

REAL-TIME MONITORING DAN EARLY WARNING SYSTEM KETINGGIAN AIR LAUT BERBASIS IOT (STUDI KASUS: PELABUHAN TANJUNG EMAS SEMARANG)

Agung Eka Wardana, Moh. Noor Al Azam

Teknik Informatika, Universitas Narotama Surabaya
Jl. Arief Rachman Hakim 51, Sukolilo Surabaya, Indonesia
agungekawardana@gmail.com

ABSTRAK

Terminal Petikemas Semarang (TPKS) merupakan pelabuhan kelas satu di lingkungan PT Pelindo Terminal Petikemas yang menjadi pusat perekonomian dan pengiriman barang via ekspedisi laut di Semarang. Letak geografis TPKS berada di daerah pantai dengan kondisi kemiringan tanah hampir datar menimbulkan masalah pasang air laut yang menyebabkan genangan bahkan Banjir Rob sehingga mengganggu proses bongkar muat dan aktifitas kepelabuhanan. Penanganan telah dilakukan dengan memasang pompa otomatis di area TPKS. Namun, pengelola harus melakukan pemantauan langsung secara rutin ke lokasi rumah pompa karena tidak adanya sistem *monitoring* dan prediksi banjir sebagai mitigasi banjir. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah sistem yang dapat membantu dalam *monitoring* ketinggian air secara *real-time* dan memprediksi potensi banjir serta memberikan peringatan dini banjir. Teknologi *Internet of Things* (IoT) digunakan dalam pemantauan ketinggian air dan status pompa otomatis. Prediksi ketinggian air menggunakan metode *forecasting* dengan model *Weighted Moving Average* (WMA). Data penelitian adalah data *time series* ketinggian air yang dicatat perjam pada periode Agustus 2023 hingga Januari 2024. Hasil dari penelitian ini yaitu sistem *real-time monitoring* dan *early warning system* (EWS) yang dapat memberikan informasi *real-time* mengenai ketinggian air, status pompa, dan cuaca serta pesan peringatan dini potensi banjir kepada pengelola melalui email dan SMS berdasarkan data *forecast*. Akurasi metode WMA dengan 3 periode data sebelumnya sangat baik berdasarkan perhitungan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada masing-masing rumah pompa dengan nilai rata-rata dibawah 10%.

Kata kunci : *Early Warning System (EWS), Forecasting, Real-Time Monitoring Banjir, Weighted Moving Average (WMA)*

1. PENDAHULUAN

Terminal Petikemas Semarang (TPKS) merupakan pelabuhan kelas satu di lingkungan PT Pelindo Terminal Petikemas yang terletak di pantai utara Jawa Tengah tepatnya di ibu Kota Provinsi Jawa Tengah Semarang, yang beralamat di Jl. Coaster No. 10A Semarang Jawa Tengah. TPK Semarang menjadi pusat perekonomian dan pengiriman barang via ekspedisi laut di Semarang. Pelabuhan yang diresmikan pada tahun 1985 ini menjadi pintu masuk utama barang ekspor dan impor dari dan ke Semarang. Sehingga tidak heran banyak Perusahaan besar yang membangun pabrik di sini.

Letak geografis TPK Semarang yang berada di daerah pantai dengan kondisi kemiringan tanah yang hampir datar menimbulkan permasalahan yang serius bagi pengelola pelabuhan. Pengelola selalu dihadapkan pada masalah pasang air laut yang menyebabkan genangan bahkan Banjir Rob. Penurunan permukaan tanah di area TPK Semarang yang mencapai 10 cm per tahun juga menjadi penyebab kawasan pelabuhan semakin tenggelam.

Permasalahan genangan air akibat Banjir Rob di area TPK Semarang masih menjadi ancaman bagi pengguna jasa kepelabuhanan karena mengakibatkan terganggunya proses *stevedoring* (bongkar muat) maupun aktifitas kepelabuhanan lainnya. Berbagai

penanganan sudah dilakukan untuk menanggulangi terjadinya banjir menggunakan sistem *polder*, peninggian jalan, dermaga, dan area *container yard* (CY). *Polder* berupa kolam retensi untuk penampungan sementara air laut sebelum dibuang kembali ke laut. Pada ketinggian tertentu, air yang ada di *polder* akan dipompa ke laut menggunakan 6 pompa otomatis yang terpasang di sudut *polder*. Lima titik rumah pompa otomatis juga dipasang di area Pelabuhan Tanjung Emas yang memiliki risiko tinggi potensi menimbulkan genangan banjir.

Selain pemasangan pompa otomatis, pengelola juga melakukan pemantauan ketinggian air secara berkala di setiap rumah pompa dan kolam *polder* untuk memastikan perubahan ketinggian air dalam status aman. Pengelola melakukan pemantauan secara manual menggunakan *Peil Scale* (alat ukur ketinggian air) yang terdapat pada dinding kolam, sehingga faktor terjadinya *human error* cukup besar. Pengelola juga melakukan pemantauan terhadap pompa-pompa otomatis untuk memastikan pompa selalu dalam kondisi *ready* ketika sewaktu-waktu status ketinggian air tidak aman. Pemantauan harus dilakukan secara rutin oleh pengelola sebagai bentuk mitigasi potensi bencana banjir yang tidak dapat diprediksi.

Untuk itu, diperlukan suatu sistem yang dapat memberikan informasi ketinggian air secara *real-time*

dan peringatan dini potensi banjir sehingga dapat membantu TPK Semarang dalam mitigasi ancaman banjir. Dalam penelitian ini akan dikembangkan satu sistem untuk *monitoring* ketinggian air secara *real-time* menggunakan IoT dan *website* sebagai visualisasi dari data *monitoring* yang dapat diakses melalui internet kapanpun dan dimanapun.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Internet of Things (IoT)

IoT (*Internet of Things*) dapat didefinisikan kemampuan berbagai *device* yang bisa saling terhubung dan saling bertukar data melalui jaringan internet. IoT merupakan satu teknologi yang memungkinkan adanya satu pengendalian, komunikasi, kerjasama dengan berbagai perangkat keras, data melalui jaringan internet.

Aritektur IoT digambarkan seperti sekumpulan sensor dan aktuator yang saling terhubung dan bertukar data melalui *gateway*. Dari *gateway* data akan diteruskan menuju *data center* untuk diolah sehingga dapat diubah menjadi informasi yang bermanfaat dan bisa diakses dari web atau aplikasi *mobile*.

2.2. Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan kumpulan *node* sensor yang saling terhubung dan bertukar informasi dalam suatu zona wilayah tertentu dengan memanfaatkan jaringan tanpa kabel.

WSN adalah jaringan tanpa kabel yang terbangun dari basis *data center* dan beberapa sensor nirkabel yang memiliki peran untuk melakukan *monitoring* perubahan kondisi didekatnya seperti tekanan udara, kelembaban udara, jarak dengan objek, cahaya, dan kecepatan angin yang mana data akan dikirim secara periodik menuju ke *data center*.

2.3. Forecasting

Forecasting adalah teknik atau pendekatan yang digunakan untuk membuat estimasi atau prediksi tentang nilai-nilai masa depan berdasarkan data historis dan tren yang ada. *Forecasting* memiliki estimasi nilai atau karakteristik masa depan yakni prediksi (*prediction*), peramalan (*forecast*), dan kecenderungan (*trend*).

Tujuan dari *forecasting* adalah untuk memberikan gambaran yang seakurat mungkin tentang apa yang mungkin terjadi di masa mendatang. Ini dapat melibatkan berbagai jenis data, termasuk data ekonomi, cuaca, penjualan, stok, dan lainnya, tergantung pada konteks dan kebutuhan aplikasinya.

Salah satu metode *forecasting* yakni *moving average* (MA). Metode *moving average* dilakukan dengan mengambil sekelompok nilai pengamatan yang kemudian dicari rata-ratanya, lalu menggunakan rata-rata tersebut sebagai ramalan untuk periode berikutnya.

2.4. Weighted Moving Average (WMA)

WMA adalah variasi dari metode *moving average* yang menggunakan pembobotan pada setiap data untuk peramalan. Bobot yang lebih besar diberikan pada data terkini dibandingkan dengan data sebelumnya. Rumus metode WMA dapat dilihat pada persamaan 1.

$$WMA = \frac{\sum(da \times bobot)}{\sum bobot} \tag{1}$$

dengan *da* adalah data aktual pada periode *t* dan *bobot* adalah bobot yang diberikan untuk tiap periode. Penentuan bobot pada WMA bersifat subjektif, tergantung pada pengalaman dan analisis data.

2.5. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE merupakan salah satu dari beberapa model pengukuran keakuratan metode *forecasting*. Model ini mengukur keakuratan dari *forecasting* dengan menjumlahkan total bias (deviasi) antara *forecast* dan data aktual. Nilai MAPE dapat dihitung dengan rumus seperti pada persamaan 2.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |X_t - F_t|}{n} \times 100\% \tag{2}$$

dengan X_t adalah nilai aktual, F_t adalah nilai *forecast*, n adalah jumlah periode dan t adalah periode *forecasting*. Interpretasi nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 1 [9].

Tabel 1. Interpretasi nilai MAPE

Nilai MAPE	Deskripsi
< 10%	Hasil <i>forecasting</i> sangat akurat
10 – 20%	Hasil <i>forecasting</i> baik
20 – 50%	Hasil <i>forecasting</i> layak (cukup baik)
> 50%	Hasil <i>forecasting</i> tidak akurat

2.6. Application Programming Interface (API)

Application Programming Interface (API) memungkinkan *developer* untuk mengintegrasikan dua bagian dari aplikasi atau dengan aplikasi yang berbeda secara bersamaan. API terdiri dari berbagai elemen seperti *function*, *protocols*, dan *tools* lainnya yang memungkinkan *developers* untuk membuat aplikasi.

Tujuan penggunaan API adalah untuk mempercepat proses *development* dengan menyediakan *function* secara terpisah sehingga *developer* tidak perlu membuat fitur yang serupa.

2.7. Website

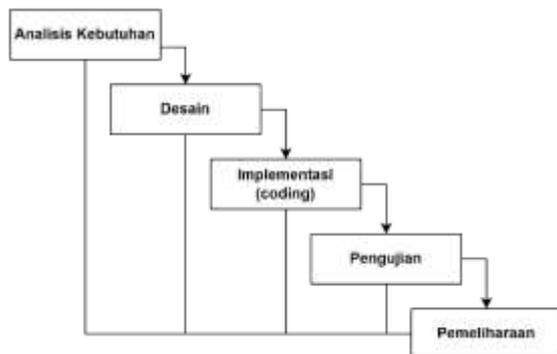
Website atau situs dapat diartikan sebagai kumpulan halaman yang menampilkan informasi data teks, data gambar diam atau gerak, data animasi suara, video dan atau gabungan dari semuanya. Baik yang bersifat statis maupun dinamis yang membentuk satu rangkaian bangunan yang saling terkait dimana masing-masing dihubungkan dengan jaringan-jaringan halaman.

2.8. Software Development Life Cycle (SDLC)

SDLC merupakan siklus yang digunakan dalam pengembangan perangkat lunak. Tujuan dari SDLC

yaitu menghasilkan sistem yang berkualitas sesuai dengan tujuan, kebutuhan, dan harapan *user*.

Salah satu metode SDLC yang banyak digunakan yaitu metode *waterfall*. Metode *waterfall* merupakan model SDLC yang terstruktur dan linear, proses pengembangan dipecah menjadi beberapa tahap yang harus dijalankan secara berurutan. Tahapan metode *waterfall* dapat dilihat pada Gambar 1.



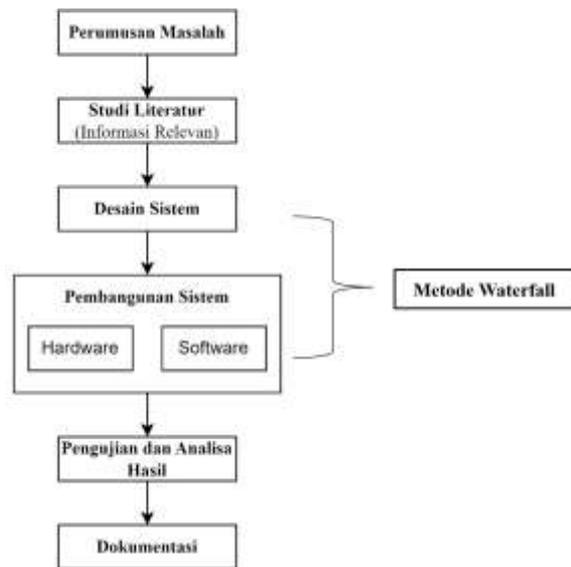
Gambar 1. Metode *waterfall*

Penjelasan setiap tahap metode *waterfall* pada gambar 1 adalah sebagai berikut:

- a. Analisis kebutuhan
Pemahaman mengenai kebutuhan dan tujuan dari perangkat lunak yang akan dikembangkan.
- b. Desain
Perancangan arsitektur dan struktur sistem. Desain ini meliputi desain sistem, *user interface*, desain *database*, dan komponen lainnya.
- c. Implementasi (*coding*)
Implementasi dari desain yang telah disetujui pada tahap sebelumnya dalam bentuk sistem yang aktual.
- d. Pengujian
Pengujian terhadap sistem untuk memastikan setiap komponen pada perangkat lunak berfungsi seperti yang diharapkan.
- e. Pemeliharaan
Pemeliharaan terhadap sistem yang telah diimplementasikan dalam lingkup *production* dan telah digunakan oleh *end user* dengan melakukan perbaikan *bug*, peningkatan fitur, dan pengembangan perangkat lunak sesuai kebutuhan *user*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan analisis data untuk menginvestigasi efektivitas sistem *real-time monitoring* dan *early warning system* dalam mitigasi risiko banjir. Desain penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain penelitian

Penjelasan desain penelitian pada gambar 2:

3.1. Perumusan masalah

Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi dari masalah atau isu yang memerlukan investigasi lebih lanjut. Masalah dalam penelitian dapat diartikan sebagai persoalan atau kesenjangan yang mungkin dapat menuntut peneliti untuk mencari jawaban atau solusinya. Perumusan masalah ini bertujuan untuk memudahkan dalam menentukan fokus penelitian agar sesuai dengan tujuan awal penelitian.

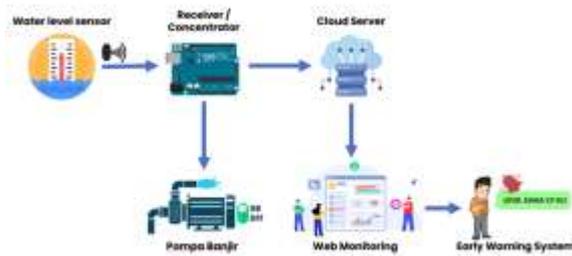
3.2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan pada penelitian ini untuk mengumpulkan data, referensi, dan melakukan kajian teori sebagai pembanding antara penelitian yang akan dilaksanakan dengan penelitian terkait yang sudah ada sebelumnya. Studi literatur yang didapat dari berbagai referensi antara lain:

- a. Pengumpulan informasi relevan mengenai *real-time monitoring* dan *early warning system* (EWS).
- b. Mempelajari teknologi yang digunakan untuk mendukung sistem *monitoring*, seperti spesifikasi sensor, *platform monitoring*, serta penerapan teknologi nirkabel dan *Internet of Things* (IoT) dalam pengumpulan data secara *real-time*.

3.3. Desain sistem

Pada tahap ini merupakan tahap awal untuk pembuatan desain arsitektur sistem yang terdiri dari alur dan komponen sehingga menciptakan sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian. Desain arsitektur sistem dapat dilihat pada gambar 3.

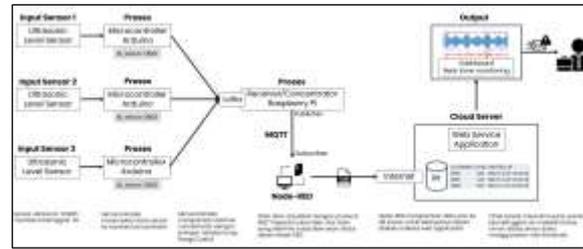


Gambar 3. Desain arsitektur sistem

Penjelasan desain arsitektur sistem gambar 3:

- 1. Water level sensor**
 Pada penelitian ini menggunakan sensor *ultrasonic* untuk mengukur jarak permukaan air dengan posisi sensor yang diletakkan pada bibir kolam. Selain itu, terdapat CT (*Current Transformer*) sensor yang dipasang pada panel pompa untuk mengukur besaran arus listrik yang mengalir melalui kabel penghantar tanpa memutus sirkuit.
- 2. Receiver / concentrator**
 Pada penelitian ini, *receiver/concentrator* menggunakan modul Raspberry Pi yang terhubung dengan modul LoRa. *Receiver/concentrator* akan melakukan *publish* data yang telah diterima menggunakan protokol MQTT kepada *subscriber*. Data yang dipublikasikan melalui protokol MQTT harus dibuatkan *flow* untuk dapat disimpan didalam *database server*. *Flow* terbentuk dari *node* yang saling berhubungan yang mana setiap *node* melakukan tugas masing-masing. *Flow* dibuat menggunakan *tools* Node-RED yang didesain untuk IoT.
- 3. Cloud server**
 Layanan server yang menggunakan teknologi *cloud computing*. Semua sumber daya komputasi seperti CPU, RAM, dan Storage dikelola oleh penyedia layanan server. Cloud server ini digunakan untuk menyimpan *database* dan *resource* aplikasi sehingga aplikasi dapat diakses melalui *internet* kapanpun dan darimanapun.
- 4. Website monitoring**
 Merupakan website yang akan menampilkan seluruh informasi mengenai *real-time monitoring* dan *early warning system* ketinggian air laut di setiap rumah pompa. Dari sistem ini juga akan mengirimkan *early warning* kepada pengelola melalui pesan *email* dan SMS. Pada sistem ini terdapat proses untuk mendapatkan data prediksi ketinggian air laut menggunakan metode *forecasting* berdasarkan data sensor yang telah tersimpan pada sistem.

Alur data dari desain arsitektur sistem yang akan dibangun dijelaskan pada gambar 4. Alur data ini mendeskripsikan proses data yang diambil hingga dapat ditampilkan menjadi informasi yang bermanfaat bagi pengelola atau divisi teknik TPKS.



Gambar 4. Alur data

3.4. Analisis kebutuhan

Pada tahap ini spesifikasi sistem sesuai kebutuhan *user* yaitu:

1. *User* dapat melakukan *monitoring* ketinggian air, status pompa, dan kondisi cuaca secara *real-time*.
2. *Admin* dapat *login* pada halaman admin.
3. *Admin* dapat mengatur *threshold* status ketinggian air.
4. *Admin* dapat menerima pesan dari *early warning system* melalui email dan SMS.
5. *Admin* dapat *logout* dari halaman admin.

3.5. Desain

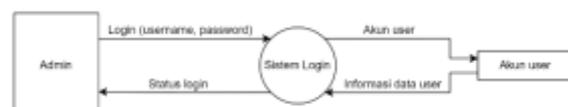
Tahap desain ini merupakan tahapan mendefinisikan proses serta kebutuhan sistem, mulai dari desain *database*, *user interface*, *flowchart system*, hingga *support* yang digunakan dalam sistem.

Sistem yang akan dibangun menggunakan metode Perancangan Terstruktur (*Structured Analysis and Design / SSAD*) dalam menggambarkan *requirement* fungsional yang diharapkan. Pendekatan visual pada metode SSAD memudahkan *user* maupun programmer dalam memahami kebutuhan sistem. Desain alur data pada sistem yang dibangun digambarkan dalam bentuk *Data Flow Diagram* (DFD).



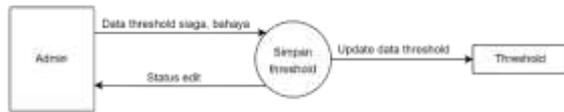
Gambar 5. DFD level 0

Gambar 5 merupakan DFD level 0 yang menunjukkan diagram alir data pada sistem *real-time monitoring* dan *early warning system* yang mana terdapat dua eksternal *entity* yang berhubungan dengan sistem yakni *admin* dan *guest*.



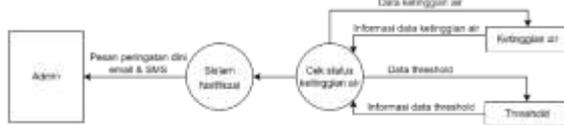
Gambar 6. DFD level 1 sistem login

Gambar 6 merupakan alur data proses *login user* dengan *input* *username* dan *password*.



Gambar 7. DFD level 1 sistem kelola threshold

Gambar 7 merupakan alur data kelola threshold ketinggian air oleh user admin dengan input berupa nilai threshold status siaga dan bahaya.



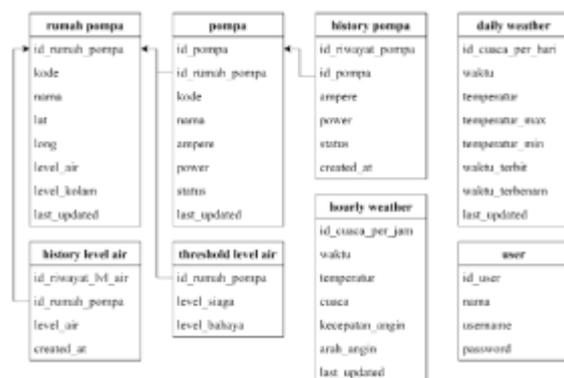
Gambar 8. DFD level 1 sistem EWS

Gambar 8 merupakan alur data EWS mengirim data kondisi ketinggian air dan potensi banjir kepada user admin. Relasi antar data dalam database digambarkan dalam bentuk Entity Relationship Diagram (ERD) seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Entity relationship diagram (ERD)

Struktur database yang akan dibangun berdasarkan ERD yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Rancangan struktur database

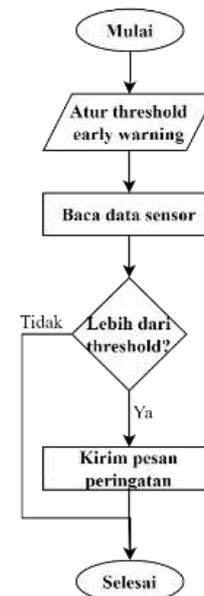
Penjelasan desain struktur database pada gambar 10:

1. Tabel rumah pompa berisi data rumah pompa yang ada di area TPK Semarang.

2. Tabel pompa berisi data pompa yang terpasang pada setiap rumah pompa.
3. Tabel history level air berisi data riwayat ketinggian air yang diperbarui secara real-time.
4. Tabel history pompa berisi data riwayat kondisi status pompa yang diperbarui secara real-time.
5. Tabel threshold level air berisi data nilai threshold yang menentukan status ketinggian air pada masing-masing rumah pompa.
6. Tabel daily weather berisi data kondisi cuaca di area TPK Semarang dengan periode hari.
7. Tabel hourly weather berisi data kondisi cuaca di area TPK Semarang dengan periode jam.
8. Tabel user berisi data akun user untuk login kehalaman admin pada aplikasi.

Data yang tersimpan dalam database akan dianalisa dan dihitung untuk dapat memprediksi potensi banjir di area TPK Semarang. Proses forecasting dilakukan dengan metode Weighted Moving Average (WMA) untuk memprediksi ketinggian air sebagai prediksi potensi banjir. Variabel input metode WMA ini merupakan data riwayat ketinggian air pada masing-masing rumah pompa.

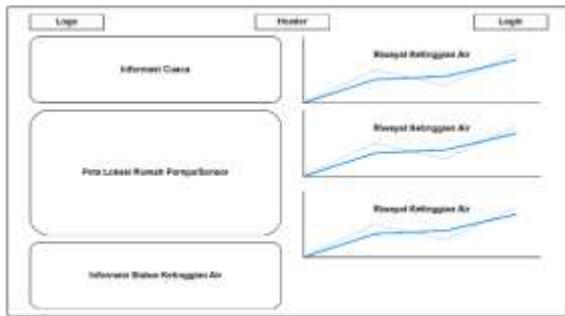
Alur sistem pada proses early warning system pada penelitian ini digambarkan dalam bentuk flowchart pada gambar 11.



Gambar 11. Flowchart EWS

Early warning system akan terus membaca data sensor dan prediksi ketinggian air untuk mengetahui potensi banjir. Jika ketinggian air melebihi nilai threshold maka sistem akan mengirimkan pesan peringatan dini kepada admin atau pengelola melalui pesan email dan SMS.

Perancangan user interface (UI) dilakukan untuk memberikan gambaran kepada user mengenai aplikasi yang akan dibangun. Rancangan halaman dashboard real-time monitoring dapat dilihat pada gambar 12.



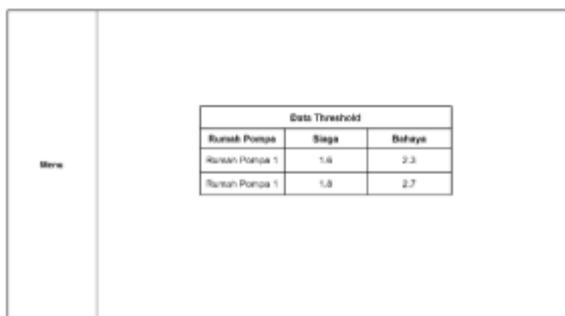
Gambar 12. Rancangan halaman *dashboard*

Data dari *node* sensor yang berhasil disimpan dalam *database* akan ditampilkan pada halaman *dashboard*. Rancangan halaman *login admin* dapat dilihat pada gambar 13.



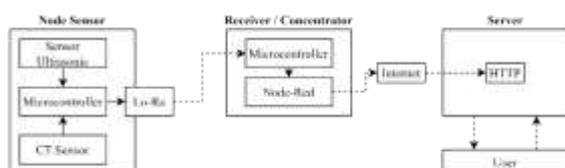
Gambar 13. Rancangan halaman *login*

Rancangan halaman kelola *threshold* ketinggian air dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Rancangan halaman kelola *threshold*

Perancangan pada penelitian ini juga dilakukan untuk mendeskripsikan desain dari *device / hardware* yang digunakan untuk *monitoring* dalam bentuk blok diagram yang dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Blok diagram modul *monitoring*

Node sensor akan terhubung dengan *receiver* yang berbasis Raspberry Pi melalui jaringan LoRa pada frekuensi 915 MHz. Data yang diterima oleh *receiver* akan di *publish* melalui protokol MQTT. Data yang diterima oleh *subscriber* akan diatur oleh *flow* pada Node-Red untuk dapat disimpan kedalam *database server* melalui jaringan internet.

3.6. Implementasi (*coding*)

Desain dan rancangan yang telah dibuat pada tahap selanjutnya harus ditranslasikan kedalam kode program perangkat lunak. Hasil dari tahap ini adalah program perangkat lunak sesuai dengan desain yang telah dibuat.

Implementasi sistem yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman *open-source* PHP (*Hypertext Preprocessor*) dengan *framework* Laravel versi 8. *Web service* menggunakan Apache versi 2. *Database* yang dibangun menggunakan MySQL versi 8.0. Struktur *database* yang dibangun dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Struktur *database*

3.7. Pengujian

Pengujian dilakukan pada program perangkat lunak dan perangkat keras. Pengujian perangkat keras dilakukan untuk memastikan konsistensi perangkat keras dalam membaca dan mengirim data ke sistem. Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat lunak berjalan sesuai logika dan fungsional yang diinginkan.

3.8. Pemeliharaan

Pada tahap ini, sistem yang telah diuji dapat diimplementasikan kedalam lingkup *production* atau *deliver* ke *user*. Memastikan dokumentasi tentang aplikasi telah dibuat dan *training* kepada *user* dilakukan. Jika terdapat *bug* atau *error* yang muncul setelah tahap implementasi, maka akan menjadi masukan saat proses pemeliharaan rutin sistem.

3.9. Sumber data

Sumber data utama dalam penelitian ini mencakup sensor ketinggian air di masing-masing rumah pompa yang diuji. Selain itu, sumber data juga melibatkan sistem *monitoring* otomatis yang diintegrasikan, termasuk data cuaca dari *automated*

weather stations (AWS) yang memberikan informasi mengenai kecepatan angin, curah hujan, temperatur, dan parameter cuaca lainnya.

Dengan memanfaatkan sumber data ini, penelitian ini dapat memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai perilaku ketinggian air laut, efektivitas *early warning system*, dan respons pihak terkait terhadap ancaman potensi banjir.

3.10. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data yang terdapat dalam penelitian ini:

1. Sensor
Instalasi sensor untuk mengukur ketinggian air, *ampere*, dan *power* pompa otomatis.
2. API
Data kondisi cuaca dari *Automated Weather Stations* (AWS) yang diambil melalui *open API*.

3.11. Instrumen penelitian

Instrumen alat-alat yang digunakan dalam penelitian:

1. *Node transmitter*
 - a. Arduino Nano
 - b. Converter RS485 to TTL
 - c. Ultrasonic Level Sensor RS485
 - d. RFM 95W 915 Mhz
 - e. Box Dinrail 88x72x59mm
 - f. PSU Meanwell HDR 15 5 5VDC
 - g. PSU Meanwell MDR 20 24 24VDC
 - h. Kabel Kontrol 4x2.5 YSLY-JZ
 - i. Antenna Node 915 Mhz
 - j. SCT-013 100A
2. *Receiver / concentrator*
 - a. Paket Raspberry Pi 3B + RAK2245
 - b. Junction Box
 - c. Antenna Helium 8 dBi 915 Mhz
 - d. Kabel Antenna Helium
3. Server
 - a. VM Windows 10
4. *Programming tools*
 - b. Laptop core i7 generasi 7, 12 GB RAM, storage 256 GB, OS Wins 10
 - c. Visual studio code

3.12. Analisis data

Tahap analisis digunakan untuk mengevaluasi proses yang dilakukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Hasil evaluasi akan menentukan perbaikan dan perancangan sistem seperti apa yang dibutuhkan.

Langkah selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai perbaikan dan perancangan aplikasi yang menjadi bahan bahasan utama. Perbaikan dan perancangan aplikasi di TPK Semarang dilakukan agar pencatatan data lebih cepat dan akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil penelitian

Hasil dari serangkaian tahap yang telah dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

4.2. Implementasi

Tampilan aplikasi sistem *real-time monitoring* halaman *dashboard* dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Halaman *monitoring*

Informasi yang tampil pada gambar 17 yaitu berupa grafik pergerakan ketinggian air, *forecast*, kondisi cuaca di area TPK Semarang, dan status pompa otomatis.



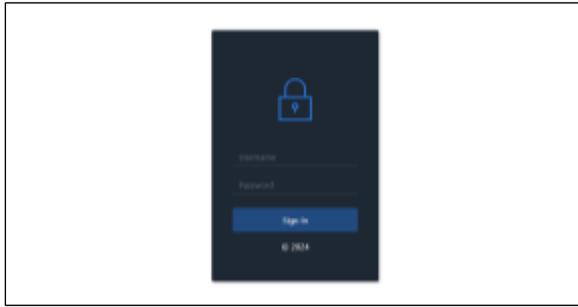
Gambar 18. Detil informasi rumah pompa

Informasi yang tampil pada gambar 18 yaitu *threshold* batas siaga dan bahaya serta status pompa otomatis.



Gambar 19. Monitoring perangkat

Pada gambar 19 dapat dilakukan *monitoring* perangkat pengiriman data yang berada di setiap rumah pompa.



Gambar 20. Halaman login

Tampilan halaman *login* untuk *user admin* dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 21. Halaman kelola *threshold*

Pada gambar 21, *user admin* yang berhasil *login* dapat melakukan kelola nilai *threshold* status ketinggian air. *User admin* dapat mengubah nilai *threshold* siaga dan bahaya seperti pada gambar 22.



Gambar 22. Ubah *threshold*

4.3. Pengujian

Peralatan yang digunakan pada tahap ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat keras terdiri dari 1 buah laptop dengan spesifikasi:

1. Prosesor: *Core i7* generasi 11
2. RAM: 16GB
3. Storage: 512GB

Perangkat lunak *web browser* yang digunakan terdiri dari *Chrome*, *Firefox*, *Microsoft Edge* yang terinstall pada OS windows 10. Pengujian pada penelitian ini meliputi:

1. Metode pengumpulan data

Hasil pengujian dilakukan untuk memastikan *node module* yang terpasang pada rumah pompa berhasil mengirimkan data yang dibaca sensor. Sensor berhasil membaca data ketinggian air seperti pada gambar 23.

rbc	rmh_pompa_code	water_level	last_updated
TPKS-RP-PSTI		1.21	2024-01-04 15:59:33
TPKS-RP-PSTI		1.2	2024-01-04 15:59:00
TPKS-RP-PSTI		1.19	2024-01-04 15:58:26
TPKS-RP-PSTI		1.17	2024-01-04 15:57:52
TPKS-RP-PSTI		1.15	2024-01-04 15:57:19
TPKS-RP-PSTI		1.13	2024-01-04 15:56:45
TPKS-RP-PSTI		1.11	2024-01-04 15:56:11
TPKS-RP-PSTI		1.09	2024-01-04 15:55:38
TPKS-RP-PSTI		1.07	2024-01-04 15:55:04
TPKS-RP-PSTI		1.05	2024-01-04 15:54:30
TPKS-RP-PSTI		1.03	2024-01-04 15:53:57
TPKS-RP-PSTI		1.02	2024-01-04 15:53:23
TPKS-RP-PSTI		1	2024-01-04 15:52:49
TPKS-RP-PSTI		1.03	2024-01-04 15:52:16
TPKS-RP-PSTI		1.05	2024-01-04 15:51:42
TPKS-RP-PSTI		1.07	2024-01-04 15:51:09
TPKS-RP-PSTI		1.08	2024-01-04 15:50:36
TPKS-RP-PSTI		1.1	2024-01-04 15:50:02
TPKS-RP-PSTI		1.1	2024-01-04 15:49:28
TPKS-RP-PSTI		1.06	2024-01-04 15:48:55

Gambar 23. Data ketinggian air

Sensor berhasil membaca data *ampere* dan *power* pompa untuk mengetahui status pompa otomatis seperti pada gambar 24.

rmh_pompa_code	ampere	power	status_pompa	created_at
TPKS-PSTI-003	32.61	11.18	ON	2024-01-04 15:59:33
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:59:00
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:58:26
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:57:52
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:57:19
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:56:45
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:56:11
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:55:38
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:55:04
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:54:30
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:53:57
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:53:23
TPKS-PSTI-003	32.27	11.07	ON	2024-01-04 15:52:49
TPKS-PSTI-003	32.52	11.15	ON	2024-01-04 15:52:16
TPKS-PSTI-003	32.49	11.14	ON	2024-01-04 15:51:42
TPKS-PSTI-003	32.41	11.11	ON	2024-01-04 15:51:09
TPKS-PSTI-003	32.43	11.12	ON	2024-01-04 15:50:36
TPKS-PSTI-003	32.57	11.17	ON	2024-01-04 15:50:02
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:49:28
TPKS-PSTI-003	0	0	OFF	2024-01-04 15:48:55

Gambar 24. Data *ampere* dan *power* pompa

Data kondisi cuaca berhasil dikumpulkan dengan memanfaatkan open API dari *automated weather stations*. Data kondisi cauca dapat dilihat pada gambar 25 dan 26.

date	temperature	humidity	wind_speed	wind_dir	visibility	uv_index
2024-01-04 11:00:00	30.9	85.2	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:05:00	29.9	85.2	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:10:00	30.2	86.7	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:15:00	30.2	86.7	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:20:00	30.8	84.9	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:25:00	30.7	84.4	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:30:00	31.3	83.7	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:35:00	31.1	83.2	0	0	10.1	0
2024-01-04 11:40:00	30.8	82.8	0	0	10.1	0

Gambar 25. Data cuaca dalam periode jam

date	weathercode	temperature_max	temperature_min	humidity	wind
2024-01-04	95	30.3	26.5	85.2780	17.5600
2024-01-03	95	29.2	26.4	85.0600	15.5700
2024-01-02	96	32.4	26.3	83.8800	15.5700
2024-01-01	95	31.8	26.8	85.2500	17.5600
2023-12-31	96	31.7	27.8	85.2500	17.5600
2023-12-30	95	31.1	26.8	85.0400	17.5600
2023-12-29	95	32.5	27.8	85.0400	17.5600
2023-12-28	96	33.9	27.1	85.2500	17.5600
2023-12-27	96	31.7	27	84.8400	17.5600
2023-12-26	95	31.1	26.7	83.1100	17.5600

Gambar 26. Data cuaca dalam periode hari

2. Sistem dashboard monitoring

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian dan reponsibilitas sistem pada beberapa web browser yang digunakan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem pada beberapa web browser

Web Browser	Resolusi Tampilan	Kesesuaian Tampilan	Performa Fungsi Sistem
Google Chrome	Tampilan sudah detil	Informasi yang ditampilkan sesuai	Proses pada aplikasi berjalan lancar
Mozilla Firefox	Tampilan sudah detil	Informasi yang ditampilkan sesuai	Proses pada aplikasi berjalan lancar
Microsoft Edge	Tampilan sudah detil	Informasi yang ditampilkan sesuai	Proses pada aplikasi berjalan lancar

3. Metode forecasting

Forecasting pada penelitian ini menggunakan pergerakan 3n periode. Proses awal yaitu menentukan bobot untuk nilai pada periode-periode sebelumnya.

Tabel 3. Bobot nilai forecasting

Periode	Nilai Bobot
n1	0,17
n2	0,33
n3	0,50

Contoh data aktual ketinggian air di rumah pompa CY-02 pada 7 januari 2024 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data ketinggian air rumah pompa CY-02

Jam	Ketinggian air (m)
00:00	2,23
01:00	2,2
02:00	2,2
03:00	2,2

Proses perhitungan forecasting ketinggian air pada jam 03:00 di rumah pompa CY-02 berdasarkan 3 periode sebelumnya:

$$WMA = (2,2 \times 0,5) + (2,2 \times 0,33) + (2,23 \times 0,17)$$

$$= 1,1 + 0,73 + 0,38 = 2,21$$

Dengan WMA, dapat diketahui nilai forecasting ketinggian air pada jam 03:00 di rumah pompa CY-02 adalah 2,21 meter. Untuk mengetahui persentase nilai kesalahan dan mengidentifikasi kebaikan sebuah model forecasting, dapat dihitung menggunakan model Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil perhitungan forecasting dan MAPE pada rumah pompa cluster dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai forecasting dan MAPE rumah pompa cluster.

Jam	Ketinggian air (m)	WMA (m)	Xt - Ft	(Xt - Ft /Xt) * 100
00:00	0,6	-	-	-
01:00	0,6	-	-	-
02:00	0,6	-	-	-
03:00	0,6	0,60	0,00	0,00
04:00	0,61	0,60	0,01	1,64
05:00	0,61	0,61	0,01	0,82
06:00	0,61	0,61	0,00	0,28
07:00	0,62	0,61	0,01	1,61
08:00	0,64	0,62	0,03	3,91
09:00	0,65	0,63	0,02	3,34
10:00	0,65	0,64	0,01	1,29
11:00	0,66	0,65	0,01	1,77
12:00	0,66	0,66	0,01	0,76
13:00	0,66	0,66	0,00	0,26
14:00	0,65	0,66	0,01	1,54
15:00	0,65	0,66	0,01	0,77
16:00	0,67	0,65	0,02	2,73
17:00	0,67	0,66	0,01	1,49
			MAPE	1,48%

Hasil perhitungan forecasting dan MAPE pada rumah pompa prasasti dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai forecasting dan MAPE rumah pompa prasasti

Jam	Ketinggian air (m)	WMA (m)	Xt - Ft	(Xt - Ft /Xt) * 100
00:00	0,93	-	-	-
01:00	0,93	-	-	-
02:00	0,94	-	-	-
03:00	0,93	0,94	0,01	0,54
04:00	0,98	0,93	0,05	4,77
05:00	0,98	0,96	0,02	2,38
06:00	1,02	0,97	0,05	4,75
07:00	1,06	1,00	0,06	5,66
08:00	1,04	1,03	0,01	0,65
09:00	1,07	1,04	0,03	2,50
10:00	1,02	1,06	0,04	3,76
11:00	1,03	1,04	0,01	0,96
12:00	1,03	1,03	0,00	0,34
13:00	1	1,03	0,03	2,83
14:00	0,98	1,02	0,04	3,57
15:00	1,05	1,00	0,05	5,23
16:00	1,06	1,02	0,04	3,92
17:00	0,99	1,04	0,05	5,36
			MAPE	3,15%

Hasil perhitungan forecasting dan MAPE pada rumah pompa CY-01 dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai forecasting dan MAPE rumah pompa CY-01

Jam	Ketinggian air (m)	WMA (m)	Xt - Ft	(Xt - Ft /Xt) * 100
00:00	1,75	-	-	-
01:00	1,79	-	-	-

Jam	Ketinggian air (m)	WMA (m)	Xt - Ft	(Xt - Ft /Xt) * 100
02:00	1,83	-	-	-
03:00	1,86	1,80	0,06	3,05
04:00	1,66	1,84	0,18	10,73
05:00	1,58	1,75	0,17	11,07
06:00	1,63	1,65	0,02	1,47
07:00	1,68	1,62	0,06	3,65
08:00	1,73	1,65	0,08	4,83
09:00	1,76	1,70	0,06	3,61
10:00	1,79	1,74	0,05	2,99
11:00	1,7	1,77	0,07	4,11
12:00	1,52	1,74	0,22	14,47
13:00	1,61	1,63	0,02	0,95
14:00	1,66	1,60	0,06	3,88
15:00	1,7	1,62	0,08	4,72
16:00	1,75	1,67	0,08	4,49
17:00	1,77	1,72	0,05	2,93
			MAPE	5,13%

Hasil perhitungan *forecasting* dan MAPE pada rumah pompa CY-02 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai *forecasting* dan MAPE rumah pompa CY-02

Jam	Ketinggian air (m)	WMA (m)	Xt - Ft	(Xt - Ft /Xt) * 100
00:00	2,23	-	-	-
01:00	2,2	-	-	-
02:00	2,2	-	-	-
03:00	2,2	2,21	0,01	0,23
04:00	2,16	2,20	0,04	1,85
05:00	2,16	2,18	0,02	0,93
06:00	2,17	2,17	0,00	0,15
07:00	2,23	2,17	0,06	2,91
08:00	2,24	2,20	0,04	1,86
09:00	2,25	2,22	0,03	1,12
10:00	2,28	2,24	0,04	1,61
11:00	2,28	2,26	0,02	0,73
12:00	2,29	2,27	0,02	0,66
13:00	2,27	2,29	0,02	0,66
14:00	2,26	2,28	0,02	0,81
15:00	2,26	2,27	0,01	0,37
16:00	2,25	2,26	0,01	0,52
17:00	2,25	2,26	0,00	0,22
			MAPE	0,98%

Dari keseluruhan perhitungan nilai MAPE pada hasil *forecasting* menunjukkan bahwa akurasi metode WMA sangat baik dengan rata-rata dibawah 10%.

4. Early warning system (EWS)

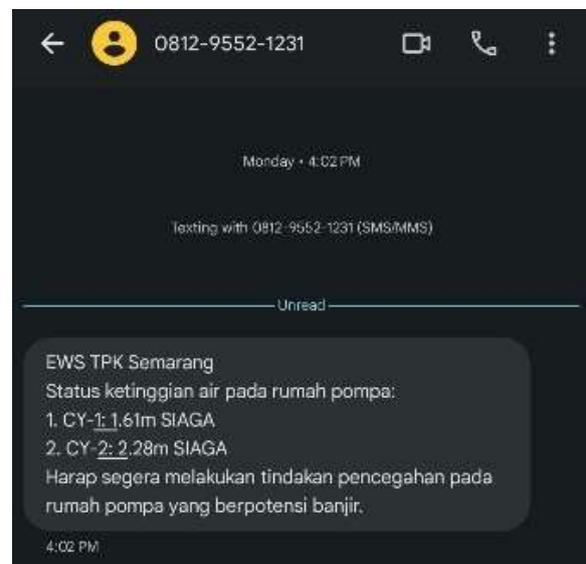
Pengujian EWS dilakukan untuk memastikan sistem dapat mengirim pesan notifikasi peringatan dini kepada *user admin* terkait potensi banjir berdasarkan status ketinggian air, prediksi ketinggian air, dan kondisi cuaca saat ini.

Sistem berhasil mengirim pesan notifikasi peringatan dini melalui *email* seperti pada gambar 27.



Gambar 27. Pesan notifikasi *email*

Pesan notifikasi yang dikirim melalui SMS dapat dilihat pada gambar 28.



Gambar 28. Pesan notifikasi SMS

4.4. Pemeliharaan

Pemeliharaan dilakukan setelah tahap implementasi dan pengujian selesai. Fokus dari pemeliharaan yaitu pada perbaikan, perubahan, atau peningkatan sistem yang telah diimplementasikan.

4.5. Pembahasan

Sistem *dashboard monitoring* telah memberikan kemudahan bagi *user* dalam melakukan *monitoring* suatu sistem, proses, atau aktifitas secara *real-time*. *Dashboard monitoring* menyajikan informasi yang dibutuhkan *user* dalam bentuk grafik, tabel, atau elemen visual lain pada satu tampilan halaman aplikasi. Dengan adanya *dashboard monitoring*, *user* dapat dengan mudah merespon perubahan, mengidentifikasi potensi masalah, dan membuat keputusan yang lebih baik berdasarkan data aktual. Hal ini relevan dengan pokok masalah pada penelitian dalam pengembangan sistem mitigasi bencana banjir. Pengelola TPK Semarang dapat memanfaatkan *dashboard monitoring* tersebut untuk merespon

perubahan dan pengambilan keputusan dalam mitigasi ancaman banjir.

Ancaman bencana banjir dapat diprediksi dengan melakukan forecasting dengan salah satu metode *moving average* yaitu *Weighted Moving Average* (WMA). Metode WMA memberikan bobot yang lebih besar pada data aktual yang lebih baru karena data tersebut dianggap paling relevan daripada data yang lebih lama. Pemberian bobot pada setiap periode bersifat subjektif, namun nilai bobot yang diberikan tersebut berpengaruh pada hasil akurasi *forecasting*.

Early Warning System (EWS) dirancang untuk memberikan peringatan terhadap ancaman atau risiko potensial secara dini, sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan secepat mungkin. Pada penelitian ini, EWS memberikan informasi yang cepat dan akurat kepada pengelola di TPK Semarang agar mereka dapat melakukan persiapan menghadapi ancaman atau risiko banjir. Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu pesan email dan SMS.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu sistem dapat menampilkan perubahan ketinggian air dan cuaca di area TPK Semarang secara *real-time* melalui *dashboard monitoring* sehingga pengelola dapat merespon cepat terhadap potensi banjir dan masalah lain terkait dengan ketinggian air. Implementasi EWS juga dapat meningkatkan kesiapan dan respon terhadap potensi banjir dengan mengirimkan pesan peringatan dini. Akurasi *forecasting* dengan metode WMA untuk prediksi ketinggian air sangat baik dengan nilai MAPE rata-rata pada masing-masing rumah pompa dibawah 10% yakni rumah pompa cluster 1.48%, rumah pompa prasasti 3,15%, rumah pompa CY-01 5,13%, dan rumah pompa CY-02 0,98%. Saran pada penelitian yaitu penambahan sensor lain seperti sensor cuaca, topografi, dan lainnya sehingga dapat memberikan gambaran lebih lengkap untuk meningkatkan akurasi dan ketepatan hasil pemantauan. Pengembangan model *forecasting* juga dapat dilakukan dengan mengeksplorasi penggunaan kecerdasan buatan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi pola perilaku alam yang mengindikasikan potensi banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bimo Wismoyo Aji dan Heru Nurwasito, 2023. Implementasi Sistem *Monitoring* Sungai berbasis LoRa-MQTT *Gateway*. J. Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 7(4), pp. 1689-1698.
- [2] Ivander Achmad Wandu dan Ahmad Ashari, 2023. *Monitoring* Ketinggian Air dan Curah Hujan dalam *Early Warning System* Bencana Banjir berbasis IOT. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentations System (IJEIS)*, 13(1), pp. 101-110.
- [3] Putri Novita Sari dan Febrian Wahyu Christanto, 2023. *Early Warning System* Berbasis *Internet Of Things* (IOT) pada Daerah Rawan Bencana Banjir di Kota Semarang. *Journal of Applied Multimedia and Networking (JAMN)*, 7(2), pp 62-70.
- [4] Muh Bahrul Ulum dan Fawaidul Badri, 2023. Sistem *Monitoring* Cuaca Dan Peringatan Banjir Berbasis IoT Dengan Menggunakan Aplikasi *Mit App Inventor*. JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan), 11(3).
- [5] Fina Ustadatin1, Asfan Muqtadir, dan Amaludin Arifia, 2023. Implementasi Metode *Weighted Moving Average* (WMA) pada Prediksi Harga Bahan Pokok. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 12(2), pp. 203-210.
- [6] Tutik Mutmainnatul Jannah, Latipah, dan Achmad Muchayan, 2022. *Decision Support System Forecasting* Penjualan Menggunakan Metode *Simple Moving Average* (Studi Kasus: CV. Perkakas Indonesia). J. SISFOKOM (Sistem Informasi dan Komputer), 11(2), pp. 214-222.
- [7] Zihan Silvy, Ahmad Zakir, dan Dedy Irwan, 2020. Penerapan *Metode Weighted Moving Average* untuk Peramalan Persediaan Produk Farmasi. J. Ilmiah Teknologi Harapan (JITEKH), 8(2), pp. 59-64.
- [8] Wigid Hariadi dan Sulantari, 2020. *Forecasting* Tingkat Inflasi *Year-On-Year* Indonesia dengan Metode *Weighted Moving Average* (WMA). J. UJMC (Unisda Journal of Mathematics and Computer Science), 8(22), pp. 45-53.
- [9] Arwin Datumaya W. S., Muhammad Bisri Musthafa, Ngatmari, dan Dimas Rossiawan H. P., 2020. Perbandingan Kinerja Metode-Metode Prediksi pada Transaksi Dompot Digital di Masa Pandemi. J. RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi), 4(4), pp. 642-647.
- [10] Danang Danang, Suwardi Suwardi, dan Ihsan Ardi Hidayat, 2019. Mitigasi Bencana Banjir dengan Sistem Informasi *Monitoring* dan Peringatan Dini Bencana menggunakan *Microcontroller* Arduino Berbasis IoT. TEKNIK., 40(1), pp. 55-60.