RANCANG BANGUN INSTRUMEN MONITORING PARAMETER CUACA OTOMATIS SERTA SISTEM PRAKIRAAN HUJAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Oleh:

MUHAMMAD REZA MAULANA ALIVA
NIM. 22229007

MAGISTER FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2024

RANCANG BANGUN INSTRUMEN MONITORING PARAMETER CUACA OTOMATIS SERTA SISTEM PRAKIRAAN HUJAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

TESIS

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Magister Sains

Oleh:

MUHAMMAD REZA MAULANA ALIVA
NIM. 22229007

PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2024

ABSTRACT

Muhammad Reza Maulana Aliva. 2024. “Design of Automatic Weather Parameter Monitoring Instrument and Rain Forecast System Using Artificial Intelligence”. Thesis. Master of Physics Study Program, Padang State University.

Observation of weather parameters is very important in improving the quality of weather information. Information in the form of weather predictions, especially rainfall, currently still has a limited level of accuracy. This is a serious problem, especially in extreme weather situations and weather phenomena that are difficult to predict. This is constrained by the lack of available in-situ observation points so that the level of accuracy is limited. Therefore, the development of automated weather parameter observation technology and forecast models is urgently needed to improve the quality and the resulting weather information.

This research uses engineering methods with steps in conducting engineering research including ideas and clarity of tasks, conceptual design, arrangement, geometry, functionality, detailed design, modeling tools, and testing. The design of the weather parameter monitoring tool uses several internet of things-based sensors with the MQTT protocol. The weather monitoring system uses Arduino Mega as data acquisition with input from several sensors with parameters of temperature, humidity, pressure, wind direction and speed, solar radiation sensor, and rainfall. NodeMCU ESP8266 is used for data transmission to the webserver.

The results of the system design have a pressure sensor accuracy rate of 99.86% which is the highest. The accuracy of the temperature sensor is 97.23%. The accuracy of the humidity sensor is 96.1%. The accuracy of the solar radiation sensor is 92.27%. the accuracy of the wind direction sensor is 88.49%. Wind speed sensor accuracy of 81.12%. The accuracy of the rainfall sensor is 97.4% and the accuracy is 83.07%. The artificial intelligence model used for the rainfall forecast system is Long Short-Term Memory (LSTM). The performance result of the correlation value obtained is 0.5920 which is included in the medium relationship level and the mean absolute error (MAE) value is 10.9916. Improved correlation with seasonal division with a correlation value of 0.7036 with MAE 12.6225 for the wet season and 0.7775 with MAE 11.2146 for the dry season. The information system on the webserver can display weather parameter data and weather data processing information in realtime and the rainfall forecast system system has also been integrated so that it can display rainfall information based on monitoring data.

ABSTRAK

Muhammad Reza Maulana Aliva. 2024. “Rancang Bangun Instrumen Monitoring Parameter Cuaca Otomatis Serta Sistem Prakiraan Hujan Menggunakan *Artificial Intelligence*”. Tesis. Program Studi Magister Fisika Universitas Negeri Padang.

Pengamatan parameter cuaca menjadi sangat penting dalam peningkatan kualitas informasi cuaca. Informasi berupa prediksi cuaca terutama curah hujan saat ini masih memiliki tingkat akurasi yang terbatas. Hal ini menjadi masalah serius terutama dalam situasi cuaca ekstrim dan fenomena cuaca yang sulit diprediksi. Hal ini terkendala dengan kurangnya jumlah titik pengamatan in-situ yang tersedia sehingga tingkat akurasi menjadi terbatas. Oleh karena itu, perkembangan teknologi pengamatan parameter cuaca otomatis dan model prakiraan sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas dan informasi cuaca yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa dengan langkah-langkah dalam melakukan penelitian rekayasa meliputi ide-ide dan kejelasan tugas, konseptual rancangan, susunan, geometri, kefungsian, rancangan detail, pembuatan tool pemodelan, dan pengujian. Rancangan alat monitoring parameter cuaca menggunakan beberapa sensor berbasis internet of things dengan protokol MQTT. Sistem monitoring cuaca menggunakan Arduino Mega sebagai akuisisi data dengan inputan dari beberapa sensor dengan parameter suhu, kelembaban, tekanan, arah dan kecepatan angin, sensor radiasi matahari, dan curah hujan. NodeMCU ESP8266 digunakan untuk pengiriman data ke *webserver*.

Hasil rancangan sistem memiliki tingkat ketepatan sensor tekanan 99.99% merupakan yang paling tinggi. Ketepatan sensor suhu sebesar 99.3%. Ketepatan sensor kelembaban sebesar 98.5%. Ketepatan sensor radiasi matahari sebesar 92.27%. keteparan sensor arah angin sebesar 91.49%. Ketepatan sensor kecepatan angin sebesar 88.06%. Ketelitian sensor curah hujan 97.4% dan ketepatannya sebesar 83.07%. Model *artificial intelligence* yang digunakan untuk sistem prakiraan curah hujan adalah *Long Short-Term Memory (LSTM).* Hasil performasi nilai korelasi yang diperoleh adalah 0.5920 yang mana masuk dalam tingkat hubungan sedang dan nilai *mean absolute error* (MAE) yaitu sebesar 10.9916. Peningkatan korelasi dengan pembagian berdasarkan musim dengan nilai korelasi 0.7036 dengan MAE 12.6225 untuk musim hujan dan 0.7775 dengan MAE 11.2146 untuk musim kemarau. Sistem informasi pada *webserver* dapat menampilkan data parameter cuaca dan informasi pengolahan data cuaca secara *realtime* serta sistem sistem prakiraan curah hujan juga sudah terintegrasi sehingga dapat menampilkan informasi curah hujan berdasarkan data monitoring.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan berkah, rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul "Rancang Bangun Instrumen Monitoring Parameter Cuaca Otomatis Serta Sistem Prakiraan Hujan Menggunakan *Artificial Intelligence*". Sholawat beserta salam semoga senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad Shallallaahu 'alaihi wasallam. Tujuan penulisan tesis ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) bagi mahasiswa program S-2 diprogram studi Fisika Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan dan penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini penulis dengan senang hati mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang tulus kepada :

1. Bapak Dr. Yulkifli, M.Si sebagai pembimbing atas segala bantuannya yang tulus ikhlas memberikan bimbingan, arahan, dan saran dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Prof. Yohandri, Ph.D sebagai dosen penguji tesis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan saran kepada peneliti untuk menyempurnakan tesis ini.
3. Bapak Dr. Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si sebagai dosen penguji tesis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan saran kepada peneliti untuk menyempurnakan tesis ini.
4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D selaku selaku ketua Prodi Magister Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Prof. Dr. Asrizal, M.Si selaku ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Bapak Desindra Deddy Kurniawan, SP., M.Kom selaku Kepala Stasiun Meteorologi Minagkabau Padang Pariaman.
7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Staf Administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
9. Pegawai dan Staf di Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman.
10. Orng tua, saudara, istri, dan anak yang selalu memberikan dukungan baik berupa moril dan spiritual kepada penulis.
11. Rekan-rekan Magister Fisika yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya. Demi kebaikkan selanjutnya, saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya mudah-mudahan dapat bermanfaat khususnya bagi penulis, umumnya bagi kita semua.

Padang, 21 Oktober 2024

PERSETUJUAN AKHIR TESIS

Nama Mahasiswa : Muhammad Reza Maulana Aliva

NIM : 22229007

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si. Pembimbing		31 Oktober 2024

Dekan FMIPA
Universitas Negeri Padang,

Dr. Yulkifli, S.Pd., M.Si.
NIP. 19730702 200312 1 002

Koordinator Program Studi,

Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D.
NIP. 19740305 199802 2 001

PERSETUJUAN KOMISI UJIAN TESIS MAGISTER

No.	Nama	Tanda Tangan
1.	Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si. (*Ketua*)	
2.	Prof. Yohandri, S.Si, M.Si, Ph.D. (*Anggota*)	
3.	Dr. Nofi Yendri Sudiar, S.Si., M.Si (*Anggota*)	

Mahasiswa:

Nama : Muhammad Reza Maulana Aliva

NIM. : 22229007

Tanggal Ujian : 31 Oktober 2024

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul:

RANCANG BANGUN INSTRUMEN MONITORING PARAMETER CUACA OTOMATIS SERTA SISTEM PRAKIRAAN HUJAN MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*

Tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lain dan tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri tanpa memberikan pengakuan pada penulis aslinya. Apabila di kemudian hari saya terbukti melakukan tindakan menyalin atau meniru tulisan orang lain seolah-olah hasil pemikiran saya sendiri, gelar dan ijazah yang telah diberikan oleh universitas batal saya terima.

Padang, 01 November 2024

Yang memberi pernyataan,

Muhammad Reza Maulana Aliva

DAFTAR ISI

ABSTRACT i
ABSTRAK ii
KATA PENGANTAR iii
PERSETUJUAN AKHIR TESIS v
PERSETUJUAN KOMISI UJIAN TESIS MAGISTER vi
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang Masalah 1
B. Identifikasi Masalah 5
C. Pembatasan Masalah 6
D. Perumusan Masalah 6
E. Tujuan Penelitian 7
F. Manfaat Penelitian 8
G. Spesifikasi Produk Penelitian 8
H. Kebaharuan dan Orisinalitas 8
I. Definisi Operasional 11
BAB II 12
KAJIAN PUSTAKA 12
A. Cuaca 12
1. Suhu 12
2. Kelembaban 13
3. Tekanan Udara 14
4. Angin 15
5. Radiasi Matahari 15
6. Curah Hujan 16

B. Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22) 18
C. Sensor Tekanan (BME280) 18
D. Sensor Arah dan Kecepatan Angin (Anemometer) 19
E. Sensor Radiasi Matahari (BH1750) 19
F. Sensor Curah Hujan (Tipping Bucket) 21
G. Mikrokontroler (Arduino MEGA) 22
H. Modul SIM900A GSM/GPRS 23
I. Internet of Things (IoT) 23
J. Webserver 24
K. Artificial Intelligence 25
L. Python 26
BAB III 29
METODE PENELITIAN 29
A. Tempat dan Waktu Penelitian 29
B. Alat dan Bahan 29
C. Jenis Penelitian 30
D. Data dan Variabel Penelitian 31
1. Data Penelitian 31
2. Variabel Penelitian 31
E. Prosedur Penelitian 32
1. Ide-ide dan Kejelasan Tugas 32
2. Konseptual Rancangan 33
3. Susunan, Geometri, Kefungsian 33
4. Rancangan Detail 35
5. Pembuatan Tool Pemodelan 38
6. Pengujian 38
BAB IV 42
HASIL DAN PEMBAHASAN 42
A. Hasil Penelitian 42
B. Pembahasan 77
C. Keterbatasan Penelitian 83

BAB IV 85
PENUTUP 85
A. Kesimpulan 85
B. Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sensor DHT22 18
Gambar 2. Sensor BME280 18
Gambar 3. Anemometer 19
Gambar 4. Sensor BH1750 21
Gambar 5. Blok diagram BH1750 21
Gambar 6. Sensor Tipping Bucket 22
Gambar 7. Arduino MEGA 22
Gambar 8. Modul SIM900A 23
Gambar 9. Python 27
Gambar 10. Library Python untuk Machine Learning 27
Gambar 11. Langkah-langkah penelitian rekayasa 30
Gambar 12. Blok diagram rancang bangun sistem monitoring parameter cuaca serta sistem prakiraan hujan menggunakan artificial intelligence berbasis *internet of things* ... 34
Gambar 13. Desain perangkat keras sistem monitoring parameter cuaca 36
Gambar 14. Diagram alir perangkat lunak sistem 37
Gambar 15. Hasil konseptual rancangan perangkat keras sistem, (1) Blok diagram, (2) Wiring Diagram, (3) Implementasi Perangkat Keras 43
Gambar 16. Hasil susunan, geometri, dan kefungsian penelitian 44
Gambar 17. Pelindung sensor DHT22 dan BME280 45
Gambar 18. Pelindung sensor BH1750 45
Gambar 19. Sensor penakar curah hujan 46
Gambar 20. Implementasi perangkat keras sistem monitoring parameter cuaca 47
Gambar 21. Arsitektur MQTT sistem monitoring parameter cuaca 48
Gambar 22. Implemetasi perangkat lunak sistem pada aplikasi Node-RED untuk monitoring parameter cuaca 49
Gambar 23. Implementasi perangkat lunak sistem pada aplikasi Node-RED untuk prakiraan curah hujan 51
Gambar 24. Tampilan *dashboard* sistem monitoring parameter cuaca 52
Gambar 25. Proses pengujian sensor parameter cuaca 55
Gambar 26. Grafik perbandingan sensor suhu dan kelembaban 57

Gambar 27. Penempatan sensor DHT22 dalam sangkar meteo 58
Gambar 28. Grafik perbandingan sensor suhu dan kelembaban yang diletakkan dalam sangkar meteo dan setelah penambahan nilai koreksi..... 58
Gambar 29. Pengujian ketelitian sensor suhu dan kelembaban 59
Gambar 30. Grafik perbandingan sensor tekanan sebelum dan sudah ditambahkan nilai koreksi..... 61
Gambar 31. Grafik perbandingan sensor radiasi matahari 62
Gambar 32. Pengujian ketelitian sensor radiasi matahari 63
Gambar 33. Grafik perbandingan sensor arah dan kecepatan angin 66
Gambar 34. Grafik perbandingan sensor arah dan kecepatan angin setelah penambahan nilai koreksi..... 67
Gambar 35. Pengujian ketelitian sensor arah kecepatan angin dan maksimum pengukuran kecepatan angin..... 68
Gambar 36. Gelas ukur dan kalibrator curah hujan 69
Gambar 37. Grafik perbandingan sensor curah hujan..... 71
Gambar 38. Hasil perbandingan prediksi curah hujan model LSTM dengan curah hujan aktual..... 74
Gambar 39. File penyimpanan data dalam SDCard dan *database* server..... 75
Gambar 40. Grafik perbandingan ketersediaan data 77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian..... 29
Tabel 2. Tabel internval korelasi dengan tingkat hubungan 41
Tabel 3. Perbandingan sensor suhu..... 56
Tabel 4. Perbandingan sensor kelembaban 56
Tabel 5. Hasil Pengujian ketelitian sensor suhu dan kelembaban 59
Tabel 6. Perbandingan sensor suhu..... 60
Tabel 7. Perbandingan sensor radiasi matahari..... 62
Tabel 8. Hasil pengujian ketelitian sensor radiasi matahari..... 63
Tabel 9. Perbandingan sensor arah angin..... 64
Tabel 10. Perbandingan sensor kecepatan angin..... 64
Tabel 11. Hasil pengujian ketelitian sensor arah dan kecepatan angin..... 68
Tabel 12. Pengujian ketelitian sensor curah hujan..... 69
Tabel 13. Pengujian ketepatan sensor curah hujan 70
Tabel 14. Hasil pengujian model LSTM prakiraan curah hujan..... 73
Tabel 15. Hasil pengujian model LSTM dari data berdasarkan musim..... 74
Tabel 16. Hasil pengujian model LSTM dari data monitoring sistem..... 75
Tabel 17. Perhitungan ketersediaan penyimpanan data sistem monitoring 76
Tabel 18. Hasil spesifikasi performansi masing-masing sensor monitoring parameter cuaca 81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program Pengumpulan Data 93
Lampiran 2. Program Pengiriman Data 97
Lampiran 3. Program Model LSTM 101
Lampiran 4. Program Python Statistik Cuaca Harian 103
Lampiran 5. Program Python Integrasi Montoring dan Prakiraan 105
Lampiran 6. Foto Alat 107
Lampiran 7. Dokumentasi Pengambilan Data 108
Lampiran 8. Datasheet Sensor Standar 110
Lampiran 9. Datasheet Sensor Penelitian 113

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Cuaca mempunyai peranan penting bagi kehidupan manusia dalam menjalani aktivitas terutama aktivitas di tempat terbuka. Informasi cuaca sangat bermanfaat bagi berbagai bidang antara lain bidang pertanian, kelautan, penerbangan, produksi industri, logistik, dan sektor kebencanaan (Akilan & Baalamurugan, 2024; Lu et al., 2024; Sziroczak et al., 2022). Fenomena cuaca seperti siklon tropis, angin topan, tanah longsor, banjir, badai petir seringkali menimbulkan kerugian manusia dan ekonomi. Kesiapsiagaan menghadapi peristiwa-peristiwa ini dapat dicapai secara efektif melalui koordinasi yang tepat antara layanan prakiraan cuaca, otoritas manajemen bencana, tim tanggap darurat, dan lain-lain. Tingkat akurasi prakiraan bergantung pada keluaran model dan pengamatan in-situ yang digunakan dalam sistem asimilasi data. Data parameter cuaca dilapangan memainkan peran yang sangat penting dalam prakiraan cuaca dan layanan operasional terkait cuaca setiap hari (Kameshwari et al., 2023). Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Indonesia memiliki tugas untuk melakukan pengamatan parameter cuaca untuk memperlajari kondisi cuaca suatu daerah. Parameter cuaca seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan sangat penting dalam meningkatkan kualitas informasi cuaca yang dikeluarkan BMKG. Prediksi cuaca terutama curah hujan saat ini masih memiliki tingkat akurasi yang terbatas. Hal ini menjadi masalah serius terutama dalam situasi cuaca ekstrim dan fenomena cuaca yang sulit diprediksi. Pentingnya pengamatan parameter cuaca dalam hal peningkatan kualitas informasi cuaca suatu wilayah oleh BMKG memiliki kendala dengan kurangnya jumlah titik pengamatan in-situ yang tersedia. Oleh karena itu, perkembangan teknologi pengamatan parameter cuaca otomatis sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas dan informasi cuaca yang dihasilkan.

Penelitian tentang teknologi pengamatan paramater cuaca pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti tentang sistem monitoring cuaca

dengan komuikasi WiFi internet untuk menampilkan serta menyimpan data di *webserver* dengan parameter suhu, kelembaban, tekanan, curah hujan, arah angin, dan kecepatan angin (Sarkar et al., 2020). Penelitian lainnya tentang monitoring paremeter cuaca menggunakan media komunikasi nirkabel ke PC server untuk mengirimkan data ke web server serta penggunaan baterai dan solar panel sebagai sistem catu daya (Nsabagwa et al., 2019). Rancangan stasiun cuaca otomatis dengan parameter cuaca suhu udara, kelambaban udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan ketinggian salju yang digunakan untuk memantau gletser dengan perangkat *low-cost* media penyimpanan SD Card (Netto & Arigony-Neto, 2019), selain itu perancangan stasiun cuaca dengan parameter suhu, kelembaban, dan tekanan yang tempatkan pada daerah terpencil di pegunungan Himalaya menggunakan penyimpanan SD Card (Khandelwal & Singhal, 2021).

Kemudian perancangan stasiun otomatis dengan sumber catu daya dari baterai dan solar panel dalam bidang pertanian seperti yang dilakukan (McCauley et al., 2021) dengan paramater suhu kelembaban udara, suhu kelembaban tanah, solar radiasi, potensial air tanah, dan reflektifitas spektral menggunakan komunikasi nirkabel ke PC server dan menyimpan data dalam database server dan perancangan smart argicultural dengan komunikasi WiFi atau dengan modem 3G yang mengirimkan data ke *Webserver* (Botero-Valencia et al., 2022). Penelitian selanjutnya perihal sistem monitoring suhu, kelembaban, tekanan, kelembaban tanah, curah hujan, dan pergerakan tanah untuk bencana alam longsor menggunakan *low-cost* sensor dan media komunikasi nirkabel antar titik pengamatan dengan stasiun hub yang tersambung dengan internet (Chu et al., 2021). Selain itu penelitian sistem monitoring cuaca untuk bencana alam dengan dengan self calibration sensor menggunakan Machine Learning telah dilakukan untuk meningkatkan akurasi sensor (Bernardes et al., 2023). Selanjutnya penelitian tentang metode sonifikasi data pengamatan parameter cuaca untuk memberikan pendekatan yang inovatif dalam mengumpulkan dan memahami informasi cuaca secara lebih intuitif dan menarik (Woo et al., 2023).

Penelitian sebelumnya terkait sistem monitoring parameter cuaca yang telah dilakukan namun masih memiliki beberapa kekurangan seperti masih menggunakan media komunikasi kabel untuk pengiriman data, data hanya tersimpan didalam penyimpanan internal sistem, dan pengiriman data bergantung dengan ketersediaan jaringan internet dilokasi. Hal tersebut dapat diatasi dengan pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penelitian tentang desain alat ukur tekanan udara menggunakan *DT-Sense Barometric Pressure* yang memanfaatkan IoT untuk menampilkan nilai tekanan udara pada *smartphone* (Handini et al., 2020). Selain itu penelitian yang telah dilakukan tentang pemanfaatan IoT dalam pengukuran parameter cuaca untuk suhu dan kelembaban menggunakan sensor SHT75 dengan *display smartphone* (Iqbal et al., 2019). Pemanfaatan IoT juga dilakukan dalam penelitian terkait alat ukur parameter iklim seperti kelembaban tanah menggunakan SHT11 (Karinia et al., 2021) dan kelembaban serta suhu tanah menggunakan DHT11 (Yulkifli et al., 2023).

Perkembangan teknologi IoT telah membawa revolusi besar dalam banyak aspek kehidupan, termasuk pemantauan dan prediksi cuaca (Nithyashri et al., 2023). IoT memungkinkan perangkat-perangkat terhubung untuk mengumpulkan data cuaca secara *realtime* dari berbagai lokasi (Mabrouki et al., 2021). Kemudian proses selanjutnya dapat dikembangkan dengan analisis data dengan menggunakan kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* untuk menghasilkan prediksi cuaca yang lebih akurat. Penggunaan kecerdasan buatan dalam menganalisis dan memproses data cuaca memungkinkan untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan canggih (Pham et al., 2020; Suparta & Samah, 2020). *Machine learning* dan teknik kecerdasan buatan lainnya memungkinkan sistem untuk mempelajari pola-pola dari data cuaca yang kompleks (Liyew & Melese, 2021).

Penelitian tetang penggunaan Artificial Intelligence sudah banyak dilakukan dalam membuat model prakiraan curah hujan, beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah pengembangan model deep reinforcement learning LSTM (Long-Short-Term Memory) yang digunakan untuk memprediksi curah hujan di wilayah pesisir India (Nithyashri et al., 2023). Kemudian penelitan selanjutnya

tentang analisis komparasi modelm algoritma konvensional *Machine Learning* dan arsitektur *Deep Learning* seperti LSTM, *Stacked*-LSTM, *Bidirectional*-LSTM *Networks*, *XGBoost*, *Gradient Boosting Regressor*, *Linear Support Vector Regression*, *Extra-trees Regressor* untuk prakiraan curah hujan menggunakan data klimat dari tahun 2000-2020 dari beberapa kota besar di United Kingdom (Barrera-Animas et al., 2022). Selanjutnya tentang pengembangan metode ANFIS dengan optimalisasi PSO ANFIS, ANN, dan SVM untuk prediksi curah hujan harian (Pham et al., 2020) dan pengembangan dan penerapan teknik ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) dalam memprediksi curah hujan di wilayah Tangerang Selatan, Indonesia, dengan mempertimbangkan aspek deret waktu (Suparta & Samah, 2020). Selain itu ada penelitan pemanfaatan teknik-teknik dalam machine learning (*Random Forest*, MLR, *XGBoost*) guna memprediksi jumlah curah hujan harian dengan akurasi yang tinggi di Bahir Dar City, Ethiopia (Liyew & Melese, 2021) dan peningkatan prediksi curah hujan bulanan di India dengan mengimplementasikan pendekatan yang menggunakan LSTM (*Long Short-Term Memory*) yang dikombinasikan dengan RNN (*Recurrent Neural Network*) (Kumar et al., 2019).

Beberapa hasil penelitian terkait penggunaan *Artificial Intelligence* dalam pembuatan model prakiraan curah hujan menunjukkan tingkat akurasi dan ketepatan prakiraan yang cukup tinggi. Model yang digunakan juga mampu mengidentifikasi pola kompleks dalam parameter cuaca untuk meningkatkan akurasi prakiraan (Liyew & Melese, 2021). Prakiraan curah hujan yang lebih akurat memberikan manfaat besar dalam manajemen risiko bencana alam, terutama dalam pengurangan dampak banjir, tanah longsor, dan kejadian lainnya (Suparta & Samah, 2020). Integrasi sistem monitoring parameter cuaca dan model prakiraan curah hujan diharapkan dapat meningkatkan kualitas informasi cuaca suatu wilayah.

Dari penelitian-penelitian relevan yang telah dirangkum maka dari itu penelitian lanjutan yang berpeluang mendapat keterbaruan penelitian meliputi dengan perancangan sistem yang digunakan memonitoring parameter cuaca seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi

matahari, dan curah hujan. Sistem catu daya mandiri menggunakan baterai dan solar panel untuk mendukung ketersediaan data yang berkelanjutan dengan sistem komunikasi berbasis IoT menggunakan modem GSM GPRS yang langsung mengirimkan data ke *webserver* secara *remote*. Selain itu sistem juga ditanam algoritma kecerdasan buatan menggunakan data latih dari data pengamatan cuaca yang dilakukan BMKG Stasiun Meteorologi Padang Pariaman untuk menghasilkan prakiraan hujan sesuai dengan dinamika atmosfer yang terjadi selama ini diwilayah Sumatera Barat. Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk mengintegrasikan teknologi IoT dan kecerdasan buatan guna membangun sistem yang mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam memantau parameter cuaca dan memprediksi hujan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka identifikasi masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Prediksi cuaca dan hujan saat ini masih memiliki tingkat akurasi yang terbatas untuk skala lokal. Hal ini menjadi masalah serius terutama dalam situasi cuaca ekstrem dan fenomena cuaca yang sulit diprediksi.
2. Pentingnya pengamatan parameter cuaca ini berguna untuk meningkatkan kualitas informasi cuaca yang dikeluarkan BMKG tetapi memiliki keterbatasan jumlah titik pengamatan yang tersedia.
3. Sistem pemantauan cuaca konvensional memiliki keterbatasan dalam jangkauan geografis dan jumlah parameter yang dapat dipantau.
4. Merancang instrumen monitoring parameter cuaca yang dapat mengumpulkan data cuaca secara real-time, seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan dengan tepat, akurat, dan praktis.
5. Mengimplementasikan sistem prakiraan hujan berbasis kecerdasan buatan yang mampu memproses data cuaca dan memberikan prediksi hujan dengan tingkat akurasi yang tinggi.

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang memiliki cakupan yang cukup luas maka untuk lebih memfokuskan proses penelitian ini maka dibuat pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter cuaca yang dimonitoring meliputi suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan.
2. Sensor yang digunakan merupakan sensor yang banyak tersedia dipasaran dengan harga yang terjangkau.
3. Menggunakan data pengamatan AWS yang digunakan Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman sebagai validasi data dari sensor.
4. Mengunakan metode *Machine Learning* sebagai algoritma kecerdasan buatan untuk prakiraan hujan.
5. Menggunakan data pengamatan Synoptik dengan rentang paling lama selama 10 tahun yang diamati Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman sebagai data latih metode *machine learning*.
6. Menggunakan software *open-source* untuk *platform* IoT dalam pengumpulan dan pengolahan data.
7. Penelitian ini difokuskan untuk meningkatkan data monitoring parameter cuaca dan prakiraan hujan skala lokal.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah pada penelitian ini. Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan instrumen monitoring parameter cuaca yang dapat mengumpulkan dan menampilkan data cuaca *realtime* seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan secara otomatis?
2. Bagaimana performasi dari masing-masing sensor seperti sensor suhu, sensor kelembaban, sensor tekanan udara, sensor arah angin, sensor kecepatan angin,

sensor radiasi matahari, dan sensor curah hujan dari rancangan instrumen monitoring parameter cuaca otomatis?

3. Bagaimana mengimplementasikan sistem prakiraan curah hujan berbasis kecerdasan buatan yang mampu memproses data cuaca serta performansinya terhadap hasil prediksi curah hujan?
4. Bagaimana mengintegrasikan instrumen monitoring cuaca dengan sistem prakiraan hujan untuk memberikan informasi cuaca terkini dan prediksi hujan kepada pengguna melalui platform *online*?

E. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu sistem sebagai monitoring parameter cuaca dan prakiraan curah hujan namun secara khusus penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang instrumen monitoring parameter cuaca yang dapat mengumpulkan dan menampilkan data cuaca *realtime* seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan secara otomatis.
2. Menentukan performasi dari masing-masing sensor seperti sensor suhu, sensor kelembaban, sensor tekanan udara, sensor arah angin, sensor kecepatan angin, sensor radiasi matahari, dan sensor curah hujan dari rancangan instrumen monitoring parameter cuaca otomatis
3. Mengimplementasikan sistem prakiraan curah hujan berbasis kecerdasan buatan yang mampu memproses data cuaca serta menentukan performansinya terhadap hasil prediksi curah hujan.
4. Mengintegrasikan instrumen monitoring cuaca dengan sistem prakiraan hujan untuk memberikan informasi cuaca terkini dan prediksi hujan kepada pengguna melalui platform *online*.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut :

1. Instrumen monitoring parameter cuaca dan sistem prakiraan hujan yang dikembangkan dapat memberikan data cuaca yang lebih cepat, tepat, dan akurat serta prediksi curah hujan yang lebih handal.
2. Masyarakat dapat memperoleh informasi cuaca dan prakiraan hujan secara real-time melalui platform *online* yang terhubung dengan instrumen monitoring.
3. Informasi cuaca yang lebih akurat dapat membantu dalam pengelolaan sumber daya, terutama yang terkait dengan pertanian dan irigasi, untuk mengantisipasi potensi bencana alam akibat cuaca ekstrem.

G. Spesifikasi Produk Penelitian

Rancangan sistem monitoring parameter cuaca secara *realtime* seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan. Teknologi kecerdasan buatan ditanam dalam sistem untuk memperoleh informasi prakiraan curah hujan dari parameter cuaca yang dimonitoring. Data-data paramater cuaca serta informasi prakiraan hujan dapat ditampilkan melalui platform online dangan IoT.

H. Kebaharuan dan Orisinalitas

Penelitian perancangan monitoring cuaca ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Perancangan sistem monitoring cuaca suhu, kelembaban, tekanan, curah hujan, arah angin, kecepatan angin, dan radiasi matahari dengan komunikasi nirkabel atau kabel serial ke PC server dengan form upload yang sudah tersedia untuk menyimpan data ke database server (Devaraju et al., 2015). Selanjutnya rancangan (Hardeep Saini, Abhishek Thakur, Satinderpar Ahuja, 2016) dengan paramater suhu, kelembaban, arah angin, dan kecepatan angin menggunakan baterai dan solar panel sebagai sumber catu daya, komunikasi nirkabel ke PC server, serta *real-time user interface* dan *webserver* sebagai tampilan. Rancangan dengan *real-time user interface* juga dirancang (Li et al.,

2017) dengan parameter suhu, kelambaban, arah angin, kecepatan angin, dan radiasi matahari menggunkan baterai, solar panel, dan turbin angin sebagai sistem catu daya dan komunikasi modem GPRS. Monitoring suhu, kelembaban, tekanan, curah hujan, dan kecepatan angin dalam aplikasi android dirancang dengan komunikasi nirkabel ke PC server yang mengirimkan data ke database server melalui FTP (Munandar et al., 2017). Sistem monitoring cuaca dengan komuikasi WiFi internet untuk menampilkan serta menyimpan data di *webserver* dengan parameter suhu, kelembaban, tekanan, curah hujan, arah angin, dan kecepatan angin ((Brito et al., 2017); (Sarkar et al., 2020)). Penelitian lainnya tentang monitoring paremeter cuaca menggunakan modem GPRS untuk pengiriman data (Strigaro et al., 2019) dan media komunikasi nirkabel ke PC server untuk mengirimkan data ke *webserver* serta penggunaan baterai dan solar panel sebagai sistem catu daya (Nsabagwa et al., 2019).

Rancangan stasiun cuaca otomatis dengan parameter cuaca suhu udara, kelambaban udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan ketinggian salju yang digunakan untuk memantau gletser dengan komunikasi satelit (Abbate et al., 2013) dan perancangan dengan perangkat *low-cost* media penyimpanan SD Card (Netto & Arigony-Neto, 2019), selain itu perancangan stasiun cuaca dengan parameter suhu, kelembaban, dan tekanan yang tempatkan pada daerah terpencil di pegunaungan Himalaya menggunakan penyimpanan SD Card (Khandelwal & Singhal, 2021).

Kemudian perancangan stasiun otomatis dengan sumber catu daya dari baterai dan solar panel dalam bidang pertanian seperti yang dilakukan (Tenzin et al., 2017) dengan paramater suhu udara, kelambaban udara, curah hujan, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, suhu tanah, dan kelambaban tanah dan (McCauley et al., 2021) dengan paramater suhu kelembaban udara, suhu kelembaban tanah, solar radiasi, potensial air tanah, dan reflektifitas spektral menggunakan komunikasi nirkabel ke PC server dan menyimpan data dalam database server. Dalam bidang pertanian yang digunakan untuk sistem irigasi modern selanjutnya dilakukan (Priambodo & Nugroho, 2021) suhu udara, kelambaban udara, tekanan, curah hujan, arah angin, kecepatan angin, dan radiasi

matahari menggunakan media komunikasi modem GPRS dengan penyimpanan data dalam SD Card dan *Webserver*. Hampir sama dengan penelitian Priambodo (2021) dengan sedikit perbedaan tanpa parameter arah angin, perancangan *smart argicultural* dengan komunikasi WiFi atau dengan modem 3G yang mengirimkan data ke *Webserver* (Botero-Valencia et al., 2022).

Penelitian selanjutnya perihal perancangan sistem monitoring cuaca dengan menggunakan pengolahan data seperti menampilkan informasi suhu yang dirasakan dan saran pakaian yang digunakan dari data parameter suhu udara, arah angin, dan kecepatan angin (Shaout et al., 2014). Informasi prakiraan suhu, kelambaban, dan tekanan dalam 24 jam kedapan dengan *Artificial Intelligence* menggunakan data monitoring suhu, kelembaban, tekanan, PM2.5, ultraviolet, dan hujan yang terpasang di bus dan halte (Huang et al., 2020). Kemudian tentang sistem monitoring suhu, kelembaban, tekanan, curah hujan, arah angin, kecepaan angin, kelembaban tanah, dan suhu tanah yang kirim ke *webserver* dengan komunikasi WiFi internet untuk menghasilkan informasi prakiraan suhu, kelembaban, tekanan, dan kecepatan angin perjam untuk esok hari dengan AI (Ioannou et al., 2021). Perancangan sistem monitoring cuaca untuk bencana alam dengan *self calibration* sensor menggunakan *Machine Learning* telah dilakukan untuk meningkatkan akurasi sensor (Bernardes et al., 2023). Selanjutnya penelitian tentang metode sonifikasi data pengamatan parameter cuaca untuk memberikan pendekatan yang inovatif dalam mengumpulkan dan memahami informasi cuaca secara lebih intuitif dan menarik (Woo et al., 2023).

Dari penelitian-penelitian relevan yang telah dirangkum, maka dari itu penelitian lanjutan yang berpeluang mendapat keterbaruan penelitian meliputi:

1. Sistem yang digunakan memonitoring parameter cuaca yang lengkap seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan.
2. Sistem catu daya mandiri menggunakan baterai dan solar panel untuk mendukung ketersediaan data yang berkelanjutan.
3. Sistem komunikasi menggunakan IoT dengan modem yang langsung mengirimkan data ke *webserver* secara *remote.*

4. Pengembangan algoritma kecerdasan buatan menggunakan data latih dari BMKG untuk menghasilkan prakiraan hujan sesuai dengan dinamika atmosfer yang terjadi selama ini diwilayah Sumatera Barat.
5. Pengintegrasian antara sistem monitoring parameter cuaca dengan algoritma kecerdasan buatan untuk prediksi curah hujan.
6. *Webserver* menampilkan data pengamatan parameter cuaca secara real-time dan informasi prakiraan curah hujan.

I. Definisi Operasional

Rancangan sistem monitoring parameter cuaca atau disebut juga dengan AWS (*Automatic Weather Station*). AWS yang dirancang ini untuk memonitoring secara realtime parameter cuaca seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan curah hujan. Kecerdasan buatan untuk menghasilkan informasi prakiraan hujan ditanam dalam sistem yang menggunakan data latih dari data pengamatan cuaca selama beberapa tahun yang ada di Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman. Data-data paramater cuaca serta informasi prakiraan hujan dapat ditampilkan melalui platform *online* dangan IoT.

BAB IV

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisi data serta pembahasan terhadap sistem monitoring parameter cuaca otomatis serta sistem prakiraan curah hujan menggunakan *artificial intelligence* dapat dirumuskan beberapa keseimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rancangan alat monitoring parameter cuaca otomatis sudah berhasil diimplementasikan memiliki desain portabel yang ringkas dan efektif dengan sistem catu daya mandiri yang mampu mengoperasikan alat selama 24 jam serta pengiriman data secara otomatis ke *webserver* dengan internet sehingga informasi dapat dengan mudah diakses melalui *web browser* dengan tingkat ketersediaan data 92.96% dan SDCard sebesar 83.23% sebagai *backup*.
2. Hasil spesifikasi performansi sistem monitoring parameter cuaca didapatkan dari nilai ketepatan dan ketelitian masing-masing sensor. Ketepatan sensor tekanan 99.99% merupakan yang paling tinggi. Ketepatan sensor suhu sebesar 99.30% dengan ketelitian 99.76%. Ketepatan sensor kelembaban sebesar 98.50% dengan ketelitian 99.21%. Ketepatan sensor radiasi matahari sebesar 92.27% dengan ketelitian 99.91%. keteparan sensor arah angin sebesar 91.46% dengan ketelitian 99.69%. Ketepatan sensor kecepatan angin sebesar 88.06% dengan ketelitian 98.35%. Ketepatannya sensor curah hujan sebesar 83.07% dengan ketelitian 97.4%.
3. Hasil spesifikasi performasi sistem prakiraan curah hujan didapatkan dari nilai koefisian korelasi dan nilai *mean absolute error* (MAE). Model AI yang digunakan untuk sistem prakiraan curah hujan adalah *Long Short-Term Memory* (LSTM). Nilai korelasi yang diperoleh adalah 0.5920 dengan tingkat hubungan sedang dan nilai *mean absolute error* (MAE) yaitu sebesar 10.9916. Model dengan pembagian data berdasarkan musim memiliki nilai korelasi 0.7036 dengan MAE 12.6225 untuk musim hujan dan 0.7775 dengan MAE 11.2146 untuk musim kemarau yang termasuk dalam tingkat hubungan kuat

Sementara model yang dibangun dengan hasil data monitoring sistem selama 69 hari diperoleh koefisien korelasi sebesar 0.3315 dengan tingkat korelasi termasuk kategori lemah dan MAE sebesar 8.6185.

4. Hasil rancangan sistem informasi pada *webserver* dapat menampilkan data parameter cuaca dan informasi pengolahan data cuaca secara *realtime* serta sistem sistem prakiraan curah hujan juga sudah terintegrasi sehingga dapat menampilkan informasi curah hujan berdasarkan data monitoring.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan, maka sebagai saran dalam tindak lanjut pengembangan penelitian tentang alat ini sebagai berikut:

1. Sistem monitoring parameter cuaca otomatis dapat dikembangkan dengan perbaikan untuk pembacaan sensor yang lebih optimal seperti sensor suhu bisa diperbaiki desain tempat penempatan sensor yang agar sensor tidak terkena cahaya atau radiasi matahari langsung yang bisa mempengaruhi pembacaan suhu.
2. Sistem monitoring parameter cuaca otomatis dapat dikembangkan lagi untuk sistem penyimpanan data agar ketersediaan data bisa lebih baik lagi.
3. Sistem prakiraan curah hujan menggunakan model LSTM yang merupakan salah satu algoritma AI optimalisasi model untuk menghasilkan prakiraan yang lebih akurat mulai dari menggunakan periode data latih yang lebih panjang minimal 10 tahun dan mengatur parameter LSTM seperti jenis inputan parameter cuaca yang digunakaan, jumlah *hidden* memori atau *neuron*, *epochs*, *batch size*, dan lain-lain agar menghasilkan model LSTM yang optimal.
4. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan seperti tambahan sensor untuk monitoring parameter iklim seperti sensor suhu dan kelembaban tanah atau penambahan sensor untuk monitoring parameter cuaca perairan seperti sensor suhu permukaan laut dan sensor ketinggian permukaan air laut. Selain itu dapat dikembangkan dengan membuat jaringan pengamatan dengan memasang sistem dibeberapa titik sehingga dapat memperluas area pengamatan. Sistem prakiraan juga dapat dikembangkan dengan menambah parameter cuaca lain untuk diprediksi.

DAFTAR PUSTAKA

Abbate, S., Avvenuti, M., Carturan, L., & Cesarini, D. (2013). Deploying a communicating automatic weather station on an alpine glacier. *Procedia Computer Science*, *19*, 1190–1195. https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.06.170

Akilan, T., & Baalamurugan, K. M. (2024). Automated weather forecasting and field monitoring using GRU-CNN model along with IoT to support precision agriculture. *Expert Systems with Applications*, *249*, 123468. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123468

Aleksandrovičs, V., Filičevs, E., & Kampars, J. (2016). Internet of Things: Structure, Features and Management. *Information Technology and Management Science*, *19*(1). https://doi.org/10.1515/itms-2016-0015

Azka, M. A., Sugianto, P. A., Silitonga, A. K., & Nugraheni, I. R. (2018). Uji Akurasi Produk Estimasi Curah Hujan Satelit Gpm Imerg Di Surabaya, Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, *19*(2), 83. https://doi.org/10.29122/jstmc.v19i2.3153

Barrera-Animas, A. Y., Oyedele, L. O., Bilal, M., Akinosho, T. D., Delgado, J. M. D., & Akanbi, L. A. (2022). Rainfall prediction: A comparative analysis of modern machine learning algorithms for time-series forecasting. *Machine Learning with Applications*, *7*(August 2021), 100204. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100204

Bernardes, G. F. L. R., Ishibashi, R., Ivo, A. A. S., Rosset, V., & Kimura, B. Y. L. (2023). Prototyping low-cost automatic weather stations for natural disaster monitoring. *Digital Communications and Networks*, *9*(4), 941–956. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2022.05.002

Botero-Valencia, J. S., Mejia-Herrera, M., & Pearce, J. M. (2022). Low cost climate station for smart agriculture applications with photovoltaic energy and wireless communication. *HardwareX*, *11*, e00296. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00296

Brito, R. C., Favarim, F., Calin, G., & Todt, E. (2017). Development of a low cost weather station using free hardware and software. *2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215292

Chu, M., Patton, A., Roering, J., Siebert, C., Selker, J., Walter, C., & Udell, C. (2021). SitkaNet: A low-cost, distributed sensor network for landslide monitoring and study. *HardwareX*, *9*, e00191. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00191

Devaraju, J. T., Suhas, K. R., Mohana, H. K., & Patil, V. A. (2015). Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, *76*, 189–200.

https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.027

Handini, I. T., Yulkifli, & Darvina, Y. (2020). *Rancang Bangun Sistem Pengukuran Tekanan Udara Menggunakan DT-Sense Barometric Pressure Berbasis Internet of Things dengan Tampilan pada Smartphone menggunakan DT-Sense Barometric Presssure berbasis Internet of Things dengan DT Sense Barometric Pressure a*. *08*(01), 1–10.

Haq, D. Z., Rini Novitasari, D. C., Hamid, A., Ulinnuha, N., Arnita, Farida, Y., Nugraheni, R. D., Nariswari, R., Ilham, Rohayani, H., Pramulya, R., & Widjayanto, A. (2021). Long Short-Term Memory Algorithm for Rainfall Prediction Based on El-Nino and IOD Data. *Procedia Computer Science*, *179*, 829–837. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.071

Hardeep Saini, Abhishek Thakur, Satinderpar Ahuja, N. (2016). Arduino Based Automatic Wireless Weather Station with Remote Graphical Application and Alerts. *International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*.

Hasan, M. M., Hasan, M. J., & Rahman, P. B. (2024). Comparison of RNN-LSTM, TFDF and stacking model approach for weather forecasting in Bangladesh using historical data from 1963 to 2022. *PLoS ONE*, *19*(9 September). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310446

Huang, Z. Q., Chen, Y. C., & Wen, C. Y. (2020). Real-time weather monitoring and prediction using city buses and machine learning. *Sensors (Switzerland)*, *20*(18), 1–21. https://doi.org/10.3390/s20185173

Ioannou, K., Karampatzakis, D., Amanatidis, P., Aggelopoulos, V., & Karmiris, I. (2021). Low-cost automatic weather stations in the internet of things. In *Information (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 4). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/info12040146

Iqbal, M., Yulkifli, & Darvina, Y. (2019). *Rancang Bangun Sistem Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Udara Menggunakan Sensor Sht75 Berbasis Internet of Things Dengan Display Smartphone*. *22*(3), 97–104. www.bmkg.go.id.

Kameshwari, N., Udayabhaskar, T., Osuri, K. K., Lakkimsetty, R., & Pattabhi, R. R. E. (2023). Enhanced quality control procedure for in-situ timeseries of marine-meteorological data. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, *102*, 101367. https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2023.101367

Karinia, Y., Violita, V., Tarigan, H., Sudiar, N. Y., & Yulkifli, Y. (2021). Soil moisture measurement tools using SHT11 sensors based on the Internet of Things. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, *21*(3), 165–174. https://doi.org/10.24036/invotek.v21i3.928

Kartasapoetra, A. G. (2004). *Klimatologi Pengaruh Iklim: Terhadap Tanah dan Tanaman*. Bumi Akasara.

Khandelwal, D. D., & Singhal, M. (2021). Developing a low-cost weather monitoring system for data-sparse regions of the Himalayas. *Weather*, *76*(2),

60–64. https://doi.org/10.1002/wea.3647

Kim, S.-M., Choi, H.-S., & Rhee, W.-S. (2015). IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices. *2015 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe)*, 12–17. https://doi.org/10.1109/ICWISE.2015.7380346

Kodihal, S., Akhtar, M. P., & Maurya, S. P. (2024). Hydroclimatic projection: statistical learning and downscaling model for rainfall and runoff forecasting. *Journal of Water and Climate Change*, *15*(2), 759–772. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.562

Kumar, D., Singh, A., Samui, P., & Jha, R. K. (2019). Forecasting monthly precipitation using sequential modelling. *Hydrological Sciences Journal*, *64*(6), 690–700. https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1595624

Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Graha Ilmu.

Lakitan, B. (2002). *Dasar-dasar Klimatologi*. PT Raja Grafindo Persada.

Liyew, C. M., & Melese, H. A. (2021). Machine learning techniques to predict daily rainfall amount. *Journal of Big Data*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s40537-021-00545-4

Lu, L., Li, C., Gao, L., Gao, S., & Liu, X. (2024). Research on meteorological impact and monitoring application of highway. In M. Mikusova (Ed.), *International Conference on Smart Transportation and City Engineering (STCE 2023)* (p. 33). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.3023993

Mabrouki, J., Azrour, M., Dhiba, D., Farhaoui, Y., & Hajjaji, S. El. (2021). IoT-based data logger for weather monitoring using arduino-based wireless sensor networks with remote graphical application and alerts. *Big Data Mining and Analytics*, *4*(1), 25–32. https://doi.org/10.26599/BDMA.2020.9020018

Marasini, U., & Pokhrel, M. (2024). Discover Civil Engineering Comparative analysis of rainfall - runoff simulation using a long short - term memory (LSTM) deep learning model and a conceptual hydrological model , HEC - HMS : a case study of the mountainous river basin of Nepal. *Discover Civil Engineering*. https://doi.org/10.1007/s44290-024-00084-w

Marturidi, D. (2014). *Metode Penelitian Teknik Informatika*. Deepublish.

McCauley, D. M., Nackley, L. L., & Kelley, J. (2021). Demonstration of a low-cost and open-source platform for on-farm monitoring and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, *187*. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106284

Muhammadi. (2011). *Penelitian Rekayasa*. Informatika.

Munandar, A., Fakhrurroja, H., Rizqyawan, M. I., Pratama, R. P., Wibowo, J. W., & Anto, I. A. F. (2017). Design of real-time weather monitoring system

based on mobile application using automatic weather station. *2017 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro--Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT), 2018-Janua*, 44–47. https://doi.org/10.1109/ICACOMIT.2017.8253384

Nambirajan, V., & Rajalakshmi, V. (2024). *Climatological Rainfall Forecasting Using LSTM: An Analysis of Sequential Input and Data Window Input Approaches* (pp. 311–321). https://doi.org/10.1007/978-981-99-7814-4_25

Nasir, A. A., & Sugiarto, Y. (1999). *Pengajaran Klimatologi dalam Kapita Selekta Agroklimatologi*. Institute Pertanian Bogor.

Neiburger, M., Edinger, J. G., Bonner, W. D., & Ardina, P. (1995). *Memahami lingkungan atmosfer kita = Understanding our atmospheric environment* (Second edi). ITB Press.

Netto, G. T., & Arigony-Neto, J. (2019). Open-source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers. *HardwareX*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00053

Nithyashri, J., Poluru, R. K., Balakrishnan, S., Ashok Kumar, M., Prabu, P., & Nandhini, S. (2023). IOT based prediction of rainfall forecast in coastal regions using deep reinforcement model. *Measurement: Sensors*, *29*(February), 100877. https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100877

Nsabagwa, M., Byamukama, M., Kondela, E., & Otim, J. S. (2019). Towards a robust and affordable Automatic Weather Station. *Development Engineering*, *4*, 100040. https://doi.org/10.1016/j.deveng.2018.100040

Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *16*(1), 414–454. https://doi.org/10.1109/SURV.2013.042313.00197

Pham, B. T., Le, L. M., Le, T. T., Bui, K. T. T., Le, V. M., Ly, H. B., & Prakash, I. (2020). Development of advanced artificial intelligence models for daily rainfall prediction. *Atmospheric Research*, *237*(January), 104845. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104845

Philander, S. G. (2012). *Encyclopedia of Global Warming and Climate Change, Second Edition*. SAGE publication.

Pramestya, R. H. (2018). *Deteksi dan Klasifikasi Kerusakan Jalan Aspal Menggunakan Metode YOLO berbasis Citra Digital*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Prawirowardoyo, S. (1996). *Meteorologi*. Institut Teknologi Bandung.

Priambodo, A. S., & Nugroho, A. P. (2021). Design & Implementation of Solar Powered Automatic Weather Station based on ESP32 and GPRS Module. *Journal of Physics: Conference Series*, *1737*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1737/1/012009

Rao, B. (2016). Machine Learning Algorithms: A Review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, *7*(3), 1174–1179. https://doi.org/10.21275/ART20203995

Rebala, G., Ravi, A., & Churiwala, S. (2019). Machine Learning Definition and Basics. In *An Introduction to Machine Learning* (pp. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15729-6_1

Sabaruddin, L. (2012). *Agroklimatologi Aspek-aspek Klimatik untuk Sistem Budidaya Tanaman*. Alfabeta.

Sarkar, I., Pal, B., Datta, A., & Roy, S. (2020). Wi-Fi-Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, Relative Humidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed, and Direction. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 933, pp. 399–404). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7166-0_39

Shaout, A., Yulong Li, Zhou, M., & Awad, S. (2014). Low cost embedded weather station with intelligent system. *2014 10th International Computer Engineering Conference (ICENCO)*, 100–106. https://doi.org/10.1109/ICENCO.2014.7050439

Strigaro, D., Cannata, M., & Antonovic, M. (2019). Boosting a weather monitoring system in low income economies using open and non-conventional systems: Data quality analysis. *Sensors (Switzerland)*, *19*(5). https://doi.org/10.3390/s19051185

Suparta, W., & Samah, A. A. (2020). Rainfall prediction by using ANFIS times series technique in South Tangerang, Indonesia. *Geodesy and Geodynamics*, *11*(6), 411–417. https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.08.001

Sziroczak, D., Rohacs, D., & Rohacs, J. (2022). Review of using small UAV based meteorological measurements for road weather management. *Progress in Aerospace Sciences*, *134*, 100859. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2022.100859

Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2017). Low cost weather station for climate-smart agriculture. *2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 172–177. https://doi.org/10.1109/KST.2017.7886085

Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi* (Edisi Kedu). Institut Teknologi Bandung.

Umar, F. (1994). *Metodologi Penelitian untuk Insinyur*. Institut Teknologi Bandung.

Wilks, D. S. (2016). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier.

Woo, W., Richards, W., Selker, J., & Udell, C. (2023). WeatherChimes: An Open IoT Weather Station and Data Sonification System. *HardwareX*, *13*. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00402

Yulkifli, Nofriandi, A., Sari, M. B., Sudiar, N. Y., Violita, Abdullah, A. G.,

Sati'at, N. A., & Rizkiana, A. (2023). Optimization of Soil Temperature and Humidity Measurement System at Climatology Stations with IoT-Based Equipment. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *13*(4), 1566–1574. https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.4.18963

Yulkifli, Y., Yohandri, Y., & Affandi, Z. (2016). Pembuatan Sistem Pengiriman Data Menggunakan Telemetri Wireless untuk Detektor Getaran Mesin Dengan Sensor Fluxgate. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, *5*(2), 57. https://doi.org/10.36055/setrum.v5i2.813