

RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA PARAMETER METEOROLOGI PADA KAPAL LAUT SECARA REAL TIME BERBASIS IOT

Hanief Adib Firmansyah¹, F. Yudi Limpraptono², M. Ibrahim Ashari³

Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹2012028@scholar.itn.ac.id, ²fyudil@lecturer.itn.ac.id, ³ibrahim_ashari@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Pemantauan cuaca laut secara real-time diperlukan untuk mendukung keselamatan pelayaran dan ketersediaan data meteorologi yang akurat. Permasalahan utama dari stasiun cuaca konvensional adalah keterbatasannya, karena sebagian besar dipasang di darat, bersifat offline, dan tidak mampu menyediakan data dinamis dari laut. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem akuisisi data meteorologi berbasis Internet of Things (IoT) pada kapal laut yang mampu melakukan transmisi data secara real-time. Metode penelitian dilakukan melalui implementasi lapangan di kapal KM Nggapulu pada rute Surabaya–Makassar tanggal 16–17 Mei 2025.

Sistem menggunakan sensor Vaisala WXT536, KVH C100 Compass, dan GPS Garmin 19x HVS yang diintegrasikan pada edge device InHand EC942. Data dikirimkan ke server cloud melalui protokol MQTT, kemudian dianalisis secara statistik untuk menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar dari 10 parameter. Hasil pengujian menunjukkan protokol menghasilkan data yang relatif konsisten, dengan total ± 180 titik data per parameter. Suhu udara tercatat rata-rata $30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), kelembapan $78,5\%$ ($\pm 3,2\%$), tekanan atmosfer $1009,4\text{ hPa}$ ($\pm 1,2\text{ hPa}$), dan kecepatan angin $4,8\text{ m/s}$ ($\pm 1,1\text{ m/s}$). Penelitian ini membuktikan bahwa sistem cuaca bergerak berbasis IoT dapat mengatasi keterbatasan stasiun konvensional serta memberikan dasar bagi pengembangan pemantauan maritim berbasis IoT secara lebih luas.

Kata Kunci : *Akuisisi Data, Internet of Things (IoT), Meteorologi, MQTT, Real Time.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang meteorologi telah memungkinkan terciptanya berbagai jenis stasiun cuaca untuk pemantauan parameter lingkungan. Di Indonesia, yang memiliki iklim tropis dan cuaca yang sering berubah, stasiun cuaca berperan penting dalam menyediakan data yang akurat dan tepat waktu untuk berbagai keperluan, seperti prediksi cuaca, penelitian ilmiah, hingga mitigasi bencana. Saat ini, stasiun cuaca sudah banyak dipasang di berbagai lokasi untuk mencatat parameter seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, serta curah hujan. Namun, sebagian

besar stasiun cuaca masih berada di daratan atau wilayah tetap, yang masih terbatas dalam mencakup wilayah laut yang lebih luas. Dalam meteorologi, pemantauan parameter cuaca secara real-time menjadi sangat penting untuk memahami dan memprediksi perubahan iklim[1].

Stasiun cuaca konvensional, terutama yang menggunakan metode pengamatan manual atau stasiun offline, memiliki keterbatasan signifikan. Seperti yang dijelaskan oleh WMO (World Meteorological Organization), stasiun cuaca offline adalah stasiun yang hanya merekam data dalam memori internal, sehingga data tersebut tidak dapat diakses secara real-time dan tidak dapat segera mendeteksi jika terjadi malfungsi pada sistem[2]. Selain itu, stasiun ini sulit untuk memberikan informasi cuaca terkini secara dinamis, terutama jika diperlukan untuk pemantauan di laut lepas, di mana perubahan cuaca dapat terjadi dengan cepat dan sering kali sulit diprediksi. Maka, dibutuhkan inovasi lebih lanjut untuk mengembangkan stasiun cuaca yang mampu mengatasi tantangan ini.

Pada penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Parameter Meteorologi pada Kapal Laut secara Real-Time berbasis IoT" bertujuan untuk mengembangkan stasiun cuaca menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) dan menempatkannya pada kapal laut. Pemasangan stasiun cuaca di atas kapal laut bertujuan untuk mendapatkan data cuaca secara langsung dari lokasi yang berubah-ubah, mengikuti pergerakan kapal. Dengan adanya sistem stasiun cuaca bergerak berbasis IoT ini, diharapkan dapat membantu para peneliti, instansi pemerintah, dan masyarakat untuk memperoleh informasi cuaca terkini, yang diambil langsung dari laut.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disajikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem akuisisi data parameter meteorologi yang mampu memberikan data secara real-time pada platform bergerak?

2. Bagaimana cara mengakuisisi dan mengirimkan data sensor cuaca secara real time dengan meminimalisir latensi dan data loss?
 3. Bagaimana memastikan konektivitas pengiriman data dalam kondisi jaringan yang terbatas?
 4. Bagaimana merancang sistem perhitungan untuk pemrosesan data agar tetap akurat?
- Protokol komunikasi apa yang paling efisien untuk diterapkan dalam pemantauan multi sensor secara real time?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, terdapat beberapa batasan yang diterapkan dalam penelitian ini:

1. Jenis Sensor yang digunakan: Penelitian ini hanya akan menggunakan beberapa jenis sensor meteorologi, yaitu sensor suhu, kelembapan udara, tekanan atmosfer, dan kecepatan serta arah angin. Sensor tambahan seperti sensor radiasi matahari tidak akan dibahas dalam penelitian ini.
2. Protokol Komunikasi: Penelitian ini tidak membandingkan dengan protokol yang tidak dibahas didalam topik secara menyeluruh. Pemilihan protokol akan didasarkan pada efisiensi dan kemampuan protokol tersebut dalam mendukung transmisi data real-time untuk sistem multi-sensor.
3. Pengolahan Data: Data yang diamati dari sensor hanya akan diolah dan ditampilkan dalam bentuk parameter dasar cuaca, tanpa analisis lanjutan seperti prediksi cuaca atau analisis tren cuaca dalam jangka panjang.
4. Kapasitas Penyimpanan dan Bandwidth: Penelitian ini tidak akan meneliti batasan kapasitas penyimpanan data atau konsumsi bandwidth secara rinci, tetapi akan fokus pada pengujian kemampuan sistem untuk mengirimkan data secara real-time
5. Keamanan Data: Aspek keamanan dan enkripsi data dalam transmisi IoT tidak menjadi fokus utama penelitian ini, meskipun penting dalam implementasi nyata.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Tinjauan Sistem yang Sudah Ada

Dalam pengumpulan data meteorologi, terdapat beberapa jenis sistem yang umum digunakan, antara lain adalah:

1) Sistem Pengukuran Konvensional

Sistem ini menggunakan metode manual untuk mendapatkan data parameter meteorologi, seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, yang biasanya dilakukan oleh petugas yang mencatat data secara berkala. Perangkat sensor untuk mengukur parameter meteorologi ditempatkan di lokasi tertentu dan dioperasikan secara manual[3].

Sistem ini lebih sederhana, biaya relatif lebih murah, dan tidak memerlukan perangkat canggih atau infrastruktur jaringan yang rumit. Namun, kelemahan utama metode ini adalah keterbatasan dalam kecepatan akses data karena proses pengukuran dan pencatatan dilakukan secara manual, sehingga rentan terhadap kesalahan pencatatan atau keterlambatan dalam pengambilan data[4].

2) Stasiun Cuaca Otomatis (Automatic Weather Station)

Automatic Weather Station (AWS) adalah sistem yang mengukur berbagai parameter cuaca secara otomatis menggunakan sensor elektronik yang terhubung dengan Datalogger. Data yang didapat kemudian disimpan secara digital di dalam perangkat Datalogger, dan beberapa AWS modern dapat diakses melalui jaringan internet[3].

Sistem ini mampu mengirim data real-time yang dapat diakses dari jarak jauh, sehingga memberikan kemudahan dalam pengukuran otomatis tanpa perlu melibatkan tenaga manusia secara langsung. Meski AWS mampu mengumpulkan data secara otomatis, beberapa sistem AWS konvensional masih menyimpan data pada jaringan lokal tanpa transmisi real-time, sehingga menjadi masalah jika data cuaca harus dapat diakses segera.

B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk memperdaya manfaat dari koneksi internet untuk berbagai keperluan seperti berbagi data, kendali jarak jauh, dan pemantauan data[5]. Internet of Things (IoT) dapat digambarkan sebagai kemampuan suatu objek untuk mentransmisikan atau mengirimkan data melalui jaringan secara otomatis tanpa menggunakan bantuan perangkat komputer ataupun manusia[6].

C. Parameter Meteorologi

Parameter meteorologi atau disebut juga parameter cuaca adalah parameter parameter yang memiliki pengaruh terhadap perubahan cuaca. Beberapa diantaranya adalah Suhu Udara, Kelembapan Udara, Tekanan Udara, serta Kecepatan dan Arah Angin[1].

1) Suhu dan Kelembapan

Suhu udara dalam konteks meteorologi adalah ukuran Tingkat panas atau dinginnya udara di suatu Lokasi yang disebabkan oleh energi panas yang diterima dari sinar matahari[7]. Pengukuran suhu udara biasanya dilakukan dengan menggunakan termometer atau sensor suhu modern yang dinyatakan dalam satuan Celsius (°C) yang paling umum digunakan, Fahrenheit (°F) yang umum digunakan pada wilayah negara Barat, Kelvin (K) yang digunakan untuk satuan absolut dalam sistem satuan Internasional, ataupun Reaumur (°R) yang belum cukup umum digunakan namun masih dikenal dalam beberapa konteks. Data suhu ini dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk intensitas sinar matahari yang mencapai permukaan bumi, sudut datang sinar matahari, lamanya penyinaran, kondisi awan, dan jenis permukaan bumi yang disinari. Suhu udara di suatu tempat juga dipengaruhi oleh ketinggian; semakin tinggi suatu tempat, semakin rendah suhu udaranya. sangat berperan dalam analisis dan prediksi pola cuaca, karena perubahan suhu udara mempengaruhi banyak proses atmosfer, termasuk pola angin, curah hujan, dan tekanan udara[8].

Sementara itu, kelembapan udara mengacu pada jumlah uap air yang ada di udara. Kelembapan udara memiliki kaitan erat dengan suhu udara, karena kemampuan udara untuk menahan uap air dipengaruhi oleh suhu[7]. Udara yang lebih hangat cenderung menahan lebih banyak uap air, sehingga meningkatkan kelembapan relatifnya. Secara tradisional, kelembapan diukur dengan metode

psikrometrik menggunakan termometer bola basah dan bola kering yang dinyatakan dalam satuan gram per meter kubik (g/m^3) untuk kelembapan absolut dan relative humidity per seratus (RH %) untuk kelembapan relatif. Di era modern sekarang ini, pengukuran kelembapan menjadi lebih akurat dengan adanya sensor digital.

2) Kecepatan dan Arah Angin

Kecepatan dan arah angin merupakan parameter meteorologi yang sangat penting dalam kajian dan prediksi kondisi atmosfer. Pengukuran kecepatan angin dapat dilakukan dengan alat bernama anemometer yang dinyatakan dalam satuan seperti knot (knots) atau kilometer per jam (km/jam). Berdasarkan artikel yang diterbitkan DTN Team, kecepatan angin mengacu pada ukuran seberapa besarnya laju pergerakan udara di atmosfer, yang dapat digunakan sebagai indikator tingkat ketenangan cuaca atau potensi terjadinya angin kencang, seperti yang terjadi pada fenomena badai tropis atau siklon[5].

Sementara itu, arah angin menunjukkan asal pergerakan angin yang signifikan dalam menentukan distribusi dampak meteorologis, terutama di kawasan metropolitan[5]. Arah angin berkaitan erat dengan perbedaan suhu dan tekanan pada 2 titik lokasi yang berbeda, dimana perbedaan suhu tersebut menyebabkan variasi tekanan udara yang pada akhirnya menciptakan gerakan udara dari area dengan tekanan lebih tinggi ke area dengan tekanan lebih rendah. Arah angin dapat diukur menggunakan alat yang dikenal sebagai wind vane. Namun, dalam metode tradisional, alat ini memiliki keterbatasan akurasi karena hanya mampu menunjukkan arah mata angin tanpa memberikan informasi tentang titik koordinat derajat dari arah tersebut. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keakuratan pengukuran arah angin, telah diperkenalkan metode yang lebih modern yang menggunakan sensor digital, yang memberikan hasil yang lebih presisi. Satuan pengukuran arah angin dinyatakan dalam derajat ($^\circ$). Arah angin dapat dilaporkan dalam derajat searah jarum jam yang dihitung dari arah utara, yang didefinisikan 7 sebagai 0° . Dengan demikian, 90° mewakili arah timur, 180° menunjukkan arah selatan, dan 270° menggambarkan arah barat.

3) Tekanan Atmosfir

Tekanan udara atau tekanan atmosfer mengacu pada tingkat kerapatan udara yang diberikan oleh massa udara pada suatu area tertentu di permukaan bumi[5]. Dalam konteks meteorologi, tekanan udara atau tekanan atmosfer memiliki kaitan erat dengan parameter cuaca lainnya. Tekanan udara yang tinggi biasanya mengindikasikan kondisi cuaca yang baik, karena memiliki Tingkat kelembapan 6 yang rendah sehingga membawa sedikit angin dan awan. Sebaliknya, tekanan udara yang rendah cenderung memiliki tingkat kelembapan yang tinggi sehingga membawa awan yang memungkinkan terjadi hujan atau bahkan badai. Tekanan udara dapat diukur dengan alat yang bernama barometer, terdapat 2 jenis barometer yaitu barometer digital yang menggunakan merkuri dan aneroid sebagai pengukur. Yang kedua adalah barometer digital yang menggunakan membran dan mengubahnya menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh

komputer. Tekanan udara mempunyai 2 satuan pengukuran yang umum digunakan dalam konteks cuaca, dinyatakan dalam satuan Milibar (Mbar) atau hectopascal (hPa).

4) Curah Hujan

Rain amount atau jumlah curah hujan merujuk pada total jumlah presipitasi cair atau padatan yang mencair yang jatuh pada permukaan tanah dalam periode waktu tertentu, biasanya 12 atau 24 jam[9]. Curah hujan merupakan bentuk presipitasi dimana tetesan air yang telah terkondensasi dari uap air atmosfer jatuh karena gravitasi. Secara teknis, hujan didefinisikan sebagai presipitasi dalam bentuk tetesan air cair yang memiliki diameter lebih besar dari 0.5 mm, atau jika tersebar luas, tetesan dapat berukuran lebih kecil[10].

Pengukuran curah hujan merupakan indikator langsung dari intensitas hujan dan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) dengan pencatatan hingga satu desimal dalam observasi meteorologi. Konsep 1 mm curah hujan dapat diilustrasikan sebagai kedalaman air yang terakumulasi pada permukaan datar, yang kira-kira setara dengan menuangkan dua botol 500 mililiter air pada satu meter persegi kaca yang rata. Dalam konteks pertanian yang lebih luas, 1 mm curah hujan setara dengan sekitar 667 kilogram air per mu (666.7 meter persegi), yang menunjukkan signifikansi curah hujan sebagai faktor kritis dalam perhitungan sumber daya air regional[9].

D. Perangkat Pengamatan

1) Edge Computer Device Inhand EC942

Edge Computer Device dalam konteks IoT, merujuk pada jenis perangkat komputasi yang beroperasi di tepi jaringan (edge of network)[11]. Maksudnya adalah proses komputasi ini dekat bahkan terhubung langsung dengan sumber data. Difungsikan untuk memproses, menyimpan dan komputasi lainnya untuk mengurangi latensi dan bandwidth yang digunakan jika dibandingkan dengan komputasi awan.

Karim Arabi, mendeskripsikan komputasi tepi (Edge Computing) adalah sebuah tipe komputasi yang semua komputasinya dilakukan diluar komputasi awan, yaitu di tepi jaringan (Network Edge), biasanya diaplikasikan saat pemrosesan data secara real-time dibutuhkan[12]. Dalam pernyataannya ini, dapat diartikan bahwa edge computing beroperasi dengan data instan yang diproses langsung pada perangkat komputer, dibandingkan dengan cloud computing yang beroperasi dengan Big Data yang diproses pada server.

Salah satu perangkat Edge Computer adalah produk dari merk Inhand dengan tipe EC942 Edge Computer. Dilansir dari situs resmi dari Inhand Networks, perangkat Edge Computer EC942 adalah Komputer Edge berperforma tinggi yang dirancang khusus untuk aplikasi industri[13]. Perangkat ini menggunakan sistem operasi berbasis Linux Debian dan memiliki spesifikasi yang cukup sehingga cocok untuk digunakan dalam implementasi IoT terutama dalam bidang meteorologi.

Edge Computer EC942 memiliki banyak interface konektor eksternal, diantaranya adalah:

a) Power Input

Tabel 1. Power Input InHand EC942

Input Voltage	9-48 VDC (dual pin terminals, V+, V-)
Power	Standby power: 120mA-200mA@12V
	Working power: 150mA-320mA@12V
	Peak power: 320mA@12.0V

Tabel 1 menyajikan spesifikasi power input untuk InHand EC942, yang memerlukan input tegangan 9-48 VDC dengan terminal pin ganda (V+, V-). Daya standby yang dibutuhkan perangkat adalah 120mA hingga 200mA pada tegangan 12V, sementara daya kerja berkisar antara 150mA hingga 320mA pada 12V. Daya puncak tercatat sebesar 320mA pada 12V.

b) Ethernet Port

EC942 mendukung 2 channel port komunikasi serial. Keduanya mendukung protocol komunikasi RS-232, RS-485, RS-422 dan dapat dikonfigurasi pada software

c) Serial Communications Ports

EC942 memiliki 2 Port komunikasi serial, keduanya mendukung protocol RS-232, RS-485, RS-422.

d) USB Interface

EC942 memiliki 2 port USB

e) Antenna Interface

Tabel 2. Antenna Interface InHand EC942

Name	Description
ANT1	4G LTE main antenna /5G antenna
ANT2	4G LTE diversity receive antenna /5G antenna
GNSS	GNSS antenna
ANT3	5G antenna
ANT4	5G antenna
WiFi1	WiFi antenna
WiFi2	WiFi antenna

Tabel 2 menyajikan antarmuka antena pada perangkat InHand EC942, yang mencakup berbagai antena untuk berbagai fungsi konektivitas. ANT1 berfungsi sebagai antena utama 4G LTE dan 5G, ANT2 untuk penerimaan sinyal diversity 4G LTE, GNSS untuk sinyal global, ANT3 dan ANT4 untuk 5G, serta dua antena WiFi, yaitu WiFi1 dan WiFi2, yang digunakan untuk koneksi WiFi.

2) Multi Parameter Weather Sensor Vaisala WXT536

Vaisala WXT536 adalah sensor cuaca multi-parameter yang mengukur berbagai kondisi cuaca dalam satu perangkat. Sensor ini sangat cocok untuk diaplikasikan dalam bidang meteorologi, lingkungan, dan penelitian ilmiah karena memberikan data cuaca dalam satu perangkat yang compact[14].

Berikut ini adalah spesifikasi dari Multi Parameter Weather Sensor Vaisala WXT536:

a) Input & Output

Tabel 3. Input & Output Vaisala WXT536

Operating Voltage	6 ... 24 V DC (-10 ... +30 %)
Digital Output	SDI-12, RS-232, RS-485, RS-422
Communication Protocol	SDI-12 v1.3, Modbus RTU, ASCII automatic and polled, NMEA 0183 v3.0 with query option

Tabel 3 menggambarkan spesifikasi input dan output untuk perangkat Vaisala WXT536. Tegangan operasionalnya berkisar antara 6 hingga 24 V DC dengan toleransi $\pm 30\%$. Output digital tersedia dalam format SDI-12, RS-232, RS-485, dan RS-422. Perangkat ini juga mendukung berbagai protokol komunikasi, termasuk SDI-12 v1.3, Modbus RTU, ASCII otomatis dan polled, serta NMEA 0183 v3.0 dengan opsi kueri.

b) Wind Measurement

Tabel 4. Wind Speed Measurement Performance

Wind Speed	
Observation Range	0 ... 60 m/s (134 mph)
Accuracy	$\pm 3\%$ at 10 m/s (22 mph)
Output Resolution	0.1 m/s (km/h, mph, knots)

Tabel 4 menyajikan kinerja pengukuran kecepatan angin, di mana perangkat dapat mengukur kecepatan angin dalam rentang 0 hingga 60 m/s (134 mph). Akurasi pengukuran adalah $\pm 3\%$ pada 10 m/s (22 mph), dengan resolusi output mencapai 0.1 m/s, dalam satuan km/h, mph, atau knots.

Tabel 5. Wind Direction Measurement Performance

Wind Direction	
Azimuth	0 ... 360°
Accuracy	$\pm 3\%$ at 10 m/s (22 mph)
Output Resolution	1°

Tabel 5 menyajikan spesifikasi pengukuran arah angin, dengan azimuth yang dapat diukur dalam rentang 0 hingga 360°. Akurasi pengukuran adalah $\pm 3\%$ pada 10 m/s (22 mph), dan resolusi output untuk arah angin adalah 1°.

c) Air Temperature Measurement

Tabel 6. Air Temperature Measurement Performance

Observation Range	-52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F)
Accuracy	$\pm 0.3\text{ °C}$ ($\pm 0.54\text{ °F}$)
Output Resolution	0.1 °C (0.1 °F)

Tabel 6 menunjukkan spesifikasi kinerja pengukuran suhu udara. Rentang pengamatan suhu adalah antara -52°C hingga +60°C (-60°F hingga +140°F), dengan tingkat akurasi $\pm 0.3\text{ °C}$ ($\pm 0.54\text{ °F}$). Resolusi output pengukuran suhu adalah 0.1°C (0.1°F).

d) Relative Humidity Measurement

Tabel 7. Relative Humidity Measurement Performance

Observation Range	0 ... 100 %RH
Accuracy	$\pm 3\%$ RH at 0 ... 90 %RH $\pm 5\%$ RH at 90 ... 100 %RH
Output Resolution	0.1 %RH

Tabel 7 menunjukkan kinerja pengukuran kelembaban relatif. Rentang pengamatan kelembaban adalah 0 hingga 100% RH, dengan akurasi $\pm 3\%$ RH pada 0 hingga 90% RH, dan $\pm 5\%$ RH pada 90 hingga 100% RH. Resolusi outputnya adalah 0.1% RH.

e) *Barometric Pressure Measurement*

Tabel 8. Barometric Measurement Performance

Observation Range	500 ... 1100 hPa
Accuracy	± 0.5 hPa at 0 ... +30 °C (+32 ... +86 °F) ± 1 hPa at -52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F)
Output Resolution	0.1 hPa / 10 Pa / 0.001 bar / 0.1 mmHg / 0.01 inHg

Tabel 8 menyajikan spesifikasi kinerja pengukuran tekanan barometrik. Rentang pengamatan tekanan adalah antara 500 hingga 1100 hPa, dengan akurasi ± 0.5 hPa pada suhu antara -30°C hingga +30°C, dan ± 1 hPa pada suhu antara -52°C hingga +60°C. Resolusi outputnya adalah 0.1 hPa atau 0.01 bar atau 0.01 mmHg atau 0.01 inHg.

f) *Precipitation Measurement*

Tabel 9. Precipitation Measurement Performance

Rainfall	
Output Resolution	0.01 mm (0.001 in)
Duration	Counting each 10-second increment whenever droplet detected
Duration Output Resolution	10s
Intensity	Running 1-minute average, 10 s steps
Intensity Observation Range	0 ... 200 mm/h (0 ... 7.87 in/h) (broader with reduced accuracy)
Intensity Output Resolution	0.1 mm/h (0.01 in/h)
Collecting Area	60 cm ² (9.3 in ²)

Tabel 9 menunjukkan pengukuran curah hujan dengan resolusi output sebesar 0.01 mm (0.001 in). Pengukuran dilakukan setiap 10 detik ketika tetesan hujan terdeteksi. Rentang intensitas hujan yang dapat diukur berkisar antara 0 hingga 200 mm/h (0 hingga 7.87 in/h), dengan akurasi yang lebih rendah pada pengukuran ekstrem. Resolusi output intensitas hujan adalah 0.1 mm/h (0.01 in/h), dan area pengumpulan adalah 60 cm² (9.3 in²).

Tabel 10. Hail Measurement Performance

Hail	
Output Resolution	0.1 hits/cm ² (1 hits/in ²), 1 hit
Intensity Output Resolution	0.1 hits/cm ² h (1 hits/in ² h), 1 hit/h
Collecting Area	60 cm ² (9.3 in ²)

Tabel 10 menunjukkan pengukuran hujan es dengan resolusi output 0.1 hits/cm² (2 hits/in²). Intensitas output dihitung pada 0.1 hits/cm² (1 hit/in²) per jam, dengan area pengumpulan yang digunakan sebesar 60 cm² (9.3 in²).

3) *GPS Garmin 19x HVS*

GPS Garmin 19x HVS adalah salah satu perangkat penerima GPS yang dirancang khusus untuk aplikasi maritim dan navigasi presisi tinggi. Perangkat ini mendukung sistem navigasi satelit global (Global Navigation Satellite System/GNSS), termasuk GPS, GLONASS, Galileo, dan QZSS[15]. Berikut adalah spesifikasi teknis dari GPS Garmin 19x HVS:

Tabel 11. Technical Specification GPS Garmin 19x HVS

Spesifikasi	Detail
Sistem GNSS	GPS, GLONASS, Galileo, QZSS
Kecepatan Pembaruan Data	10 Hz (10 pembaruan per detik)
Akurasi Posisi	± 3 meter (95% typical)
Akurasi Kecepatan	± 0.05 m/s
Waktu Akuisisi	1 detik (hot start), <30 detik (cold start)
Output Data	Format NMEA 0183 (\$GPRMC, \$GPGGA, \$GPVTG, dll.)
Sumber Daya	9 – 16 V DC
Koneksi	RS-232, RS-422, dan NMEA 0183
Suhu Operasional	-30°C hingga 80°C
Ketahanan Air	IPX7 (tahan air hingga kedalaman 1 meter selama 30 menit)

Tabel 11 menunjukkan spesifikasi teknis GPS Garmin 19x HVS. Perangkat ini menggunakan sistem GNSS yang mencakup GPS, GLONASS, Galileo, dan QZSS. Kecepatan pembaruan data perangkat adalah 10 Hz, dengan akurasi posisi ± 3 meter (95% tipikal) dan akurasi kecepatan ± 0.05 m/s. Waktu akuisisi perangkat adalah 1 detik pada kondisi panas dan kurang dari 30 detik pada kondisi dingin. Output data perangkat dihasilkan dalam format NMEA 0183, termasuk format GPRMC, GPGGA, dan GPGVTG. GPS Garmin 19x HVS beroperasi dengan sumber daya 9 hingga 16 V DC dan dapat terhubung melalui RS-232, RS-422, dan NMEA 0183. Perangkat ini memiliki ketahanan terhadap suhu operasional antara -30°C hingga 80°C dan ketahanan air dengan standar IPX7, yang mampu bertahan hingga kedalaman 1 meter selama 30 menit.

GPS Garmin 19x HVS mendukung berbagai format pesan NMEA 0183, termasuk \$GPRMC (Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data) yang memberikan informasi posisi, kecepatan, dan waktu, serta \$GPGGA (Global Positioning System Fix Data) yang berisi informasi lebih rinci tentang posisi dan kualitas sinyal GPS.

4) *Compass KVH C100*

Kompas KVH C-100 adalah sensor heading berbasis teknologi fluxgate, yang dirancang untuk aplikasi maritim, termasuk navigasi kapal, sistem autopilot, dan integrasi dengan radar atau perangkat GPS. Teknologi fluxgate memungkinkan perangkat ini untuk mendeteksi perubahan medan magnet bumi dan mengonversinya menjadi data heading yang dapat digunakan oleh sistem navigasi elektronik[16].

Berikut adalah spesifikasi teknis Compass KVH C-100:

Tabel 12. Technical Specification Compass KVH C100

Spesifikasi	Detail
Tipe Kompas	Fluxgate Compass
Akurasi Heading	$\pm 0.5^\circ$ RMS
Resolusi	0.1°
Rentang Heading	0° – 360°
Kecepatan Pembaruan Data	10 Hz
Antarmuka Output	NMEA 0183
Tegangan Operasional	12 – 24 V DC
Konsumsi Daya	<1 W
Suhu Operasional	-15°C hingga 55°C

Tabel 12 menunjukkan spesifikasi teknis dari Kompas KVH C-100. Perangkat ini menggunakan teknologi fluxgate sebagai tipe kompas dengan akurasi heading sebesar $\pm 0.5^\circ$ RMS dan resolusi 0.1° . Rentang heading yang dapat diukur adalah 0° hingga 360° , dengan kecepatan pembaruan data 10 Hz. Antarmuka output menggunakan format NMEA 0183, dan perangkat ini beroperasi pada tegangan antara 12 hingga 24 V DC. Kompas KVH C-100 memiliki konsumsi daya kurang dari 1 W dan dapat beroperasi pada suhu antara -15°C hingga 55°C .

E. Protokol Komunikasi

1) MQTT (Message Queueing Telemetry Transport)

MQTT (Message Queueing Telemetry Transport) adalah protokol komunikasi yang dirancang khusus untuk kebutuhan komunikasi machine to machine (M2M). Protokol ini berjalan di atas protokol TCP/IP dan memiliki ukuran paket data dengan overhead minimum (> 2 byte), yang membuatnya sangat efisien dalam konsumsi daya, sehingga cocok digunakan pada perangkat dengan daya terbatas. Salah satu keunggulan utama dari protokol ini adalah fleksibilitasnya dalam mentransmisikan berbagai jenis data, seperti data biner, teks, XML, atau JSON[5].

Protokol ini menggunakan model komunikasi publish/subscribe, yang memungkinkan pengirim (publisher) dan penerima (subscriber) tidak perlu saling mengenal karena peran perantara diambil alih oleh broker MQTT. Model ini juga memberikan keuntungan dalam pemisahan waktu (time decoupling), di mana pengirim dan penerima tidak harus terhubung secara bersamaan untuk menerima data.

2) HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) adalah salah satu protokol dasar untuk komunikasi internet, yang terutama digunakan untuk mentransmisikan data seperti teks, gambar, dan multimedia antara klien (seperti browser) dan server. HTTP dibangun di atas protokol TCP (Transmission Control Protocol), yang menjamin integritas data melalui mekanisme pemeriksaan kesalahan untuk mencegah data corrupt selama transmisi berlangsung. Protokol ini beroperasi dengan model klien-server, di mana klien mengirimkan permintaan ke server, dan server merespons dengan data yang diminta.

F. Akuisisi Data Real-Time

1) Definisi Akuisisi Data

Akuisisi data pada konteks penelitian ini adalah proses pengumpulan informasi atau data dari perangkat sensor dan mengirimkannya ke perangkat kontrol untuk diproses. Data yang dikumpulkan meliputi berbagai parameter besaran unit fisik yang direkam oleh sensor dan ditampilkan dalam besaran unit listrik[17].

2) Definisi Real-Time

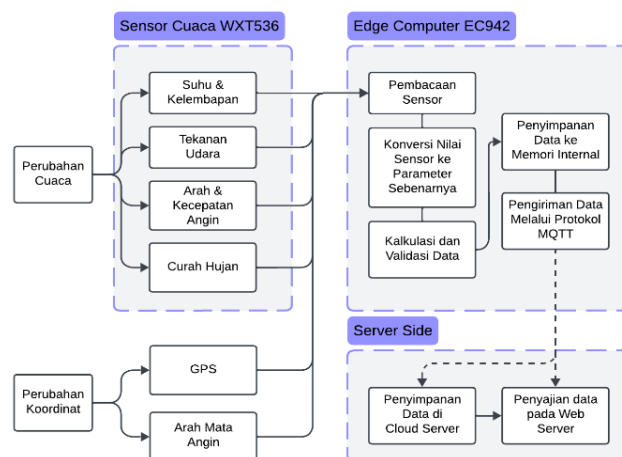
Real-Time mengacu pada istilah komunikasi dimana pertukaran informasi terjadi dalam waktu yang sama atau hampir sama dengan waktu di dunia nyata. Dalam teknologi informasi, istilah Real-Time adalah kondisi operasi dari

sistem perangkat keras dan perangkat lunak bertukar informasi dengan tenggat waktu yang jelas, relatif pada setiap operasi dilakukan, dimana ‘simulasi’ yang dalam konteks ini adalah operasi sistem berjalan dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan di dunia nyata[18].

III. PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini diuraikan tahapan-tahapan dalam proses perancangan dan implementasi pada tugas akhir. Penjelasan diawali dengan tinjauan sistem secara keseluruhan, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan detail mengenai desain perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak.

A. Blok Diagram Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Akuisisi Data

Pada bagian ini akan dijelaskan alur sistem pemantauan data cuaca secara real-time yang menggunakan sensor cuaca WXT536 dan Edge Computer EC942 sebagai perangkat utama, sebagaimana terlihat pada Gambar 1 yang menggambarkan blok diagram sistem secara keseluruhan.

1) Pengambilan Data Cuaca dan Koordinat

Data parameter diambil dari sensor cuaca WXT536 untuk mengukur parameter cuaca, yaitu suhu & kelembapan, tekanan udara, arah & kecepatan angin, dan curah hujan. Selain itu, data koordinat diperoleh dari perangkat GPS dan kompas yang berfungsi untuk memberikan informasi posisi serta arah dari kapal yang bergerak untuk kalkulasi koreksi nilai parameter True Wind.

2) Pemrosesan di Edge Computer EC942

Data dari sensor dan perangkat koordinat diterima dan diproses oleh Edge Computer EC942

Tahapan proses di Edge Computer ini meliputi:

a) Pembacaan Sensor

Data mentah dari sensor cuaca dan perangkat koordinat diambil secara langsung.

b) Konversi Nilai Sensor

Nilai mentah yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi parameter yang sebenarnya sesuai dengan satuan pengukuran standar.

c) Kalkulasi & Validasi Data

Data yang telah dikonversi dilakukan validasi untuk memastikan kualitas data yang baik dan dilakukan kalkulasi tambahan sesuai kebutuhan analisis.

Ketiga proses diatas dijalankan oleh program secara otomatis yang ditulis dalam bahasa pemrograman Python.

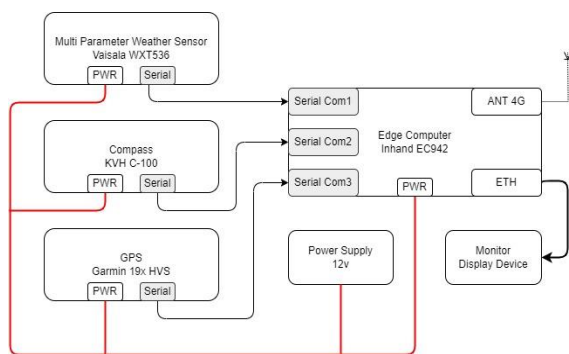
3) Penyimpanan dan Pengiriman Data

Data yang telah divalidasi dan dikalkulasi disimpan sementara pada memori internal Edge Computer. Selanjutnya, data tersebut dikirimkan dalam bentuk string melalui protokol MQTT ke server cloud.

4) Penerimaan Data di Cloud Server dan Broker MQTT

Data yang dikirim melalui MQTT diterima oleh server cloud dan broker MQTT yang berperan sebagai penghubung dalam pengelolaan data yang akan ditampilkan pada sisi pengguna

B. Perancangan Perangkat Keras Sistem



Gambar 2. Wiring Sistem Akuisisi Data

Dari diagram pada gambar 2, Sensor cuaca Vaisala WXT536, kompas KVH C-100, dan GPS Garmin 19x HVS masing-masing terhubung ke edge computer Inhand EC942 melalui kabel daya 12V dan kabel serial untuk mentransmisikan data. Sensor cuaca mengukur parameter meteorologi dan mengirimkan data melalui kabel serial ke perangkat edge, sementara kompas dan GPS juga mengirimkan data melalui port serial (Com1, Com2, dan Com3) yang terhubung langsung ke perangkat tersebut. Edge computer menerima dan memproses data dari ketiga sensor ini, terhubung ke sumber daya 12V untuk kelangsungan operasional, dan mengirimkan data yang telah diproses ke server cloud melalui kabel Ethernet. Selain itu, perangkat edge menggunakan antenna 4G untuk komunikasi data jarak jauh. Sensor cuaca multi-parameter Vaisala WXT536 digunakan untuk mengukur berbagai parameter meteorologi, seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin.

C. Perancangan Perangkat Lunak Sistem

1) Konfigurasi Sensor

Konfigurasi sensor diawali dengan inisialisasi port dan pembacaan nilai sensor, selanjutnya memarsing data mentah keluaran dari sensor sehingga dapat terbaca dengan parameter saji.

a) Multi Parameter Weather Sensor Vaisala WXT536

Sensor WXT536 menggunakan metode komunikasi Request-Response, di mana pengguna dapat menerima data setelah mengirimkan permintaan (request) terlebih dahulu. Perintah yang digunakan dalam konfigurasi sensor WXT536 untuk memperoleh parameter adalah sebagai berikut:

0R1! - Digunakan untuk meminta parameter angin, yaitu kecepatan angin (Wind Speed) dan arah angin (Wind Direction). Data yang dikembalikan memiliki format:

0R1,Dn=xD,Dm=xD,Dx=xD,Sn=xM,Sm=xM,Sx=xM

Keterangan:

- Dn=xD : Arah angin minimum dalam derajat
- Dm=xD : Arah angin rata-rata dalam derajat
- Dx=xD : Arah angin maksimum dalam derajat
- Sn=xM : Kecepatan angin minimum dalam m/s
- Sm=xM : Kecepatan angin rata-rata dalam m/s
- Sx=xM : Kecepatan angin maksimum dalam m/s

0R2! - Digunakan untuk meminta parameter atmosfer, yaitu suhu udara, kelembapan relatif, dan tekanan udara. Data yang dikembalikan memiliki format:

0R2,Ta=xC,Ua=xP,Pa=xH

Keterangan:

- Ta=xC : Suhu udara dalam derajat Celsius
- Ua=xP : Kelembapan relatif dalam persen
- Pa=xH : Tekanan udara dalam hPa (hectopascal)

0R3! - Digunakan untuk meminta parameter presipitasi (hujan). Data yang dikembalikan memiliki format:

0R3,Rc=xM,Rd=xs,Ri=xM,Hc=xM,Hd=xs,Hi=xM

Keterangan:

- Rc=xM : Total curah hujan dalam mm
- Rd=xs : Durasi hujan dalam detik
- Ri=xM : Intensitas hujan dalam mm/jam
- Hc=xM : Total hujan dalam periode tertentu dalam mm
- Hd=xs : Durasi hujan dalam periode tertentu dalam detik
- Hi=xM : Intensitas hujan dalam periode tertentu dalam mm/jam

b) GPS Garmin 19x HVS

GPS Garmin 19x HVS menghasilkan keluaran dengan format NMEA 0183 dengan menggunakan sentence \$GPRMC. Pesan \$GPRMC memiliki struktur sebagai berikut:

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,v.v,x.x,ddm
myy,m.m,a*hh

Keterangan:

- \$GPRMC = Identifier sentence.
- hhmmss.ss = Waktu UTC (Jam, Menit, Detik).
- A = Status Validitas (A = Valid, V = Invalid).
- llll.ll = Koordinat terhadap garis Lintang.
- a = Validasi arah (N atau S).
- yyyyy.yy = Koordinat terhadap garis Bujur.
- a = Validasi arah (E atau W).
- v.v = Kecepatan (dalam knots).
- x.x = Arah mata angin terhadap Utara.
- ddmmyy = Waktu UTC (Tanggal, Bulan, Tahun).
- m.m = Variasi Magnetik.
- a = Validasi arah (E atau W).
- hh = Checksum.

c) Compass KVH C100

Compass KVH C-100 menghasilkan keluaran dengan format NMEA 0183 dengan menggunakan sentence \$HCHDM. Pesan \$ HCHDM memiliki struktur sebagai berikut:

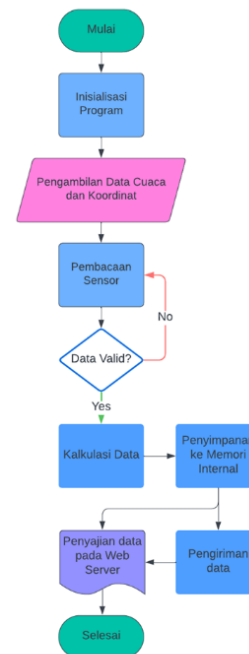
\$HCHDM,xxx.x,M*hh

Keterangan:

- \$HCHDM = Identifier sentence.
- xxx.x = Sudut heading kapal dalam satuan derajat, dengan format desimal jika ada.
- M = Indikator bahwa nilai heading tersebut diukur dalam referensi utara magnetik (Magnetic North).
- hh = Checksum.

2) Diagram Alir Sistem

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur proses dalam sistem yang dirancang, berikut ini adalah diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah dari pengambilan data cuaca hingga pengiriman data ke cloud server:



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

Diagram alir pada gambar 3 menggambarkan tahapan proses dari pengambilan data cuaca hingga pengiriman data ke cloud server dalam sistem yang dirancang. Berikut adalah penjelasan setiap langkah yang terlibat dalam alur tersebut:

1. Mulai: Proses dimulai dengan inisialisasi program yang dilakukan pada perangkat sistem untuk menyiapkan semua komponen yang dibutuhkan dalam proses pengambilan data.
2. Inisialisasi Program: Pada tahap ini, perangkat sistem akan mempersiapkan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk memulai proses pengambilan data cuaca dan koordinat dari sensor yang terpasang.
3. Pengambilan Data Cuaca dan Koordinat: Pada tahap ini, sistem mengambil data cuaca (seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dsb.) dan data koordinat (lintang, bujur) melalui sensor yang terhubung.
4. Pembacaan Sensor: Setelah pengambilan data, perangkat melakukan pembacaan terhadap sensor untuk memastikan bahwa data yang diterima adalah valid. Jika data tidak valid, maka proses akan kembali ke langkah ini.
5. Data Valid?: Pada titik ini, sistem memeriksa apakah data yang dibaca valid atau tidak. Jika data tidak valid, alur akan kembali ke pembacaan sensor untuk mencoba mengambil data yang benar. Jika data valid, maka alur akan melanjutkan ke langkah berikutnya.
6. Kalkulasi Data: Setelah data valid diperoleh, sistem melakukan kalkulasi terhadap data tersebut, seperti pengolahan nilai suhu, kelembapan, atau perhitungan lainnya yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut.
7. Penyimpanan ke Memori Internal: Data yang telah dihitung dan diproses kemudian disimpan sementara pada

- memori internal perangkat untuk keperluan pengolahan lebih lanjut atau pengiriman.
- Penyajian Data pada Web Server: Data yang telah disimpan akan disajikan di web server, di mana data cuaca dan koordinat dapat diakses oleh pengguna melalui antarmuka berbasis web.
 - Pengiriman Data: Setelah data disajikan, sistem kemudian mengirimkan data yang telah diproses dan disimpan ke cloud server untuk tujuan penyimpanan jangka panjang dan pemantauan lebih lanjut.
 - Selesai: Proses berakhir setelah data berhasil dikirimkan ke server cloud, dan siklus selanjutnya dapat dimulai atau sistem dapat kembali pada tahap inisialisasi untuk pengambilan data baru.

D. Pengujian Perangkat Sensor dan Navigasi

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan bahwa sensor maupun perangkat navigasi mampu memberikan data yang sesuai dengan harapan dan dapat untuk digunakan dalam sistem.

1) WXT536

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan perangkat sensor ke port serial Controller menggunakan perintah **sudo minicom -b9600 -D /dev/ttyUSB0**.

Tabel 13. Hasil Pengujian Sensor WXT536

Waktu	Output Serial Monitor
07:17:36	0R1,Dn=090D,Dm=107D,Dx=116D,Sn=0.5M,Sm=0.6M,Sx=0.6M
07:17:37	0R2,Ta=27.0C,Ua=68.5P,Pa=942.3H
07:17:38	0R3,Rc=0.00M,Rd=0s,Ri=0.0M,Hc=0.0M,Hd=0s,Hi=0.0M

Tabel 13 menunjukkan hasil pengujian sensor WXT536 yang dilakukan dengan menghubungkan perangkat sensor ke port serial Controller menggunakan perintah **sudo minicom -b9600 -D /dev/ttyUSB0**.

Hasil pengujian terhadap sensor meteorologi Vaisala WXT536 menunjukkan keluaran data dalam format ASCII, dikirim secara berurutan melalui komunikasi serial. pada **Waktu 07:17:36 – 07:17:39**, berikut contoh output yang dihasilkan:

0R1,Dn=090D,Dm=107D,Dx=116D,Sn=0.5M,Sm=0.6M,Sx=0.6M

0R2,Ta=27.0C,Ua=68.5P,Pa=942.3H

0R3,Rc=0.00M,Rd=0s,Ri=0.0M,Hc=0.0M,Hd=0s,Hi=0.0M

Penjelasan dari masing-masing baris adalah sebagai berikut:

- Baris 0R1: Data Angin

Dn=090D : Arah angin rata-rata (Average Wind Direction) = 90° (derajat)

Dm=107D : Arah angin tengah (Median Wind Direction) = 107°
Dx=116D : Arah angin maksimum (Maximum Wind Direction) = 116°
Sn=0.5M : Kecepatan angin rata-rata (Average Wind Speed) = 0.5 m/s
Sm=0.6M : Kecepatan angin tengah (Median Wind Speed) = 0.6 m/s
Sx=0.6M : Kecepatan angin maksimum (Maximum Wind Speed) = 0.6 m/s

- Baris 0R2: Data Cuaca *General*

Ta=27.0C : Suhu udara (Air Temperature) = 27.0 °C
Ua=68.5P : Kelembapan relatif (Relative Humidity) = 68.5 %
Pa=942.3H : Tekanan udara (Air Pressure) = 942.3 hPa

- Baris 0R3: Data Hujan

Rc=0.00M : Total curah hujan kumulatif (Rainfall Accumulation) = 0.00 mm
Rd=0s : Durasi hujan (Rain Duration) = 0 detik
Ri=0.0M : Intensitas hujan (Rain Intensity) = 0.0 mm/h
Hc=0.0M : Total curah hujan hail/kristal (Hail Accumulation) = 0.0 mm
Hd=0s : Durasi hujan es (Hail Duration) = 0 detik
Hi=0.0M : Intensitas hujan es (Hail Intensity) = 0.0 mm/h

2) Compass KVH C100

Pengujian dilakukan dengan menggunakan perintah **sudo minicom -b4800 -D /dev/ttyS3**. Output yang dihasilkan oleh perangkat diuji dengan membandingkannya dengan pembacaan skrip program.

Tabel 14. Hasil Pengujian Perangkat Compass KVH C100

Waktu	Output Serial Monitor
07:02:10	\$HCHDM,035.1,M*2E
07:02:20	\$HCHDM,035.1,M*2E
07:02:30	\$HCHDM,035.1,M*2E
07:02:40	\$HCHDM,035.1,M*2E

Tabel 14 menunjukkan hasil pengujian perangkat Compass KVH C100 yang dilakukan dengan perintah **sudo minicom -b4800 -D /dev/ttyS3**. Output yang dihasilkan pada pengujian awal menunjukkan hasil yang konsisten. Sebagai contoh, pada **Waktu 07:02:10**, perangkat menghasilkan output:

\$HCHDM,035.1,M*2E

Sentence NMEA di atas merupakan format standar untuk data heading magnetik. Struktur **\$HCHDM,035.1,M*2E** dapat dijelaskan sebagai berikut:

\$HCHDM : *Sentence Header/ Identifier* NMEA, menunjukkan bahwa data ini berasal dari kompas dan bertipe Heading, Magnetic.
035.1 : Nilai heading atau arah haluan dalam derajat magnetik (035.1°).
M : Menandakan bahwa satuan yang digunakan adalah *Magnetic* (bukan *True*).
***2E** : Checksum hexadecimal untuk verifikasi integritas data.

3) GPS Garmin 19x HVS

Pengujian perangkat ini dilakukan dengan menggunakan perintah **sudo minicom -b38400 -D /dev/ttyS4** untuk menghubungkan GPS dengan sistem dan memperoleh data posisi kapal.

Tabel 15. Hasil Pengujian Perangkat GPS Garmin 19x HVS

Waktu	Output Serial Monitor
07:08:41	\$GPRMC,061623,A,0753.7831,S,11236.4437,E,000.3,343.6,090625,000.9,E,A*09
07:08:42	\$GPRMC,061624,A,0753.7831,S,11236.4437,E,000.0,343.6,090625,000.9,E,A*0D
07:08:43	\$GPRMC,061625,A,0753.7831,S,11236.4437,E,000.1,343.6,090625,000.9,E,A*0D
07:08:44	\$GPRMC,061626,A,0753.7831,S,11236.4437,E,000.0,343.6,090625,000.9,E,A*0F

Tabel 15 menggambarkan hasil pengujian perangkat GPS Garmin 19x HVS yang dihubungkan menggunakan perintah **sudo minicom -b38400 -D /dev/ttyS4** untuk memperoleh data posisi GPS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat GPS memberikan data yang akurat. Sebagai contoh, pada **Waktu 07:08:41**, perangkat menghasilkan output:

```
$GPRMC,061623,A,0753.7831,S,11236.4437,E,000.3,343.6,090625,000.9,E,A*09
```

Format **\$GPRMC** adalah kalimat NMEA yang berisi data navigasi minimum. Rincian dari isi kalimat tersebut adalah sebagai berikut:

\$GPRMC	:	Header kalimat, menunjukkan jenis data GPS (Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data).
061623	:	Waktu UTC, yaitu pukul 06:16:23.
A	:	Status data, "A" berarti data valid.
0753.7831,S	:	Garis lintang (latitude), yaitu 7° 53.7831' Selatan.
11236.4437,E	:	Garis bujur (longitude), yaitu 112° 36.4437' Timur.
000.3	:	Kecepatan kapal terhadap permukaan bumi dalam satuan knot (0.3 knot).
343.6	:	Arah pergerakan kapal (course over ground) dalam derajat.
090625	:	Tanggal, yaitu 9 Juni 2025.
000.9,E	:	Variasi magnetik 0.9° Timur (jika tersedia dari perangkat).
A	:	Mode navigasi (Autonomous).
*09	:	Checksum untuk verifikasi integritas data.

E. Penyimpanan ke Database lokal

Implementasi penyimpanan data ke database lokal menggunakan mekanisme *real-time streaming* dan *batch processing*. Sistem ini mengadopsi pola producer-consumer dimana sensor bertindak sebagai produsen data dan modul Python sebagai konsumen yang melakukan transformasi dan persistensi data.

Pada perancangan sistem ini menggunakan 2 tabel database utama yaitu *tb_streaming*, dan *tb_data_log* dengan alur penyimpanan:

1) *tb_streaming*

Tabel ini dirancang untuk melakukan perekaman data dengan interval waktu setiap detik, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi meteorologi dan status operasional kapal secara kontinyu. Data yang tersimpan dalam tabel ini mencakup parameter meteorologi, informasi posisi geografis, dan data navigasi.

2) *tb_data_log*

Menyimpan data yang telah dikalkulasi dari perangkat sensor dan parameter meteorologi lainnya setiap 10 menit. Termasuk waktu, **nilai** sensor, lokasi dan parameter lainnya. Tabel ini digunakan untuk nantinya diambil isi tabelnya untuk penyajian dan pengiriman ke cloud server via mqtt, http, dan ftp.

F. Pengiriman Data ke Server Cloud

1) Pengiriman Via MQTT

Protokol MQTT digunakan untuk transmisi data secara real-time dengan menggunakan model komunikasi publish-subscribe, yang melibatkan broker sebagai perantara antara pengirim dan penerima data. Dalam implementasinya, sistem ini menggunakan library **Paho-MQTT**, yang dilengkapi dengan beberapa optimasi. Salah satu optimasi yang diterapkan adalah QoS 1 (At Least Once), yang menjamin bahwa data akan dikirimkan dengan sistem acknowledgment dan retransmisi otomatis jika terjadi kegagalan pengiriman. Selain itu, sistem menggunakan Pesan Retained, di mana data terakhir disimpan oleh broker apabila terjadi restart, memastikan bahwa penerima selalu menerima data terbaru.

2) Pengiriman Via HTTP

Protokol HTTP digunakan sebagai mekanisme cadangan apabila terjadi kegagalan pada protokol MQTT, atau untuk memastikan pengiriman data yang konsisten dalam interval **10 menit**. Dalam implementasinya, library **requests** digunakan untuk menangani pengiriman data secara terstruktur. Sistem ini juga menggunakan mekanisme retry eksponensial untuk mengatasi kegagalan jaringan atau gangguan pada komunikasi, dengan tujuan untuk mencoba kembali pengiriman data pada interval waktu yang semakin lama. Dengan cara ini, sistem mampu memastikan integritas dan keandalan data yang dikirimkan meskipun terjadi gangguan dalam jaringan atau kegagalan pengiriman data pada percakapan pertama.

IV. HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini, akan dipaparkan hasil dari penelitian mengenai rancang bangun sistem akuisisi data parameter meteorologi pada kapal laut secara real-time berbasis IoT. Hasil pengujian lapangan yang diperoleh akan dianalisis dan dibahas untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dibangun.

A. Deskripsi Data Pengamatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengukuran parameter meteorologi menggunakan

sensor WXT536 yang terpasang di kapal penumpang Nggapulu dengan kode kapal YGRG, yang dikirimkan ke cloud server menggunakan protokol MQTT dan HTTP, dengan hasil keluaran yang identik. Pemantauan dilakukan selama pelayaran sepanjang rute Surabaya [ID] – Makassar [ID], dengan periode pengamatan selama 29 jam 30 menit dimulai pada 2025-05-16 14:00:00 hingga 2025-05-17 19:50:00.

Pengambilan data dilakukan secara otomatis setiap 10 menit, menghasilkan sekitar 180 data pengamatan untuk setiap parameter. Total terdapat 19 parameter yang tercatat, di antaranya parameter utama seperti suhu udara, kelembapan, tekanan atmosfer, kecepatan angin, arah angin, dan hujan, serta parameter lainnya sebagai parameter pendukung.

Parameter meteorologi yang diamati meliputi:

1. Suhu (Temperature): Mengukur suhu udara di sekitar kapal.
2. Kelembapan (Humidity): Mengukur kadar uap air di udara di sekitar kapal.
3. Tekanan Udara (Pressure): Mengukur tekanan atmosfer di sekitar kapal.
4. Kecepatan Angin (Wind Speed): Mengukur kecepatan angin yang ada di sekitar kapal.
5. Arah Angin (Wind Direction): Mengukur arah angin yang datang ke arah kapal.

Pengukuran data dilakukan secara real-time dengan menggunakan sensor WXT536, perangkat navigasi Compass KVH C100 dan GPS Garmin 19x HVS yang terhubung ke Edge Computer InHand EC942.

B. Data yang Diterima oleh Server

Data yang dikirim dari edge device di kapal KM Nggapulu diterima oleh server cloud melalui dua protokol komunikasi, yaitu HTTP dan MQTT. Tujuan dari penggunaan dua protokol ini adalah untuk menguji konsistensi transmisi data dari perangkat monitoring di kapal ke sistem backend penyimpanan data.

Tabel 16. Status Penerimaan Data

Timestamp	Status Data
2025-05-16 14:00:00	Diterima
2025-05-16 14:10:00	Diterima
2025-05-16 14:20:00	Diterima
.....	
2025-05-16 17:40:00	Data Hilang
2025-05-16 18:00:00	Data Hilang
2025-05-16 18:30:00	Data Hilang
2025-05-16 18:50:00	Data Hilang
2025-05-16 19:20:00	Data Hilang
2025-05-16 19:30:00	Data Hilang
2025-05-16 20:10:00	Data Hilang
2025-05-16 20:20:00	Data Hilang
2025-05-16 20:40:00	Data Hilang

2025-05-16 21:00:00	Data Hilang
2025-05-16 21:10:00	Data Hilang
2025-05-16 21:20:00	Data Hilang
2025-05-16 22:00:00	Data Hilang
2025-05-16 22:10:00	Data Hilang
2025-05-16 22:30:00	Data Hilang
2025-05-16 22:50:00	Data Hilang
2025-05-16 23:30:00	Data Hilang
2025-05-16 23:40:00	Data Hilang
2025-05-17 16:20:00	Data Hilang
2025-05-17 17:30:00	Data Hilang
.....	
2025-05-17 19:30:00	Diterima
2025-05-17 19:40:00	Diterima
2025-05-17 19:50:00	Diterima

Pada tabel 16. dapat dilihat bahwa sebagian besar data tercatat dan diterima secara konsisten setiap interval 10 menit sesuai dengan jadwal yang ditetapkan. Data diterima oleh server sebanyak 180 data, namun hanya sebagian data yang ditampilkan dalam tabel 16, tabel 16 hanya menyajikan data yang hilang, sedangkan data yang diterima/tidak hilang disajikan sebanyak 6 data, yaitu 3 data terawal dan 3 data terakhir.

Berdasarkan dataset yang diperoleh, berikut mengenai rincian status data:

- Jumlah Total Data: 180 entri data pada dataset
- Jumlah Data Hilang: Dari 180 entri data tersebut, terdapat 20 data yang tidak diterima oleh server

Persentase data yang hilang dihitung menggunakan rumus *Packet Delivery Ratio (PDR)* sebagai berikut:

$$PDR = \left(\frac{\text{Jumlah Data Hilang}}{\text{Jumlah Total Data}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Menghitung persentase data hilang:

$$PDR = \left(\frac{20}{180} \right) \cdot 100 = 11.11\% \quad (2)$$

Dengan demikian, persentase tingkat keberhasilan pengiriman data pada *dataset* ini adalah **88.89%**, atau sebaliknya, tingkat kehilangan data sebesar **11.11%**. Tingkat kehilangan ini dapat disebabkan oleh gangguan koneksi selama pelayaran, buffering yang tidak berhasil dikirim ulang, atau gangguan pada perangkat edge. Evaluasi lebih lanjut terhadap penyebab kehilangan data memang memungkinkan, namun tidak menjadi fokus dalam studi ini karena keterbatasan waktu dan prioritas penelitian.

C. Rata – Rata dan Sebaran Data Meteorologi

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data secara statistik deskriptif untuk memperoleh rata-rata dan standar deviasi dari

masing-masing parameter. Hasilnya ditampilkan dalam Tabel 17. berikut.

Tabel 17. Rata-Rata dan Standar Deviasi Data Pengamatan

No	Parameter	Satuan	Rata Rata	Standar Deviasi	Min	Max
1	Temperatur e	°C	28,1	1,2	24,4	29,5
2	Relative Humidity	%	82,2	5,3	72,0	98,0
3	Air Pressure	hPa	1006,3	0,8	1004,5	1008,1
4	Rain	mm	0,0	0,0	0,0	0,1
5	Dew Point	°C	24,5	0,5	23,0	25,5
6	QFF	hPa	1008,9	0,8	1007,0	1010,7
7	Apparent Wind Speed	m/s	14,7	5,6	0,7	38,1
8	Apparent Wind Direction	°	150,8	43,3	17,0	358,0
9	True Wind Speed	m/s	11,0	5,4	0,3	32,7
10	True Wind Direction	°	123,3	149,9	0,0	358,0

Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada tabel 17, diperoleh informasi mengenai kondisi cuaca laut sepanjang rute pelayaran kapal penumpang Nggapulu [YGRG] dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu (Temperature)

Rata-rata suhu udara yang tercatat adalah 28,1°C, dengan standar deviasi sebesar 1,2°C. Rentang suhu antara minimum 24,4°C dan maksimum 29,5°C menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil, dengan deviasi standar yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu udara pada periode pengamatan cenderung stabil tanpa adanya perubahan yang signifikan. Kondisi ini umum ditemukan pada daerah dengan iklim tropis.

2. Kelembaban (Relative Humidity)

Rata-rata kelembaban relatif tercatat sebesar 82,2%, dengan standar deviasi 5,3%. Rentang nilai kelembaban berkisar antara 72,0% hingga 98,0%, yang menunjukkan variasi kelembaban yang cukup lebar. Meskipun demikian, deviasi standar yang relatif kecil menunjukkan bahwa kelembaban relatif tetap berada dalam kisaran yang stabil selama periode pengamatan.

3. Air Pressure (Tekanan Udara)

Tekanan udara rata-rata tercatat sebesar 1006,3 hPa, dengan deviasi standar yang sangat kecil, yaitu 0,8 hPa. Rentang nilai antara 1004,5 hPa hingga 1008,1 hPa menunjukkan variasi yang minimal dalam tekanan udara, yang mencerminkan cuaca yang relatif stabil tanpa adanya fluktuasi besar.

4. Hujan (Rain)

Titik data hujan menunjukkan nilai rata-rata 0,0 mm, dengan deviasi standar juga 0,0 mm. Meskipun ada nilai maksimum yang tercatat sebesar 0,1 mm, nilai ini sangat kecil dan dapat dianggap tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa selama periode pengamatan, tidak ada hujan yang tercatat atau hanya hujan dengan intensitas yang sangat rendah

atau akibat percikan air laut yang terdeteksi sebagai curah hujan ringan oleh sensor.

5. Titik Embun (Dew Point)

Rata-rata titik embun tercatat sebesar 24,5°C, dengan deviasi standar 0,5°C. Rentang nilai titik embun antara 23,0°C hingga 25,5°C menunjukkan kondisi udara yang sangat lembap, sesuai dengan kelembaban relatif yang tinggi. Variabilitas titik embun yang rendah menandakan bahwa kadar uap air di udara relatif stabil selama periode pengamatan.

6. Tekanan Permukaan (QFF)

Tekanan permukaan rata-rata tercatat sebesar 1008,9 hPa, dengan deviasi standar 0,8 hPa. Rentang nilai tekanan permukaan berada di antara 1007,0 hPa hingga 1010,7 hPa, menunjukkan fluktuasi yang minimal. Kondisi ini menandakan atmosfer yang relatif stabil, tanpa adanya perubahan tekanan yang signifikan.

7. Kecepatan Angin Relatif (Apparent Wind Speed)

Kecepatan angin tampak menunjukkan nilai rata-rata sebesar 14,7 m/s, dengan deviasi standar yang besar, yaitu 5,6 m/s. Rentang nilai kecepatan angin antara 0,7 m/s hingga 38,1 m/s menunjukkan adanya variasi yang cukup besar.

8. Arah Angin Relatif (Apparent Wind Direction)

Arah angin tampak memiliki rata-rata 150,8°, dengan deviasi standar 43,3°. Rentang nilai arah angin berkisar antara 17,0° hingga 358,0°. Fluktuasi arah angin yang besar ini menunjukkan perubahan arah angin yang signifikan.

9. Kecepatan Angin Sebenarnya (True Wind Speed)

Kecepatan angin sebenarnya tercatat dengan nilai rata-rata 11,0 m/s, sementara deviasi standar sebesar 5,4 m/s menunjukkan adanya variasi yang cukup besar dalam kecepatan angin. Rentang nilai kecepatan angin sesungguhnya berada antara 0,3 m/s hingga 32,7 m/s.

10. Arah Angin Sebenarnya (True Wind Direction)

Arah angin sebenarnya menunjukkan nilai rata-rata sebesar 123,3° dengan deviasi standar yang sangat besar, yaitu 149,9°. Rentang nilai arah angin berkisar antara 0,0° hingga 358,0°. Penyebaran arah angin yang sangat besar ini menunjukkan adanya perubahan arah angin yang cepat dan tidak teratur.

D. Keterbatasan dan Implikasi Penelitian

Beberapa keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian ini antara lain:

- Pengamatan dilakukan hanya selama satu kali pelayaran, sehingga belum menggambarkan kondisi musiman secara utuh.
- Belum dilakukan validasi data terhadap sumber eksternal seperti data BMKG.
- Tidak seluruh parameter dianalisis secara mendalam karena keterbatasan waktu dan ruang lingkup.

Meski demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem akuisisi data parameter meteorologi berbasis IoT dan edge computing dapat diimplementasikan secara nyata di

kapal laut untuk mendukung pemantauan cuaca laut secara langsung.

E. Evaluasi Kerja Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil mengukur dan mengirimkan data meteorologi ke server cloud dengan akurasi yang cukup baik, yaitu dengan presentase data loss sebesar 11.11%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari sensor cukup konsisten, tanpa adanya anomali atau masalah yang berarti. Selama periode pengujian, sistem juga menunjukkan stabilitas yang cukup, meskipun ada beberapa masalah kecil pada beberapa parameter yang tidak berpengaruh besar pada kinerja keseluruhan.

kemampuan sistem dalam mengumpulkan dan mengirimkan data meteorologi secara real-time juga terbukti memadai. Data yang hilang atau terputus sangat minim, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan koneksi dan akurasi meskipun dalam kondisi yang berubah-ubah. Meskipun ada sedikit gangguan dalam pengukuran beberapa parameter, sistem tetap dapat berfungsi dengan baik, mengumpulkan dan mengirimkan data dengan konsisten.

Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan performa yang baik dan dapat digunakan untuk aplikasi pengukuran parameter meteorologi berbasis cloud. Selain mampu bekerja stabil dalam jangka panjang, sistem ini juga cukup akurat untuk berbagai aplikasi ilmiah dan praktis di bidang meteorologi. Temuan ini memberikan gambaran positif mengenai kesiapan teknologi untuk pemantauan cuaca berbasis sensor real-time dalam skala besar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data yang telah dilakukan selama pelayaran kapal KM Nggapulu rute Surabaya menuju Makassar pada tanggal 16–17 Mei 2025, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Sistem pemantauan meteorologi dan navigasi berbasis edge computing berhasil merekam dan mengirimkan data secara *near real-time* ke server cloud menggunakan dua protokol komunikasi, yaitu HTTP dan MQTT.
2. Selama periode pengamatan selama kurang lebih 29 jam 50 menit, data dikumpulkan setiap detik dan dikirimkan ke server cloud dengan interval 10 menit, menghasilkan sekitar 180 baris data untuk setiap parameter. Data yang diperoleh mencakup gabungan 19 parameter meteorologi dan navigasi.
3. Seluruh sistem monitoring berhasil mengakuisisi dan mentransmisikan data dengan nilai Packet Delivery Rate (PDR) sebesar 88.89%. Data yang tersimpan siap digunakan untuk analisis lanjutan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penambahan periode pengamatan yang lebih panjang dan mencakup lebih dari satu rute atau musim akan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap pola cuaca di wilayah pelayaran Indonesia.

2. Integrasi sistem dengan data eksternal seperti data dari BMKG atau satelit cuaca akan memperkaya analisis dan memungkinkan validasi data yang lebih akurat.
3. Penggunaan metode visualisasi data secara langsung (real-time dashboard) sebaiknya ditingkatkan agar pengguna kapal dapat memantau kondisi secara langsung selama pelayaran.
4. Evaluasi performa protokol komunikasi dalam kondisi gangguan jaringan laut perlu dilakukan untuk menguji sejauh mana sistem mampu mempertahankan kestabilan pengiriman data.
5. Pengembangan sistem ke lebih dari satu kapal (multi - vessel) dapat memperluas cakupan data dan mendukung sistem pemantauan cuaca laut secara luas dan terdistribusi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taiwo Abdulahi Akintayo *dkk.*, “Internet of things weather monitoring system,” *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 22, no. 2, hlm. 2099–2110, Mei 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.22.2.1647.
- [2] K. Ioannou, D. Karampatzakis, P. Amanatidis, V. Aggelopoulos, dan I. Karmiris, “Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things,” *Information*, vol. 12, no. 4, hlm. 146, Mar 2021, doi: 10.3390/info12040146.
- [3] “Peralatan Meteorologi – BMKG Kotawaringin Timur.” Diakses: 5 November 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://stamet-kotim.bmkg.go.id/test1/>
- [4] M.-S. Park dan K. Baek, “Quality Management System for an IoT Meteorological Sensor Network—Application to Smart Seoul Data of Things (S-DoT),” *Sensors*, vol. 23, no. 5, hlm. 2384, Feb 2023, doi: 10.3390/s23052384.
- [5] A. A. Laghari, H. Li, A. A. Khan, Y. Shoulin, S. Karim, dan M. A. K. Khani, “Internet of Things (IoT) applications security trends and challenges,” *Discover Internet of Things*, vol. 4, art. no. 36, 2024.
- [6] I. U. Turyadi, “Analisa Dukungan Internet of Things (IoT) terhadap Peran Intelejen dalam Pengamanan Daerah Maritim Indonesia Wilayah Timur,” *J. Teknol. Dan Manaj. Inform.*, vol. 7, no. 1, hlm. 29–39, Jul 2021, doi: 10.26905/jtmi.v7i1.6040.
- [7] D. Casto, “What Are Meteorological Parameters?,” *DTN*. Diakses: 28 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.dtn.com/what-are-meteorological-parameters/>
- [8] N. P. Purba, I. Faizal, H. Azidane, A. M. A. Khan, L. P. Dewanti, S. T. Utami, dan K. Fellatami, “A series of small-scale atmospheric datasets observed in south of Java, Pangandaraan Bay, Indonesia,” *Data in Brief*, vol. 50, art. no. 109609, Sept. 2023.
- [9] “Understanding rainfall measurement: meaning, methods, and applications.” Diakses: 1 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada:

<https://www.niubol.com/Product-knowledge/Understanding-rainfall-measurement.html>

- [10] “rain - Glossary of Meteorology.” Diakses: 1 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Rain>
- [11] “What is edge computing?” Diakses: 10 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.cloudflare.com/learning/serverless/glossary/what-is-edge-computing/>
- [12] “Edge computing,” *Wikipedia*. 20 September 2024. Diakses: 10 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Edge_computing&oldid=1246663173
- [13] I. Networks, “EC942 high-performance IoT Edge Computer tailored for industrial applications,” InHand Networks. Diakses: 10 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://inhandgo.com/products/ec900>
- [14] “Vaisala | Weather Transmitter WXT530 Series.” Diakses: 11 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.vaisala.com/en/products/weather-environmental-sensors/weather-transmitter-wxt530-series>
- [15] “GPS_19x_HVS_Tech_Specs_EN.”
- [16] “kvh-c100-datasheet.”
- [17] “Data acquisition,” *Wikipedia*. 11 Maret 2024. Diakses: 10 Februari 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_acquisition&oldid=1213244050
- [18] “Real-time computing - Wikipedia.” Diakses: 10 Februari 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computing

VII. BIODATA PENULIS



Hanief Adib Firmansyah, mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Nomor Induk Mahasiswa: 2012028. Lahir di Malang, Jawa Timur, 4 Juni 2002. Saat ini berdomisili di Kota Bogor, Jawa Barat. Dapat dihubungi melalui surel: takenmail.hans@gmail.com.

Latar belakang pendidikan menengah ditempuh di SMK Negeri 2 Malang, jurusan Teknik Komputer dan Jaringan. Di waktu yang sama, mengikuti program kelas industri Samsung Tech Institute yang berlokasi di salah satu sekolah di Kota Malang.

Fokus utama penulis berada pada bidang pengembangan sistem berbasis Embedded System, Internet of Things (IoT), dan Artificial Intelligence. Selama masa studi, terlibat dalam beberapa kegiatan: menjabat sebagai ketua komunitas Linux, menjadi asisten laboratorium pemrograman, serta mengikuti program MBKM di PT. Petruks Instrument Indonesia.