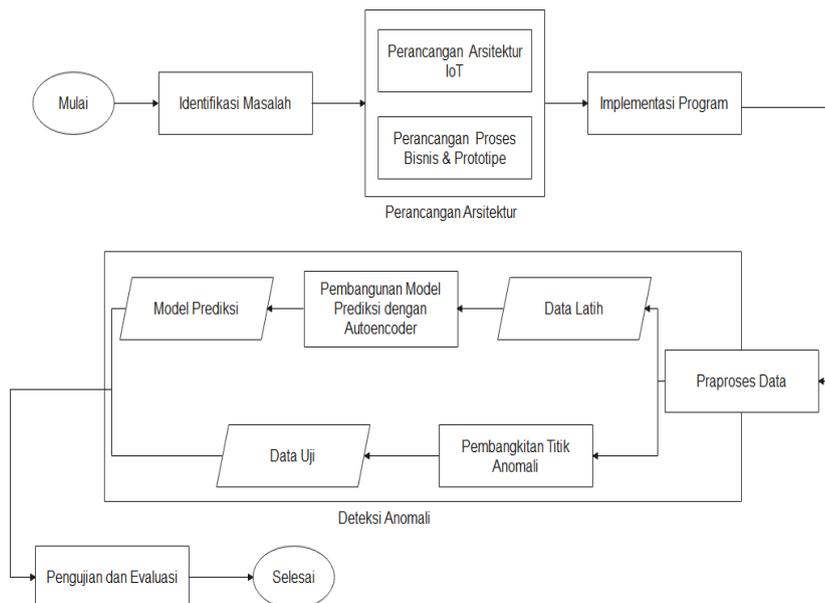
Teknologi *internet of things* menjadi fokus utama pada penelitian ini dikarenakan teknologi ini mampu mengoptimalkan energi sensor yang digunakan serta mampu memperoleh data melalui sistem pemantauan cerdas [9]. Teknologi ini juga digunakan untuk digitalisasi dan meningkatkan interaksi antar perangkat seperti sensor pemantauan maupun aktuator [10]. Adapun tantangan dalam penerapan teknologi ini adalah menghubungkan informasi, mengolah data dan mengumpulkan data mentah dari sensor secara *realtime*. Tantangan lainnya adalah kesalahan dalam pembacaan sensor atau anomali data [11]. Kesalahan pembacaan sensor dapat diatasi dengan melakukan analisis pada data yang diperoleh dari sensor menggunakan algoritma *deep learning*.

Algoritma *deep learning* merupakan salah satu bagian dari jaringan saraf tiruan. Algoritma ini menjadi solusi untuk mereduksi dan merekonstruksi data dalam jumlah besar [12]. Algoritma ini juga memiliki berbagai macam kategori, salah satunya model arsitektur *autoencoder* yang merupakan bagian dari kategori *deep unsupervised learning* [13]. Metode ini menggunakan data

yang tidak diberi label sebelumnya. Dengan menggunakan metode ini pula diharapkan mampu menghasilkan perangkat IoT yang akurat dan responsif serta meminimalisir anomali data [14]. Selain itu, arsitektur *autoencoder* mampu untuk mendeteksi data yang diperoleh secara akurat dengan jangkauan *dataset* yang besar [15].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai sistem komunikasi data pada *internet of things* secara *realtime*. Data tersebut merupakan data hasil *monitoring* dan *controlling* yang diteruskan pada sistem tetapi belum melakukan deteksi apabila terjadi kerusakan sensor [16]. Penelitian lain membahas mengenai perancangan arsitektur *internet of things* dengan menggunakan protokol MQTT 3.5 dengan layanan *amazon web services* sebagai broker sehingga dapat menciptakan sistem komunikasi data dengan skalabilitas yang tinggi [17]. Pada penelitian lainnya juga mengembangkan sistem *internet of things* untuk pemantauan lingkungan laut dengan menggunakan sensor suhu, kelembapan udara dengan *amazon web service* sebagai brokernya [18]. Selain itu, pada penelitian lainnya dilakukan deteksi anomali menggunakan model *autoencoder* namun menggunakan sekelompok sensor [19]. Beberapa penelitian terkait mengenai deteksi anomali dengan *internet of things* menggunakan *deep learning* juga telah dilakukan. Penelitian ini membahas deteksi anomali menggunakan *deep learning* dan IoT seluler pada distribusi kendaraan berat [14]. Penelitian lainnya membahas *internet of things* dan deteksi anomali menggunakan *convolutional neural network* [20]. Penelitian lainnya membahas skema deteksi anomali pada *internet of things* dengan *hierarchical edge computing* [21]. Maka dari itu, diperlukan modifikasi sistem sebagai bentuk pengembangan sistem *internet of things*. Sistem yang mampu membuat model prediksi anomali yang dikhususkan untuk satu jenis sensor. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk merancang dan mengembangkan sistem distribusi buah melon (*Cucumis melo L.*) dengan menerapkan perangkat IoT. Perangkat IoT tersebut digunakan untuk melakukan pemantauan aktivitas lingkungan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendeteksi kesalahan pembacaan sensor pada perangkat IoT sehingga anomali data dapat diminimalisir sebelum data aktivitas lingkungan tersebut dikirim ke sistem *blockchain*.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan dimulai dengan tahap identifikasi masalah hingga tahap pengujian dan evaluasi. Tahapan penelitian ini direpresentasikan pada Gambar 1.

1. Identifikasi Masalah

Tahapan ini diawali dengan menganalisis proses distribusi buah melon yang mencakup analisis permasalahan dan analisis kebutuhan. Analisis permasalahan digunakan untuk mengetahui masalah yang terjadi selama proses distribusi. Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengetahui kebutuhan data dan alat yang akan digunakan dalam penelitian.

2. Perancangan Arsitektur

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur IoT serta perancangan proses bisnis dan prototipe. Tahap perancangan arsitektur IoT dilakukan penyusunan alur, penempatan alat da keterkaitan antar perangkat IoT hingga ke sistem.

Tahap perancangan proses bisnis dan prototipe dilakukan perancangan *use case*, *class diagram* dan antarmuka untuk sistem rantai pasok melon khusus untuk fitur *monitoring* suhu dan riwayat anomali.

3. Implementasi Program

Pada tahap ini dilakukan penyusunan kode program dari perangkat IoT serta proses konfigurasi perangkat IoT, RabbitMQ, *database* hingga dapat ditampilkan ke sistem. Pada tahap ini juga akan menghasilkan perangkat IoT dan aplikasi *mobile* untuk rantai pasok melon.

4. Implementasi Deteksi Anomali

Tahap ini terdiri atas tiga tahap yaitu praproses data, pembangkitan titik anomali dan pembangunan model prediksi dengan *autoencoder*. Tahap ini juga menghasilkan data latih, data uji dan model prediksi. Model prediksi akan digunakan mendeteksi anomali suhu berdasarkan data hasil rekaman suhu dari perangkat IoT. Tahap ini diproses menggunakan *package keras* pada *tensorflow* dengan bahasa pemrograman *python*.

5. Pengujian dan Evaluasi

Pada tahapan pengujian dan evaluasi ini akan dilakukan pengujian kinerja dan pengujian terhadap deteksi anomali. Pengujian kinerja akan dilakukan dengan menggunakan pengujian *quality of service*. Pengujian ini akan memperhatikan tiga parameter uji yaitu *throughput*, *delay* dan *packet loss*. Pengujian dan evaluasi terhadap model deteksi anomali akan diukur keakuratannya dengan menggunakan *precision*, *recall* dan *f1-score*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Masalah

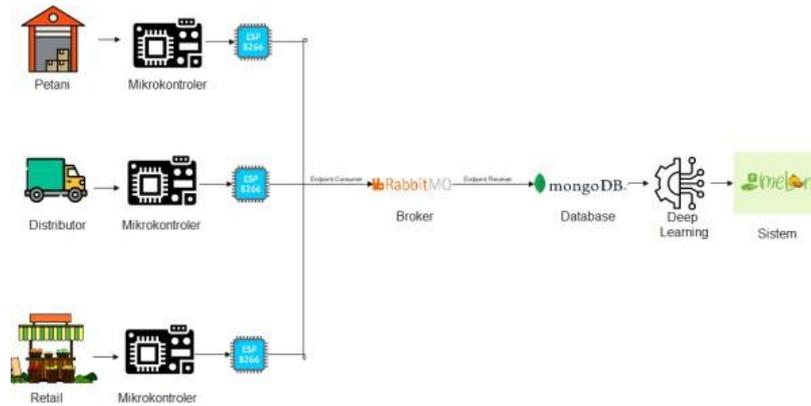
Berdasarkan observasi dan wawancara di beberapa lokasi yang berbeda dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi buah melon memiliki beberapa tahap dimulai sejak pasca panen hingga dikonsumsi oleh konsumen. Sebagian besar petani pada wilayah penelitian penulis melakukan pemanenan ketika telah terjadi kesepakatan jual beli dengan distributor. Proses pemanenan akan dilakukan pada hari kedatangan distributor untuk mengambil buah melon. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga kualitas buah melon saat akan diperjual-belikan ke pihak retail. Namun, perlakuan tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya tingkat kematangan buah yang tidak merata sehingga banyak buah yang mengalami pembusukan di lokasi tanam.

Selain itu, proses distribusi buah melon tanpa memperhatikan kondisi lingkungan dan fisik buah melon dapat mengurangi kualitas dan kuantitas melon yang terjual. Masalah yang dihadapi dalam proses distribusi buah melon diantaranya kerusakan fisik dan penurunan bobot yang signifikan akan terjadi dalam proses distribusi melon yaitu pada tingkat distributor. Selain itu, lama penyimpanan dan teknik penyimpanan juga sangat mempengaruhi mutu fisik melon. Kedua hal tersebut menjadi faktor yang sangat berpengaruh dari segi kondisi lingkungan yang harus diperhatikan pada kualitas melon yang akan diedarkan di masyarakat.

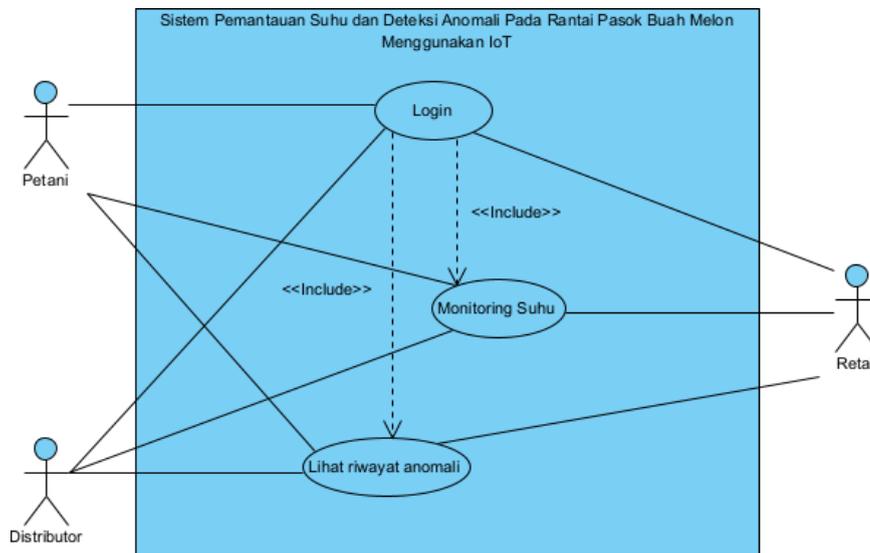
3.2. Perancangan Arsitektur

Perangkat IoT diasumsikan berlokasi pada masing-masing gudang aktor (petani, distributor dan retail). Perangkat IoT pada setiap aktor terdiri atas sensor suhu DHT22, LCD dan NodeMCU ESP8266. Kondisi lingkungan pada setiap gudang akan direkam oleh sensor suhu DHT22. Rekaman

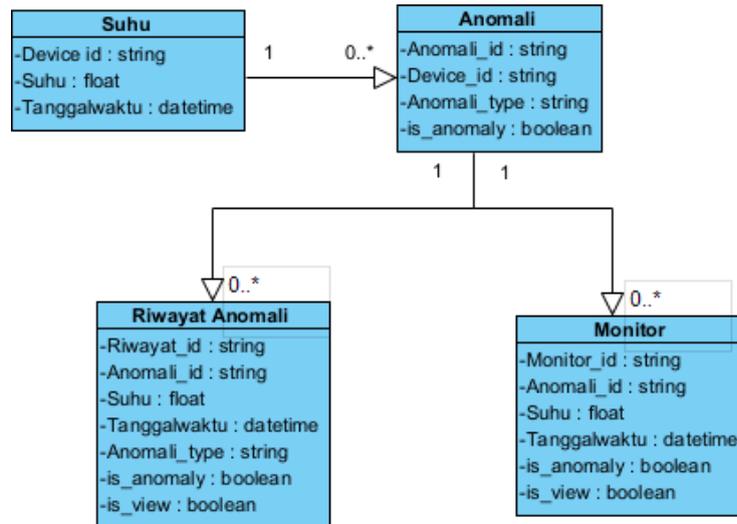
suhu yang diperoleh akan diteruskan ke ESP8266 dan ditampilkan pada layar LCD lalu diteruskan ke RabbitMQ. Sebelum diteruskan, REST API pada ESP8266 akan dihubungkan dengan *endpoint consumer*. Untuk masuk ke broker terlebih dahulu dikonfigurasi *routing key* atau *header* yang berfungsi untuk menyesuaikan dengan *queue* yang ada melalui *exchange* dengan *binding key*. Setelah itu, data akan diteruskan pada *endpoint receiver* yang sebelumnya telah melakukan *subscribe* pada broker RabbitMQ. Data dari broker kemudian diteruskan ke MongoDB dan diproses dengan *deep learning* untuk ditampilkan ke sistem. Pada Gambar 2 menunjukkan hasil arsitektur IoT dari sistem distribusi buah melon.



Gambar 2. Arsitektur Iot Sistem Distribusi Buah Melon

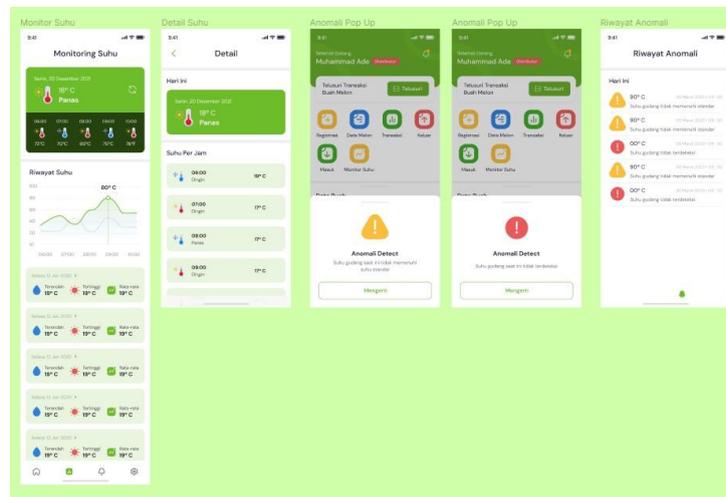


Gambar 3. Use Case Fitur Monitoring dan Riwayat Anomali



Gambar 4. Class Diagram Fitur Monitoring dan Riwayat Anomali

Selain itu, tahap rancangan arsitektur juga dilakukan perancangan untuk tampilan proses bisnis berupa *use case* yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan *class diagram* ditunjukkan pada Gambar 4 serta fitur *monitoring* suhu dan riwayat anomali. *Use case* digunakan untuk menggambarkan hubungan antar aktor dengan penggunaan perangkat IoT pada sistem rantai pasok melon ini. *Class diagram* digunakan untuk menggambarkan keterkaitan antar data yang digunakan pada sistem rantai pasok buah melon. Fitur *monitoring* suhu bertujuan untuk melakukan pemantauan lingkungan gudang melon milik aktor. Fitur riwayat anomali bertujuan menampilkan peringatan pada sistem. Hasil rancangan fitur *monitoring* suhu dan riwayat anomali ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Antarmuka Fitur Monitoring Suhu dan Riwayat Anomali

3.3. Implementasi Program

Tahap implementasi program melakukan pengkodean pada Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Tahap ini menghasilkan data suhu yang diperoleh dari perangkat IoT kemudian diolah dan dikirim ke broker melalui *endpoint consumer*. Sebelum pengiriman data tersebut, pada broker dilakukan konfigurasi terlebih dahulu untuk *routing key* atau *header*. Ketika data dikirimkan ke broker dilakukan pengecekan apakah data tersebut akan melakukan *exchange* dengan *routing key*

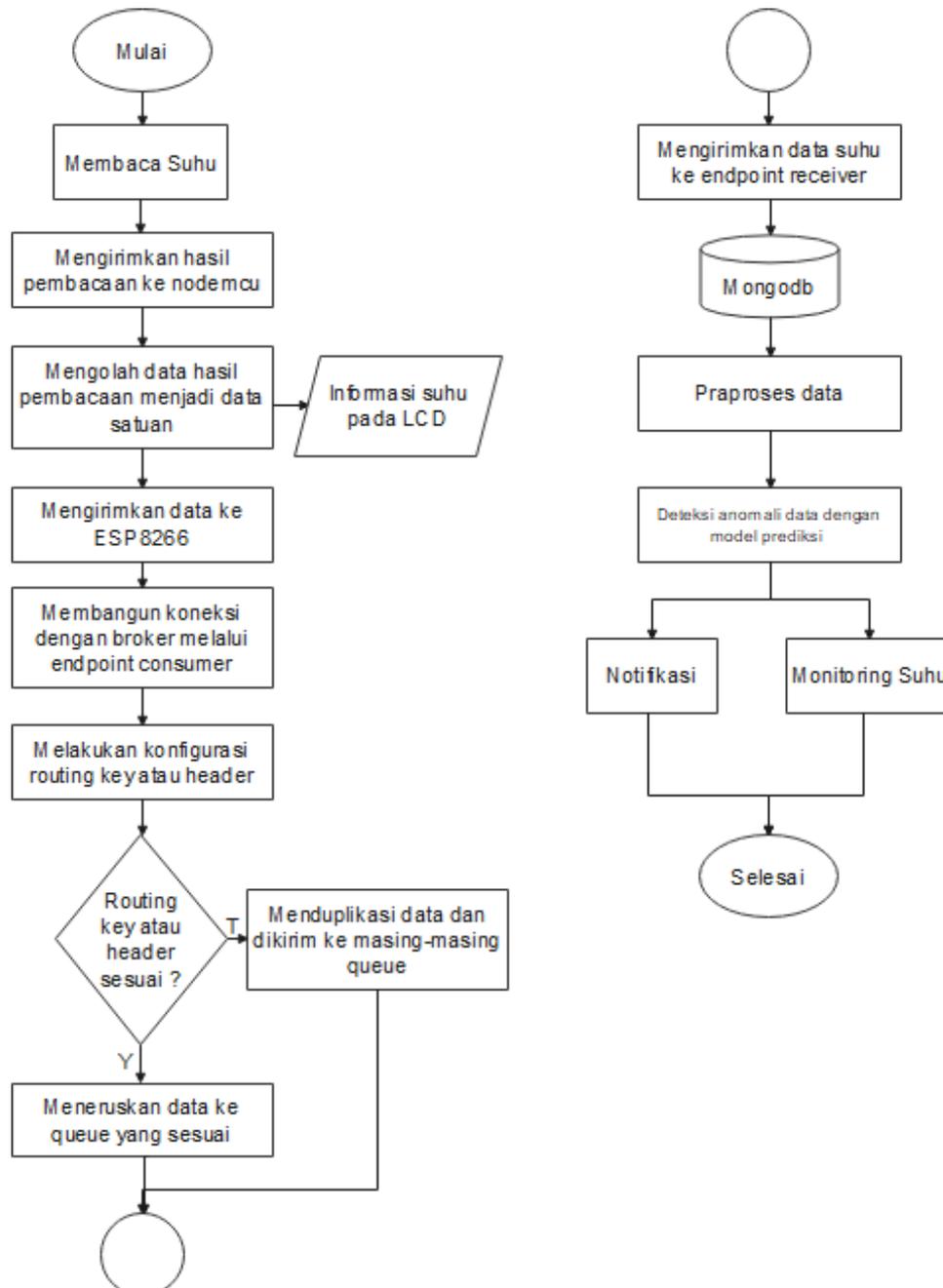
atau *header* kemudian akan dikirim ke *queue* yang sesuai. Apabila *routing key* atau *header* tidak ada yang sesuai maka akan dilakukan duplikasi pada data sebanyak jumlah *topic* dalam *queue*. Data yang telah diteruskan ke *queue* kemudian dikirimkan ke MongoDB melalui *endpoint receiver*. Data yang berada pada MongoDB akan diteruskan pada tahap deteksi anomali. Pada tahap ini akan dilakukan pengecekan pola data antara data yang diterima dari perangkat IoT dengan model prediksi yang telah dihasilkan dengan *autoencoder*. Jika data tersebut mengandung data anomali maka akan sistem akan memberi notifikasi kepada aktor melalui aplikasi sebagai upaya peringatan kepada aktor untuk melakukan pengecekan ulang pada perangkat mikrokontroler yang terpasang di gudang melon milik aktor. Diagram proses pemantauan gudang melon dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Perangkat IoT



Gambar 7. Aplikasi Mobile Melon

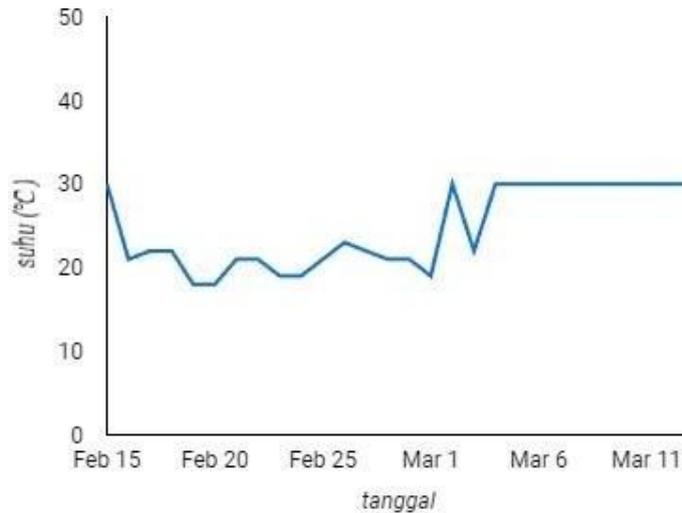


Gambar 8. Diagram Alur Proses Pemantauan Suhu Gudang Melon

3.4. Implementasi Deteksi Anomali

3.4.1. Praproses Data

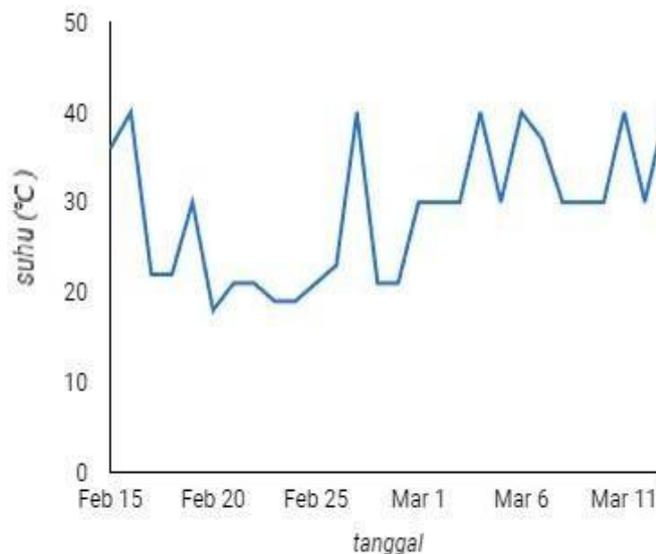
Data mentah merupakan data *realtime* yang diperoleh dari *database* MongoDB. Data pada MongoDB berasal dari data yang direkam oleh sensor yang diteruskan ke sistem dengan bantuan broker RabbitMQ. Jumlah data yang diperoleh yaitu sekitar 1440 data setiap menitnya. Sebelum masuk ke tahap pelatihan data, data terlebih dahulu dilakukan normalisasi. Normalisasi dilakukan dengan menggunakan *z-score*. Gambar 9 menunjukkan grafik data sebelum dilakukan normalisasi.



Gambar 9. Data Suhu Sebelum Normalisasi

3.4.2. Pembangkitan Titik Anomali

Data yang diolah pada tahap ini adalah data yang belum dinormalisasi pada tahap praproses data. Pada tahap ini data dimodifikasi dimana data disimulasikan dengan skenario yang tidak biasa seperti menambahkan lonjakan suhu pada beberapa titik tertentu. Setelah dimodifikasi, data akan dilakukan normalisasi dengan *z-score*. Gambar 10 menunjukkan grafik data suhu setelah dilakukan modifikasi.

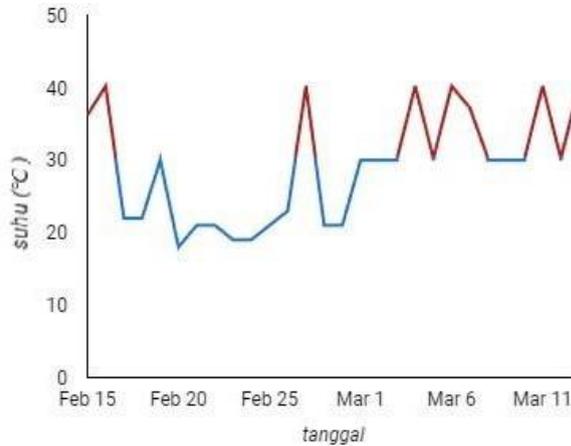


Gambar 10. Data Suhu Setelah Modifikasi

3.4.3. Pembangunan Model Prediksi dengan *Autoencoder*

Model prediksi anomali dibentuk menggunakan data latih yang telah dinormalisasi pada tahap praproses data akan diterapkan *adam optimizer*. Model prediksi membantu dalam merekonstruksi data suhu melon. Hasil perbandingan antara data uji dengan data hasil rekonstruksi diukur menggunakan *loss* MSE (*means square error loss*). Nilai *means square error* membantu dalam menentukan deteksi anomali semakin besar nilai *loss* maka semakin berbeda hasil rekonstruksi dengan data asli dan nilai *loss* melewati nilai *threshold* dianggap sebagai anomali. Hasil deteksi anomali tersebut akan diteruskan ke sistem berupa notifikasi peringatan seperti pada Gambar 12.

Selain itu, model prediksi dan data hasil rekonstruksi akan dilakukan evaluasi pada tahap pengujian dan evaluasi. Data uji setelah direkonstruksi dengan model prediksi ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Data Uji Setelah Direkonstruksi Dengan Model Prediksi



Gambar 12. Tampilan Notifikasi Deteksi Anomali

3.5. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dan evaluasi dilakukan dengan dua tahap yaitu pengujian kinerja perangkat IoT menggunakan *quality of service* dan evaluasi deteksi anomali menggunakan *precision*, *recall* dan *f-1 score*. Pengujian kinerja menggunakan *wireshark* sebagai aplikasi untuk mengukur parameter uji *quality of services*. Pengukuran parameter ini dilakukan satu kali simulasi dengan mengirimkan 1556 data. Hasil pengukuran parameter uji pada *quality of service* yaitu *throughput* 86,152 bps. Nilai ini

menunjukkan kecepatan transfer data suhu dari perangkat IoT ke sistem dalam kategori sangat baik. *Delay* yaitu 0,041199 ms.

Nilai ini menunjukkan waktu yang dibutuhkan hingga paket diterima dalam kategori sangat baik. *Packet loss* yaitu 0,064%. Nilai ini menunjukkan paket yang gagal diterima berada dalam kategori sangat baik.

Selain itu, evaluasi deteksi anomali menggunakan *precision*, *recall* dan *f1-score*. Evaluasi deteksi anomali ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *python* dengan *package Keras*. Hasil evaluasi model prediksi deteksi anomali menggunakan *autoencoder* yaitu *f1-score*, *recall* dan *precision* yaitu 0,9658, 1 dan 0,9952.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Perancangan dan pengembangan sistem *internet of things* serta deteksi anomali buah melon telah dilakukan dengan menggunakan satu jenis sensor yaitu sensor suhu. Berdasarkan hasil pengujian kinerja menggunakan parameter uji *quality of service* yaitu *throughput*, *delay* dan *packet loss* memiliki nilai masing-masing sebesar 86,152 bps, 0,041199 ms dan 0,064%. Hasil evaluasi model deteksi anomali untuk *precision*, *recall* dan *f1-score* yaitu 0,9952, 1 dan 0,9658 dengan batas error *threshold* yaitu 0,1375. Hasil pengujian dan evaluasi tersebut menunjukkan bahwa sistem *internet of things* dan deteksi anomali berjalan dengan sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, *Statistik Indonesia 2024*, vol. 52. 2024.
- [2] S. Fery Purba *et al.*, "The contribution of agricultural crop production towards the economic growth of Indonesia s agricultural sector," *E3S Web Conf.*, vol. 444, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202344402034.
- [3] F. A. Putra, "Pengaruh Ekspor, Impor dan Kurs terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia," *JHIP - J. Ilm. Ilmu Pendidik.*, vol. 1, no. 2, hal. 124–137, 2022, doi: 10.54371/jiip.v5i11.1146.
- [4] R. Sundari dan I. H. Sumiasih, "UPAYA MEMPERTAHANKAN KUALITAS DAN MEMPERPANJANG UMUR SIMPAN BUAH JERUK SIAM DENGAN PENGEMASAN DAN SUHU PENYIMPANAN," *J. Bioind.*, vol. 6, no. 1, hal. 52–62, 2023.
- [5] J. Sondakh, J. H. W. Rembang, dan N. Syahyuti, "Karakteristik, Potensi Generasi Milenial, Dan Perspektif Pengembangan Pertanian Presisi Di Indonesia," *Forum Penelit. Agro Ekon.*, vol. 38, no. 2, hal. 157–169, 2021.
- [6] Y. Zhang, Y. Liu, Z. Jiong, X. Zhang, B. Li, dan E. Chen, "Development and assessment of blockchain- IoT-based traceability system for frozen aquatic product," *J. Food Process Eng.*, vol. 44, no. 5, 2021, doi: 10.1111/jfpe.13669.
- [7] V. Voicu, D. Petreus, dan R. Etz, "IoT Blockchain for Smart Sensor," *Proc. Int. Spring Semin. Electron. Technol.*, vol. 2020-May, hal. 5–9, 2020, doi: 10.1109/ISSE49702.2020.9120915.
- [8] K. Christidis dan M. Devetsikiotis, "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 4, hal. 2292–2303, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2566339.
- [9] J. Hribar dan L. Dasilva, "Utilising Correlated Information to Improve the Sustainability of Internet of Things Devices," *IEEE 5th World Forum Internet Things, WF-IoT 2019 - Conf. Proc.*, hal. 805–808, 2019, doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767256.
- [10] W. W dan A. Kurniawan, "Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things," *Matrix J.*

- Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, hal. 36–41, 2018, doi: 10.31940/matrix.v8i2.818.
- [11] A. Yahyaoui, T. Abdellatif, S. Yangui, dan R. Attia, “READ-IoT: Reliable Event and Anomaly Detection Framework for the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 9, hal. 24168–24186, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3056149.
- [12] S. Kamiş dan D. Goularas, “Evaluation of Deep Learning Techniques in Sentiment Analysis from Twitter Data,” *Proc. - 2019 Int. Conf. Deep Learn. Mach. Learn. Emerg. Appl. Deep. 2019*, hal. 12–17, 2019, doi: 10.1109/Deep-ML.2019.00011.
- [13] I. Goodfellow, Y. Bengio, dan A. Courville, “Deep learning by Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville,” *Nature*, vol. 29, no. 7553, hal. 1–73, 2016.
- [14] M. Savic *et al.*, “Deep Learning Anomaly Detection for Cellular IoT with Applications in Smart Logistics,” *IEEE Access*, vol. 9, hal. 59406–59419, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3072916.
- [15] A. Pumsirirat dan L. Yan, “Credit card fraud detection using deep learning based on auto-encoder and restricted Boltzmann machine,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 1, hal. 18–25, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090103.
- [16] F. Al Wahid, “Rancang Bangun Sistem Komunikasi Data Pada Arsitektur Internet of Things Untuk Proses Budidaya Mikroalga,” 2020.
- [17] M. A. P. Perkasa, “Arsitektur internet of things berbasis protokol mqtt di amazon web services muhammad arioni putra perkasa,” hal. 27, 2020.
- [18] I. Hermadi, A. Fajar Nugraha, S. Wahjuni, I. Effendi, dan A. Asfarian, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Lingkungan Laut Pendukung Aplikasi Marikultur Cerdas K1000 dengan Protokol MQTT,” *J. Ilmu Komput. dan Agri-Informatika*, vol. 8, no. 1, hal. 20–30, 2021, doi: 10.29244/jika.8.1.20-30.
- [19] Willyam, “Deteksi Anomali Cerdas Untuk Tipikal Aliran Data Sensor Iot,” hal. 30, 2020.
- [20] I. Ullah dan Q. H. Mahmoud, “Design and Development of a Deep Learning-Based Model for Anomaly Detection in IoT Networks,” *IEEE Access*, vol. 9, hal. 103906–103926, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3094024.
- [21] M. V. Ngo, T. Luo, H. Chaouchi, dan T. Q. S. Quek, “Contextual-bandit anomaly detection for IoT data in distributed hierarchical edge computing,” *Proc. - Int. Conf. Distrib. Comput. Syst.*, vol. 2020- Novem, hal. 1227–1230, 2020, doi: 10.1109/ICDCS47774.2020.00191.