

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meteorologi adalah cabang dari ilmu atmosfer yang mempelajari kondisi dan fenomena cuaca di Bumi. Ilmu ini mencakup kajian tentang temperatur, tekanan udara, uap air, dan gradien antar variabel yang berubah secara ruang dan waktu, yang kemudian digunakan untuk memahami dinamika atmosfer baik secara lokal, regional, maupun global (Hamid dan Dayana, 2022). Perkembangan teknologi di bidang meteorologi telah memungkinkan manusia untuk memantau dan memprediksi kondisi cuaca yang berpengaruh besar terhadap berbagai aspek kehidupan, salah satunya adalah kesehatan masyarakat.

Kesehatan masyarakat sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, termasuk iklim dan cuaca. Perubahan kondisi suhu, kelembapan, dan curah hujan secara langsung maupun tidak langsung dapat memengaruhi penyebaran penyakit, khususnya penyakit yang ditularkan oleh vektor seperti nyamuk. Salah satu penyakit yang erat kaitannya dengan kondisi meteorologi adalah Demam Berdarah *Dengue* (DBD). DBD merupakan penyakit yang ditularkan melalui vektor dan mengalami peningkatan jumlah kasus secara drastis di seluruh dunia dalam beberapa tahun terakhir (Susilawaty et al., 2021). Penyakit ini disebabkan oleh virus *dengue* yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Penularan *dengue* umumnya meningkat pada musim hujan yang ditandai dengan kondisi hangat dan lembap, yang mendukung pertumbuhan populasi nyamuk serta memperpendek masa inkubasi virus dalam tubuh nyamuk. Menurut *World Health Organization* (WHO) (2025), sekitar setengah populasi dunia kini berisiko terinfeksi demam berdarah, dengan estimasi 100-400 juta infeksi setiap tahun. Deteksi dini dan perawatan yang tepat dapat menurunkan tingkat kematian secara signifikan, namun infeksi *dengue* juga dapat berkembang menjadi kondisi yang lebih parah dengan tingkat kematian hingga 44% (Gu et al., 2016).

Di Indonesia, jumlah kasus *dengue* pada tahun 2017 mencapai 68.407 kasus, dengan Sulawesi Selatan berada di urutan ke-13 provinsi dengan jumlah kasus tertinggi (Susilawaty et al., 2021). Kota Makassar sendiri merupakan salah satu daerah endemis DBD dengan jumlah penderita yang hampir meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data dari Dinas Kesehatan Kota Makassar (2013), terdapat 353 kasus DBD selama tiga tahun terakhir (2010-2012), yaitu 180 kasus pada tahun 2010, 87 kasus pada 2011, dan 86 kasus pada 2012. Pemerintah Kota Makassar bahkan menetapkan lima kecamatan sebagai wilayah rawan DBD, yaitu Tallo, Panakkukang, Tamalanrea, Biringkanaya, dan Rappocini. Data Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan, pada periode Januari hingga minggu kedua Maret 2025 tercatat sebanyak 1.449 warga terinfeksi Demam Berdarah *Dengue* (DBD), dengan angka kejadian DBD terbanyak di Kota Makassar sejumlah 226 kasus. Nyamuk sebagai vektor penyakit sangat sensitif terhadap kondisi lingkungannya, terutama terhadap faktor suhu dan kelembapan udara. Suhu antara 28-32 °C merupakan

kisaran optimal bagi nyamuk untuk bertahan hidup, sedangkan kelembapan memengaruhi ketahanan trakea nyamuk yang penting dalam proses pernapasan (Susilawaty et al., 2021).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dirancang sebuah alat mikroklimat berbasis sensor yang mampu merekam suhu dan kelembapan udara secara langsung di dalam kandang nyamuk Laboratorium Zoonotik, Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin. Alat ini diharapkan dapat memberikan data mikroklimat berupa suhu dan kelembapan yang memengaruhi aktivitas nyamuk sebagai vektor DBD. Selanjutnya, data tersebut akan dibandingkan dengan data suhu dan kelembapan dari *website* NASA (NASA-POWER) yang mewakili kondisi iklim secara umum di wilayah Makassar. Dengan perbandingan ini, diharapkan dapat diketahui kesesuaian antara kondisi meteorologi regional dan mikroklimat pada habitat perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*, serta dapat menentukan periode waktu yang paling mendukung perkembangbiakan berdasarkan kesesuaian suhu dan kelembapan dari data IoT yang didasarkan pada referensi dan data reanalisis iklim.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis tingkat kesesuaian antara kondisi meteorologi regional dan kondisi mikroklimat di habitat perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*.
2. Menentukan periode waktu yang paling mendukung perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* berdasarkan hasil perbandingan suhu dan kelembapan antara data lingkungan mikro (IoT) dan data reanalisis iklim.

1.2.1 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu geofisika dan meteorologi lingkungan, khususnya dalam penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan data reanalisis iklim untuk menganalisis hubungan antara faktor iklim dan dinamika vektor penyakit tropis seperti *Aedes aegypti*.
2. Menjadi acuan bagi instansi terkait dalam perencanaan dan pelaksanaan program pengendalian demam berdarah dengue (DBD) dengan memanfaatkan informasi mengenai kondisi iklim yang paling mendukung perkembangbiakan *Aedes aegypti*.
3. Memberikan dasar ilmiah bagi peningkatan pemahaman dan kesiapsiagaan masyarakat terhadap faktor iklim yang berpengaruh terhadap penyebaran DBD, sehingga dapat mendorong upaya pencegahan dini dan pengendalian lingkungan secara berkelanjutan di wilayah rawan penularan

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Kondisi Iklim Kota Makassar

Kota Makassar merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan sekaligus pusat kegiatan ekonomi, pemerintahan, dan pendidikan di kawasan Indonesia Timur. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Makassar (2024), luas wilayah Kota Makassar mencapai 175,77 km², yang mencakup sekitar 0,38 persen dari total luas wilayah Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis, Kota Makassar terletak di ujung selatan Pulau Sulawesi dan memiliki karakteristik wilayah pesisir yang cukup luas, termasuk sembilan pulau kecil yang tersebar di bagian barat kota dan secara administratif terbagi ke dalam tiga kelurahan. Secara administratif, Kota Makassar berbatasan langsung dengan Kabupaten Maros di bagian utara dan timur, Kabupaten Gowa di bagian selatan, serta Selat Makassar di bagian barat. Secara astronomis, wilayah kota ini terletak antara 5°8'6" Lintang Selatan dan 119°24'17" Bujur Timur, menjadikannya beriklim tropis dengan suhu yang relatif tinggi dan kelembapan udara yang cukup tinggi sepanjang tahun.

Berdasarkan data BPS Kota Makassar Tahun 2024, suhu udara di Kota Makassar selama tahun 2023 tercatat berkisar antara 22°C hingga 35,5°C, dengan rata-rata tahunan sebesar 28,42°C. Suhu ini menunjukkan bahwa Makassar termasuk wilayah dengan tingkat pemanasan yang cukup tinggi di Indonesia bagian tengah. Selain itu, kelembapan udara rata-rata tercatat sebesar 76,85 persen, menunjukkan kondisi atmosfer yang lembap, terutama di wilayah pesisir. Faktor meteorologis lain yang turut memengaruhi dinamika iklim Makassar meliputi kecepatan angin rata-rata sebesar 4,08 knots, tekanan udara rata-rata sekitar 1009,62 mbar, serta intensitas penyinaran matahari yang mencapai 69,5 persen. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa wilayah Makassar menerima paparan radiasi matahari cukup besar sepanjang tahun, yang berperan penting terhadap pola sirkulasi udara dan proses penguapan di wilayah pesisir. Sementara itu, curah hujan tahunan pada tahun 2023 mengalami penurunan dibandingkan tahun sebelumnya, dari 310,16 mm pada 2022 menjadi 259,02 mm pada 2023. Kondisi iklim tersebut menjadikan Kota Makassar memiliki lingkungan dengan periode kering dan basah yang bergantian secara teratur.

1.3.2 Suhu Udara

Suhu udara merupakan salah satu elemen penting dalam cuaca yang memengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia. Perubahan suhu udara bisa memengaruhi aktivitas manusia, pertumbuhan tanaman, dan bahkan kesehatan. Suhu udara merupakan salah satu unsur meteorologi yang paling penting dalam pengamatan cuaca dan iklim. Secara umum, suhu adalah ukuran tingkat panas suatu benda dan mencerminkan kemampuan benda tersebut untuk menerima atau melepaskan energi panas. Dalam konteks meteorologi, suhu udara diukur pada ketinggian sekitar 1,25 hingga 2 meter dari permukaan tanah menggunakan alat termometer, dan biasanya dinyatakan dalam satuan *Celcius*, *Reamur*, atau *Fahrenheit* (Putri et al., 2020).

Distribusi suhu udara dapat berubah dengan cepat, terutama pada pagi hari saat proses pemanasan oleh radiasi matahari mulai berlangsung. Suhu udara biasanya diklasifikasikan menjadi suhu maksimum dan suhu minimum, yang masing-masing menunjukkan kondisi suhu tertinggi dan terendah dalam suatu interval waktu tertentu, umumnya harian (Kahar et al., 2024). Suhu juga berpengaruh signifikan terhadap dinamika penyebaran penyakit, termasuk Demam Berdarah *Dengue* (DBD). Suhu udara memengaruhi siklus hidup nyamuk dan laju perkembangan virus *dengue* di dalam tubuh nyamuk vektor. Suhu udara memiliki peran penting dalam menentukan kepadatan dan laju perkembangbiakan nyamuk. Peningkatan suhu udara dapat mempercepat siklus hidup nyamuk, mulai dari telur hingga dewasa. Namun, percepatan ini hanya terjadi hingga batas suhu tertentu, jika suhu terlalu tinggi, justru dapat menghambat atau bahkan menghentikan proses perkembangan nyamuk (Triana et al., 2024). Misalnya, suhu 28°C merupakan kondisi optimum untuk replikasi virus pada nyamuk *Aedes aegypti* (Joshi et al., 2002), sementara suhu 30°C dapat mempercepat periode inkubasi ekstrinsik virus *dengue* (Rohani et al., 2009). Temperatur yang lebih tinggi seperti 31°C bahkan dianggap sebagai kondisi terbaik untuk transmisi virus DENV-2 oleh nyamuk *Aedes albopictus* (Xiao et al., 2014).

1.3.3 Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif (*Relative Humidity*) secara matematis didefinisikan sebagai persentase perbandingan antara tekanan uap air parsial di udara dengan tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama. *Relative Humidity* merupakan parameter yang paling umum digunakan untuk merepresentasikan kelembaban udara karena mampu menggambarkan rasio antara jumlah uap air yang terkandung dalam suatu volume udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung pada kondisi jenuh (saturasi). Selain itu, RH juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara tekanan uap air aktual pada saat pengukuran dengan tekanan uap air jenuh pada kondisi saturasi (Satria, 2022).

Kelembaban relatif (*relative humidity*) didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan uap air aktual di udara dengan tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama, yang dinyatakan dalam persen. Secara matematis, kelembaban relatif dirumuskan sebagai:

$$RH = \frac{e}{e_s} \times 100\% \quad (1)$$

di mana e merupakan tekanan uap air aktual dan e_s adalah tekanan uap air jenuh. Nilai kelembaban relatif sebesar 100% menunjukkan kondisi udara jenuh uap air (Legg, 2017).

1.3.4 Demam Berdarah *Dengue* (DBD)

Dengue merupakan penyakit yang disebabkan oleh empat jenis virus yang saling berkerabat dekat dan menjadi masalah kesehatan masyarakat global yang terus meningkat. Wabah *dengue* dapat membebani sistem pelayanan kesehatan dan mengganggu stabilitas ekonomi. Penyakit ini bersifat endemik di lebih dari 100 negara yang berada di wilayah tropis dan subtropis di seluruh dunia. Perluasan daerah penyebaran vektor nyamuk, yang sebagian dipengaruhi oleh perubahan iklim, turut memperparah peningkatan risiko penularan *dengue* (Bailey et al., 2024).

Penularan *dengue* dipengaruhi oleh berbagai faktor kompleks, termasuk kekebalan inang, kapasitas vektor, jenis virus yang beredar, pergerakan penduduk, kapasitas pengendalian *dengue*, serta kondisi cuaca atau iklim. Variabel iklim berpengaruh terhadap epidemiologi *dengue* secara tidak langsung, yaitu dengan memengaruhi aspek biologis nyamuk serta masa inkubasi virus dalam tubuh nyamuk atau *extrinsic incubation period* (EIP). Perubahan iklim diperkirakan dapat mengubah dinamika spasial dan temporal ekologi DENV, antara lain melalui peningkatan jangkauan terbang vektor, durasi aktivitas nyamuk yang lebih panjang, serta pemendekan EIP. Studi pemodelan menunjukkan bahwa perubahan kecil pada EIP saja dapat menyebabkan peningkatan signifikan pada jumlah kasus *dengue* (Hii et al., 2016).

Selain penyebab langsung berupa virus *dengue*, faktor lingkungan turut berperan dalam menunjang siklus hidup nyamuk vektor penyebab DBD. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan jentik nyamuk antara lain adalah suhu udara, kelembapan relatif, dan curah hujan. Nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor utama penyakit DBD berkembang biak di dua jenis habitat, yaitu habitat alami dan habitat buatan. Habitat alami meliputi tempat-tempat seperti batok kelapa, lubang pohon, dan celah batu yang menampung air jernih. Sementara itu, habitat buatan mencakup wadah-wadah yang biasa digunakan manusia, seperti bak mandi, kaleng bekas, ember, botol, dan drum yang terisi air (Sufiani et al., 2021).

Penelitian oleh Doeurk et al. (2025) menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap berbagai aspek biologis nyamuk, mulai dari penetasan telur, perkembangan larva, umur hidup, hingga aktivitas menggigit. Hasil penelitian tersebut mengungkap bahwa tingkat penetasan telur tertinggi terjadi pada suhu sekitar 25°C, dengan suhu optimum untuk kelangsungan hidup betina berada pada 27 °C. Aktivitas mengisap darah tercatat paling tinggi pada 30°C, yang dapat meningkatkan potensi transmisi virus *dengue*. Namun, pada suhu ekstrem seperti 40°C, larva tidak mampu bertahan hidup dan tingkat kematian meningkat secara signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa *Aedes aegypti* memiliki kemampuan adaptasi yang baik pada rentang suhu 25–30°C. Ernst et al. (2023) menemukan bahwa durasi *Extrinsic Incubation Period* (EIP) yang dipengaruhi oleh suhu, serta umur nyamuk dewasa (*longevity*), merupakan faktor kunci dalam menentukan risiko penularan *dengue*. Wilayah dengan suhu yang memungkinkan EIP lebih pendek dan

nyamuk yang memiliki umur hidup cukup lama akan menghasilkan jumlah vektor potensial yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan peluang terjadinya penularan penyakit. Menurut Costa et al. (2010), kelembapan relatif sekitar 80% merupakan kondisi yang paling sesuai untuk kelangsungan hidup dan aktivitas reproduksi *Aedes aegypti*. Pada kelembapan tersebut, nyamuk betina mampu bertahan hidup lebih lama dan menghasilkan lebih banyak telur dibandingkan dengan kondisi kelembapan yang lebih rendah (sekitar 60%).

1.3.5 Metode *Euclidean Distance*

Euclidean Distance di gunakan untuk mengukur tingkat kemiripan jarak antara data dengan rumus *euclidean* (Nishom 2019). Rumus yang dapat digunakan dapat dilihat pada persamaan

$$d(x, y) = |x - y| \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

i : index dari atribut

n :jumlah data

x_i : atribut dari data ke-i, (i= 1, 2, 3, ..., ..., n)

x_i : atribut dari pusat cluster ke-i, (i= 1, 2, 3, ..., ..., n)

Menurut Bora dan Gupta (2014), perhitungan jarak *Euclidean* umumnya dilakukan langsung dari data mentah (*raw data*) dan bukan dari data yang telah distandardisasi. Keuntungan dari pendekatan ini adalah bahwa jarak antara dua objek tidak akan terpengaruh oleh penambahan objek baru ke dalam analisis, termasuk jika objek tersebut merupakan *outlier*. Meskipun demikian, perbedaan skala antar dimensi dapat sangat memengaruhi hasil perhitungan jarak *Euclidean*.

Sebagai contoh, apabila salah satu variabel diukur dalam sentimeter lalu diubah ke milimeter (dengan mengalikan nilainya dengan 10), maka variabel tersebut akan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap jarak total. Akibatnya, hasil analisis dapat menjadi bias atau menyimpang karena dimensi dengan skala yang lebih besar akan mendominasi perhitungan jarak. Oleh karena itu, Bora dan Gupta (2014) menyarankan agar setiap dimensi atau variabel dalam dataset terlebih dahulu ditransformasikan agar memiliki skala yang seragam sebelum digunakan dalam perhitungan *Euclidean Distance*.

Gorner et al. (2021) mengembangkan *Euclidean Distance Model (EDM)* sebagai metode non-parametrik multivariat untuk mendisagregasi data iklim harian menjadi data per jam. Model tersebut bekerja dengan mencari data historis yang memiliki

kondisi paling mirip dengan data target berdasarkan jarak *Euclidean*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini menghasilkan korelasi yang tinggi antara data hasil disagregasi dan data observasi, misalnya suhu udara dengan koefisien korelasi mencapai 0,99. Dengan demikian, penggunaan *Euclidean Distance* dianggap sesuai untuk penelitian yang bertujuan menilai tingkat kesamaan antara dua kumpulan data, seperti antara data hasil pengukuran langsung dan data reanalisis iklim, karena mampu merepresentasikan hubungan geometris antar variabel secara objektif dan efisien.

Menurut Hubbard et al. (2025), *Euclidean Distance* diterapkan dalam paket R “*Euclimatch*” sebagai algoritma utama untuk menghitung tingkat kemiripan iklim antara dua wilayah berdasarkan parameter klimatologis seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan. Proses perhitungannya dilakukan dengan mengukur jarak geometris antara data iklim pada suatu wilayah sumber dan wilayah target untuk menentukan tingkat kesesuaian iklim di antara keduanya.

1.3.6 Internet of Things (IoT)

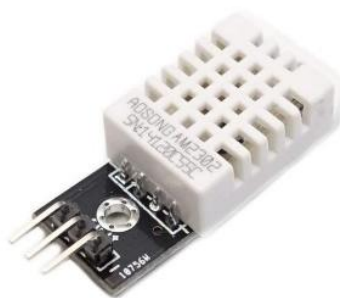
Internet of Things (IoT) merupakan sistem terintegrasi yang menghubungkan berbagai perangkat cerdas melalui jaringan sensor nirkabel, *big data*, dan *cloud computing*. Menurut studi yang dilakukan oleh Cisco, jumlah perangkat yang saling terhubung di dunia bahkan telah melampaui populasi manusia. Perkembangan teknologi IoT telah merevolusi masyarakat tradisional menuju era baru informasi dan interkoneksi. Awalnya, konsep IoT dikembangkan dari teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*) yang digunakan untuk sistem tertanam dan pemantauan objek fisik demi meningkatkan efisiensi serta efektivitas proses. Selain itu, penerapan IoT juga memungkinkan pemantauan secara *real-time* terhadap berbagai aktivitas atau sistem fisik melalui bantuan sensor dan perangkat nirkabel. Hal ini menciptakan peluang besar untuk pengumpulan data lingkungan, pengambilan keputusan yang lebih cepat, serta efisiensi dalam berbagai bidang, termasuk pengendalian suhu, kelembapan, dan sistem otomatisasi (Khan, 2022).

Konsep *Internet of Things* (IoT) pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sederhana, yaitu menghubungkan objek fisik dengan sistem digital melalui tiga elemen utama dalam arsitekturnya: perangkat fisik yang dilengkapi modul IoT, media konektivitas seperti modem dan router nirkabel, serta pusat data (*cloud data center*) yang berfungsi untuk menyimpan aplikasi dan basis data. Secara prinsip, setiap benda nyata diberikan identitas unik agar dapat dikenali dan direpresentasikan dalam bentuk data oleh sistem komputer. Pada tahap awal penerapannya, proses identifikasi dilakukan dengan teknologi seperti kode batang (*barcode*), kode QR (*Quick Response code*), dan *Radio Frequency Identification* (RFID). Seiring perkembangan teknologi, setiap benda kini dapat diberi pengenal berupa alamat IP (*IP address*), sehingga memungkinkan komunikasi antarperangkat melalui jaringan internet. Cara kerja IoT melibatkan serangkaian instruksi pemrograman yang memungkinkan interaksi otomatis antarperangkat tanpa campur tangan manusia,

baik dalam jarak dekat maupun jauh. Internet berperan sebagai penghubung utama dalam sistem tersebut, sementara manusia berfungsi sebagai pengendali dan pengawas terhadap operasional perangkat yang saling terhubung secara digital (Efendi, 2018).

1.3.7 Sensor DHT22 untuk Pengukuran Suhu dan Kelembapan

DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif udara. Sensor ini bekerja menggunakan komponen kapasitor untuk mendeteksi kelembapan dan termistor untuk mengukur suhu lingkungan. Output dari pengukuran ini dikirimkan dalam bentuk sinyal digital melalui satu pin data, sehingga memudahkan proses akuisisi data oleh mikrokontroler (Puspasari et al., 2020). Sensor DHT22 dikenal memiliki beberapa keunggulan, antara lain kecepatan respons yang tinggi, akurasi pengukuran yang baik, bentuk fisik yang minimalis, serta harga yang relatif terjangkau. Oleh karena itu, sensor ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT), terutama untuk pemantauan suhu dan kelembapan lingkungan.



Gambar 1. Sensor DHT22

Sensor DHT22 bekerja berdasarkan prinsip resistansi termistor dan higroskopik. Sensor suhu DHT22 memiliki termistor yang sensitif terhadap perubahan suhu, sedangkan sensor kelembapan menggunakan bahan higroskopik untuk mengukur kelembapan udara. Ketika sensor diaktifkan, DHT22 akan mengumpulkan data suhu dan kelembapan secara bersamaan dan mengirimkan data tersebut dalam format digital melalui protokol khusus (Yulanda, 2023). Berbagai penelitian telah mengimplementasikan DHT22, antara lain dalam pengukuran suhu dan kelembapan untuk pertumbuhan tanaman, sistem pengontrol kecepatan kipas otomatis, serta sistem pengendalian suhu dan kelembapan dalam ruangan berbasis mikrokontroler ATmega16U2. Selain itu, DHT22 juga telah digunakan dalam sistem rumah kaca, sistem kontrol dan monitoring berbasis mikrokontroler, serta pada aplikasi jaringan sensor nirkabel untuk pemantauan lingkungan. Sensor DHT22 adalah komponen yang sering digunakan dalam aplikasi pemantauan lingkungan, termasuk pertanian, karena kemampuannya untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi yang baik (Yonatan et al., 2025).

1.3.8 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi *WiFi* 802.11 b/g/n, *Bluetooth* versi 4.2, dan berbagai peripheral. ESP32 adalah *chip* yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke WI-FI secara langsung (Wagyaana., 2019).



Gambar 2. Mikrokontroler ESP32

Adapun spesifikasi dari ESP32 adalah, *board* ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label dibagian atas *board* sehingga mudah untuk dikenali. *Board* ini memiliki *interface* USB to UART yang mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya *board* bisa diberikan melalui konektor *micro* USB (Nizam Et al., 2022).

1.3.9 Platform Pemrograman Arduino IDE

IDE adalah singkatan dari *Integrated Development Environment*, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui *software* inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang ditanamkan melalui sintaks pemrograman. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Bahasa pemrograman Arduino (*Sketch*) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Terdapat *Bootlader* yang berfungsi sebagai penengah antara *compiler* Arduino dengan mikrokontroler. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan *library* C/C++ yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari *software processing* yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino (Salahuddin et al., 2022).



Gambar 3. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke papan mikrokontroler seperti Arduino maupun ESP32. *Software* ini berfungsi untuk menulis, mengedit, serta mengunggah kode program ke board yang ditentukan. Arduino IDE dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Java dan dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*) yang memudahkan proses input dan output. *Software* ini dapat memodelkan sifat dari parameter rangkaian analog dan digital. Kemampuan yang disediakan Arduino Ide adalah dapat memodelkan berbagai rancangan rangkaian, menguji suatu rangkaian dengan berbagai kemungkinan komponen, memeriksa sifat dari keseluruhan rangkaian dengan melakukan analisis AC / DC atau transient (Kamal et al., 2023).

1.3.10 Platform Pemantauan Data ThingSpeak

Platform Thingspeak merupakan sarana atau tempat yang sifatnya open untuk digunakan dalam mengembangkan aplikasi *Internet of things*, selain karena *open source*, Thingspeak juga relatif mudah untuk dilakukan konfigurasi (Ekayana, 2019). Thingspeak adalah layanan platform analitik IoT yang memungkinkan seorang pengguna untuk mengumpulkan, memvisualisasikan, dan menganalisis aliran data langsung di *cloud* (Weng et al., 2020).



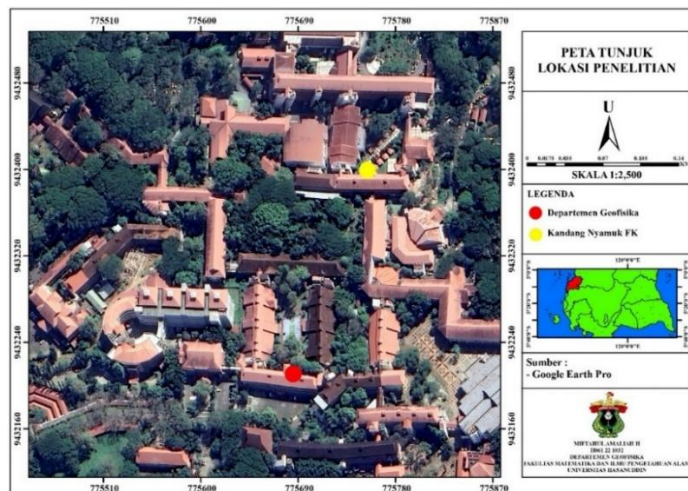
Gambar 4. ThingSpeak

Thingspeak digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan data *cloud*. Thingspeak dapat menerima data yang dikirimkan dari *hardware* seperti Arduino, *Raspberry Pi*, *BeagleBone Black*, dan *hardware* lainnya. Untuk dapat mengirimkan dan menyimpan data pada Thingspeak, *user* perlu membuat akun dan membuat *channel* pada akun tersebut. Setelah membuat *channel* pada Thingspeak, akan diberikan API key yang akan diakses untuk mengirimkan, menyimpan, dan menampilkan data dari sensor menggunakan program mikrokontroler (Violi et al., 2023).

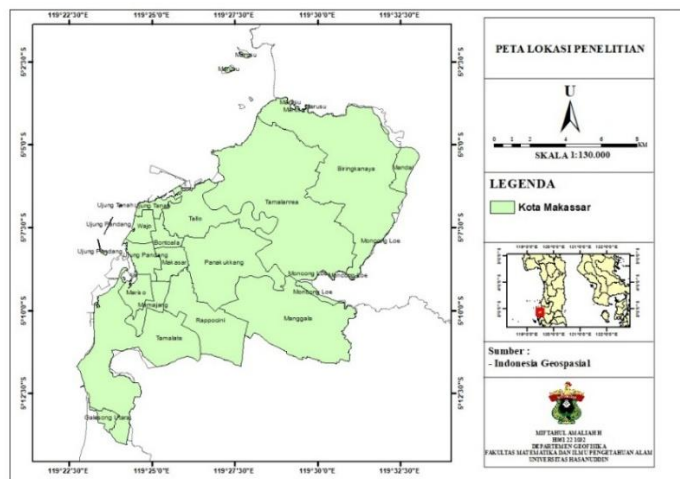
BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Oktober 2025 yang bertempat di Departemen Geofisika dan Lab Zoonotik, Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin. Secara Geografis, Departemen Geofisika berada pada $5^{\circ}07'55.09''$ S dan $119^{\circ}29'11.64''$ E, sedangkan Lab Zoonotik Fakultas Kedokteran berada pada $5^{\circ}07'49.33''$ S dan $119^{\circ}29'14.21''$ E. Wilayah studi kasus dalam penelitian ini adalah Kota Makassar yang berada pada $5^{\circ}8'6''$ Lintang Selatan dan $119^{\circ}24'17''$ Bujur Timur. Kedua lokasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Lokasi pengambilan data lapangan, dan (b) peta wilayah studi kasus yang meliputi Kota Makassar

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat keras terdiri atas:
 - a. Laptop berfungsi sebagai alat untuk menjalankan program dari visualisasi data.
 - b. Sensor DHT22 sebagai sensor yang mengukur nilai suhu dan kelembapan.
 - c. Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mengontrol dan mengolah data masukan pada sensor.
 - d. *Power supply*, dalam hal ini *powerbank*, berfungsi sebagai penyuplai tegangan pada komponen sistem
 - e. *Automatic Weather System (AWS)* berfungsi sebagai alat pembanding terhadap data hasil pembacaan sensor.
 - f. Kabel jumper berfungsi untuk menghubungkan tiap komponen.
 - g. *Breadboard* berfungsi untuk menghubungkan komponen yang telah di rangkai.
 - h. Kabel *Universal Serial Bus (USB)* berfungsi untuk menghubungkan mikrokontroler ke *power supply*.
2. Perangkat lunak terdiri atas:
 - a. *Fritzing, software* yang digunakan untuk merancang skematik komponen elektronika.
 - b. Arduino IDE, berfungsi sebagai *software* yang digunakan untuk membuat *sketch* pemograman.
 - c. *ThingSpeak*, berfungsi sebagai *software* yang digunakan untuk memantau dan memvisualisasikan data secara *real-time*.
 - d. *HOBOWare* digunakan untuk mengelola dan mengeksport data saat menggunakan AWS
 - e. *Microsoft Excel* untuk mengolah data

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data perekaman suhu dan kelembapan diperoleh selama 7 hari di Lab Zoonotik, Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin.
2. Data reanalisis suhu dan kelembapan berasal dari NASA untuk wilayah Kota Makassar, dengan rentang waktu selama 24 tahun, yaitu dari tahun 2000 hingga 2024.
3. Data kalibrasi antara sensor dan alat pembanding dalam hal ini adalah *Automatic Weather System (AWS)*, dilakukan selama 5 menit dan bertempat di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

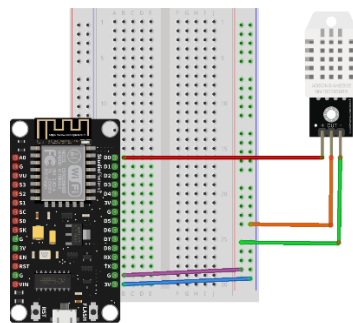
2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi dari jurnal ilmiah, dan buku yang relevan dengan topik penelitian. Fokus kajian meliputi teori suhu, kelembapan dan keterkaitan antara meteorologi dengan kesehatan, karakteristik penyakit *dengue*, serta teknologi *Internet of Things* (IoT) yang melibatkan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, Arduino IDE, dan platform ThingSpeak. Selain itu, ditelaah pula penelitian-penelitian terdahulu yang membahas hubungan suhu dan kelembapan terhadap perkembangan nyamuk *Aedes aegypti* serta metode analisis *Euclidean Distance*. Studi literatur ini menjadi dasar dalam menentukan rancangan sistem, pemilihan perangkat, serta metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini.

2.3.2 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Pada tahap ini, dirancang sebuah sistem yang mampu merekam data suhu dan kelembapan secara akurat. Skema perancangan sistem pemantauan tersebut disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Rangkaian sensor DHT22 dengan NodeMCU ESP32 pada *breadboard*

Komponen yang digunakan yaitu sensor DHT22 yang mendeteksi suhu dan kelembapan. Data dari dua parameter tersebut direkam dan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama sistem. Pada rangkaian ini, pin VCC sensor DHT22 dihubungkan ke pin 3V3 ESP32 untuk memberikan suplai daya. Pin GND sensor dihubungkan ke pin GND ESP32 sebagai jalur *ground*. Pin DATA sensor dihubungkan ke pin (GPIO 23) pada ESP32 sebagai jalur transmisi data. Seluruh komponen ditempatkan pada *breadboard* agar memudahkan proses perakitan dan pengujian. Konfigurasi ini memungkinkan ESP32 membaca data dari sensor DHT22 dan selanjutnya dapat diproses atau dikirim ke platform *cloud* ThingSpeak untuk pemantauan secara *real-time*.

2.3.3 Kalibrasi Alat IoT

Setelah proses perakitan sistem IoT selesai, dilakukan tahap kalibrasi untuk memastikan bahwa sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi dan presisi yang memadai sebelum diterapkan di lapangan. Kalibrasi kami jadikan sebagai acuan untuk menjamin keandalan data yang dihasilkan oleh sistem, terutama karena data tersebut akan digunakan dalam analisis ilmiah. Dalam penelitian ini, proses kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 dengan data yang diperoleh dari *Automatic Weather System (AWS)*. Pengukuran dilakukan secara bersamaan pada lokasi dan waktu yang sama selama kurang lebih 5 menit untuk memastikan kondisi lingkungan relatif konstan.



Gambar 7. Proses Kalibrasi Alat

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa sensor DHT22 memberikan nilai suhu dan kelembapan yang relatif konsisten dengan data yang direkam oleh AWS dengan selisih yang cukup kecil, berdasarkan hasil kalibrasi tersebut, sensor dapat dinyatakan layak untuk digunakan dalam pengambilan data lapangan. Dengan demikian, proses kalibrasi ini memastikan bahwa sistem IoT telah berfungsi dengan baik dan siap untuk digunakan pada tahap penelitian selanjutnya.

2.3.4 Pemasangan dan Perekaman Data Lapangan

Setelah proses kalibrasi selesai dan alat dinyatakan layak digunakan, tahap berikutnya adalah pemasangan alat di lokasi penelitian. Pemasangan dilakukan di Lab Zoonotik Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, yang berfungsi sebagai lokasi pengamatan utama karena memiliki kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas perkembangan nyamuk *Aedes aegypti*. Alat ditempatkan pada titik yang dianggap representatif untuk merekam kondisi suhu dan kelembapan udara di sekitar area perkembangbiakan nyamuk seperti ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Proses pemasangan alat

Perekaman data dilakukan selama 7 hari, yaitu mulai tanggal 6 hingga 13 Oktober 2025 dengan interval pencatatan setiap satu jam. Menurut Polo dan Rivera (2024), penting untuk dipahami bahwa siklus biologis nyamuk *Aedes aegypti* berlangsung selama kurang lebih 7-10 hari. Dengan demikian, periode pengamatan selama tujuh hari dalam penelitian ini dapat dianggap cukup representatif untuk menggambarkan kondisi lingkungan mikro yang memengaruhi aktivitas dan perkembangan nyamuk di kandang. Sistem IoT yang telah dirancang mampu mengirimkan data suhu dan kelembapan secara otomatis dan *real-time* ke platform ThingSpeak, sehingga dapat dilakukan pemantauan perubahan parameter lingkungan secara langsung tanpa harus berada di lokasi. Data yang terekam kemudian diunduh dan disimpan dalam format CSV yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut.

2.3.5 Pengumpulan Data Reanalisis

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data reanalisis suhu dan kelembapan udara yang diperoleh dari basis data NASA POWER Data Access Viewer <https://power.larc.nasa.gov/> dengan rentang waktu selama 24 tahun, yaitu dari 2000 hingga 2024 dengan resolusi temporal bulanan dan tahunan pada resolusi spasial asli (*native resolution*). Lokasi pengambilan data berada pada koordinat 5,1394° LS dan 119,4249° BT, yang merepresentasikan wilayah Kota Makassar. Ketinggian lokasi diperoleh dari dataset MERRA-2, dengan nilai rata-rata 100,99 meter untuk grid berukuran 0,5° × 0,625° lintang–bujur. MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* versi 2) merupakan data reanalisis atmosfer yang dikembangkan oleh NASA melalui *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO). Data ini menggabungkan berbagai hasil observasi atmosfer dengan model numerik untuk menghasilkan informasi iklim dan cuaca yang konsisten dalam jangka

panjang. Dibandingkan dengan MERRA sebelumnya, MERRA-2 menggunakan lebih banyak jenis data observasi dan model yang telah diperbarui, sehingga mampu mengurangi bias dan ketidakkonsistenan data. MERRA-2 juga memiliki representasi yang lebih baik terhadap aerosol, ozon, proses stratosfer, dan kriosfer, sehingga lebih andal untuk analisis iklim (Gelaro et al., 2017). Data reanalisis tahunan dari periode 2000-2024 diolah dengan menghitung nilai rata-rata parameter suhu dan kelembapan. Nilai-nilai tersebut diperoleh dengan mengelompokkan data berdasarkan bulan yang sama pada setiap tahun, sehingga dihasilkan 12 nilai yang mewakili kondisi rata-rata, masing-masing parameter sepanjang periode pengamatan. Hasil dari pengolahan data reanalisis ini kemudian dibandingkan dengan data hasil perekaman sensor IoT yang dilakukan di Lab Zoonotik, Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk menentukan bulan yang memiliki kondisi suhu dan kelembapan paling mendekati atau paling sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan, yang mencerminkan lingkungan aktual tempat *Aedes aegypti* berkembang biak.

2.3.6 Normalisasi Data

Normalisasi data merupakan tahap pra-pemrosesan penting yang bertujuan untuk menyamakan skala antar fitur agar setiap variabel memiliki pengaruh yang seimbang dalam proses analisis maupun pemodelan. Salah satu metode normalisasi yang umum digunakan adalah *Min–Max Scaling*, yaitu teknik penskalaan nilai data ke dalam rentang tertentu (biasanya [0, 1]) untuk mempertahankan hubungan relatif antar fitur. Metode ini dinyatakan dengan persamaan (Kim et al., 2025):

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (3)$$

dengan:

- x adalah nilai asli,
- x' adalah nilai hasil normalisasi,
- $\min(x)$ dan $\max(x)$ berturut-turut merupakan nilai minimum dan maksimum dari fitur yang dinormalisasi,
- sedangkan $\min_n$ dan $\max_n$ adalah batas bawah dan atas rentang skala baru.

Teknik *Min–Max normalization* digunakan untuk menjaga proporsi antar fitur sehingga setiap variabel memiliki kontribusi yang setara dalam proses pembelajaran model. Pendekatan ini juga membantu meningkatkan stabilitas dan kecepatan konvergensi algoritma pembelajaran mesin. Menurut penelitian oleh Kim et al. (2025)

penerapan metode Min–Max normalization mampu meningkatkan akurasi model *Long Short-Term Memory (LSTM)* dalam memprediksi konsumsi listrik gedung, dengan nilai *Coefficient of Variation of Root Mean Square Error (CVRMSE)* sebesar 10,3% dan *Normalized Mean Bias Error (NMBE)* sebesar 0,6%. Selain itu, Ali (2022) juga menjelaskan bahwa normalisasi *Min–Max* efektif dalam menyetarakan bobot berbagai fitur agar memberikan pengaruh yang seimbang pada proses pengambilan keputusan dalam analisis data dan pembelajaran mesin.

2.3.7 Perhitungan Nilai *Euclidean Distance*

Setelah seluruh data melalui proses normalisasi, tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *Euclidean Distance*. Menurut Nishom (2019), *Euclidean Distance* digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan jarak antara data dengan rumus *Euclidean* (Nishom 2019). Rumus ini memungkinkan untuk menilai seberapa besar perbedaan antara data IoT dengan data reanalisis, sehingga dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesesuaian pola antara kedua sumber data tersebut. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *Euclidean Distance* dapat dilihat pada Persamaan (2).