

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meteorologi merupakan cabang dari ilmu atmosfer yang berfokus pada studi tentang berbagai proses dan fenomena yang terjadi di atmosfer Bumi. Disiplin ini mencakup pengkajian terhadap unsur-unsur atmosfer seperti suhu, tekanan udara, kelembapan, curah hujan, dan angin, serta interaksi antarvariabel tersebut dalam ruang dan waktu (Skok, 2023). Pemahaman yang mendalam mengenai kondisi atmosfer menjadi dasar penting dalam menganalisis fenomena cuaca dan iklim, baik dalam skala lokal maupun global. Seiring dengan kemajuan teknologi, meteorologi telah berkembang menjadi bidang yang mampu menyediakan informasi cuaca yang akurat melalui sistem pemantauan dan prediksi. Informasi ini sangat penting tidak hanya untuk sektor transportasi dan pertanian, tetapi juga memiliki kontribusi besar dalam sektor kesehatan masyarakat. Salah satu bentuk nyata dari hubungan antara kondisi atmosfer dan kesehatan adalah pada penyebaran penyakit yang sensitif terhadap iklim, seperti Demam Berdarah *Dengue* (DBD), yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* (Yenew et al., 2025).

Di Indonesia, DBD masih menjadi salah satu permasalahan kesehatan masyarakat yang serius. Penyakit ini tidak hanya mengalami peningkatan jumlah kasus dari tahun ke tahun, tetapi juga meluas secara geografis, terutama di wilayah tropis dan subtropis. Selama dua dekade terakhir, Asia Tenggara mengalami peningkatan insidensi DBD yang cukup tajam, termasuk di Indonesia. Menurut Herdianti (2017), jumlah penderita DBD di Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat setiap tahunnya, dan cakupan wilayah penyebarannya juga semakin luas. Hasil penelitian oleh Zebua et al. (2023) menunjukkan dinamika epidemiologi DBD di Indonesia dalam lima tahun terakhir, dengan proporsi kasus masing-masing sebesar 26,10% (2017), 24,75% (2018), 51,53% (2019), 40,0% (2020), dan 27,0% (2021). Hal ini menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan dalam jumlah kasus tahunan yang berpotensi dipengaruhi oleh faktor meteorologis dan lingkungan.

Berdasarkan data dari Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan hingga April 2024 telah tercatat sebanyak 1.620 kasus DBD yang tersebar di 24 kabupaten/kota (TvOnenews, 2024). Salah satu wilayah yang mengalami lonjakan signifikan adalah Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap). Selama periode Januari hingga Juli 2024 kasus DBD di bumi Nene' Mallomo itu sudah hampir tembus 300 kasus, tercatat bahwa Puskesmas Pangkajene merawat 77 pasien, diikuti oleh Puskesmas Amparita sebanyak 71 pasien, Puskesmas Bilokka sebanyak 57 pasien, Lawawoi 43 pasien, Empage 16 pasien, Rappang 11 pasien, Belawae 10 pasien, Baranti 6 pasien, Lancirang 4 pasien dan Puskesmas Manisa 2 pasien (Tribun Makassar. 2024). Hal ini menjadikan Sidrap sebagai salah satu daerah dengan jumlah kasus DBD tertinggi di Sulawesi Selatan pada tahun 2024.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kesesuaian antara kondisi meteorologi regional dan kondisi mikroklimat habitat perkembangbiakan nyamuk

Aedes aegypti di Kabupaten Sidrap. Data mikroklimat diperoleh melalui pengukuran suhu dan kelembapan berbasis sensor di lingkungan habitat nyamuk, sedangkan data meteorologi regional diperoleh dari platform reanalisis NASA-POWER yang merepresentasikan kondisi iklim skala regional. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara kedua sumber data tersebut untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian kondisi mikroklimat lokal (mikroskala) dengan kondisi iklim regional (makroskala). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi periode waktu yang paling sesuai bagi perkembangan dan perkembangbiakan *Aedes aegypti* berdasarkan variasi suhu dan kelembapan pada skala mikro dan regional. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara variabel meteorologi dan potensi risiko penyebaran penyakit DBD di Kabupaten Sidrap.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan kesesuaian antara kondisi meteorologi di Kabupaten Sidrap dengan kesesuaian kondisi mikroklimat habitat perkembangbiakan nyamuk sebagai vektor *dengue*.
2. Mengidentifikasi periode waktu yang paling sesuai bagi perkembangan dan perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan dari lingkungan mikro serta data meteorologi regional di Kabupaten Sidrap.

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu geofisika dan meteorologi lingkungan melalui penerapan data IoT dan reanalisis iklim untuk kajian hubungan iklim dan vektor penyakit.
2. Mendukung upaya pengendalian DBD dengan menyediakan informasi kondisi iklim yang paling mendukung perkembangbiakan *Aedes aegypti* sebagai dasar tindakan pencegahan.
3. Meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pengaruh iklim terhadap penyebaran DBD serta mendorong partisipasi dalam menjaga kebersihan lingkungan pada periode berisiko tinggi.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Karakteristik Iklim Kabupaten Sidrap

Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap) merupakan salah satu wilayah di Provinsi Sulawesi Selatan yang terletak pada koordinat 3°43'–4°09' LS dan 119°04'–120°01' BT. Wilayah ini memiliki topografi yang bervariasi, mulai dari dataran rendah (± 10 mdpl) hingga daerah pegunungan (> 1.500 mdpl) yang merupakan bagian dari Pegunungan Latimojong di bagian utara dan timur (DPMPTSP Sulsel, 2023). Kondisi topografi yang

beragam ini menyebabkan perbedaan mikroklimat antarkecamatan, terutama dalam hal suhu udara dan kelembapan udara (BPS Kabupaten Sidenreng Rappang, 2025).

Menurut klasifikasi Schmidt–Fergusson, iklim di Kabupaten Sidenreng Rappang terbagi menjadi tiga tipe, yaitu tipe C (agak basah), tipe D (sedang), dan tipe E (agak kering). Tipe iklim ini ditentukan berdasarkan rasio antara jumlah bulan basah (curah hujan >100 mm) dan bulan kering (curah hujan ≤ 100 mm). Tipe C umumnya berada di bagian timur dan utara (seperti Kecamatan Pitu Riase), tipe D mendominasi wilayah tengah (Watang Sidenreng, Maritengngae, Panca Rijang), sedangkan tipe E banyak ditemukan di bagian barat dan selatan (Baranti, Tellu Limpoe, dan Panca Lautang) (Bappelitbangda Sidrap, 2023). Klasifikasi iklim Schmidt–Fergusson (1951) secara luas digunakan di Indonesia untuk menentukan tipe iklim berdasarkan perbandingan antara jumlah bulan basah dan bulan kering. Metode ini dianggap sesuai untuk wilayah tropis seperti Indonesia karena memperhatikan variasi hujan musiman yang menjadi penentu utama karakteristik iklim regional (BMKG, 2020).

1.3.2 Suhu

Suhu merupakan besaran fisik yang menunjukkan derajat panas atau dingin suatu sistem, yang secara mikroskopis merepresentasikan energi kinetik rata-rata partikel penyusunnya. Dalam ilmu termodinamika, suhu berperan penting dalam menentukan arah perpindahan panas dan keseimbangan energi antara dua sistem yang berinteraksi. Secara praktis, suhu diukur menggunakan instrumen seperti termometer yang telah dikalibrasi pada skala tertentu, misalnya Celsius, Fahrenheit, atau Kelvin (Bormashenko, 2020). Selain sebagai parameter fisik, suhu juga memiliki peranan penting dalam ekosistem biologis, termasuk memengaruhi metabolisme, perkembangan siklus hidup, perilaku mencari makan, serta daya tahan hidup organisme, khususnya serangga vektor penyakit. Perubahan suhu lingkungan dapat memengaruhi proses fisiologis organisme tersebut, sehingga berdampak pada dinamika penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor (Damtew et al., 2023).

Salah satu penyakit tular vektor yang sangat dipengaruhi oleh suhu adalah *dengue*, yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Suhu lingkungan memengaruhi baik nyamuk sebagai vektor maupun virus *dengue* yang dibawanya. Peningkatan suhu dapat mempercepat perkembangan nyamuk dari fase larva menjadi dewasa, meningkatkan frekuensi menggigit (*biting rate*), serta memperpendek masa inkubasi ekstrinsik (*extrinsic incubation period*/EIP) virus di dalam tubuh nyamuk, sehingga nyamuk lebih cepat menjadi infeksius dan mampu menularkan virus dalam waktu yang lebih singkat (Naish et al., 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Trejo et al. (2023) menunjukkan bahwa perubahan suhu lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap risiko penularan *dengue*, dengan pola hubungan berbentuk U-terbalik (*inverted U-shape*). Risiko penularan tertinggi umumnya terjadi pada kisaran suhu 27–31°C, di mana kondisi tersebut mendukung kelangsungan hidup nyamuk, meningkatkan frekuensi menggigit, dan memperpendek masa inkubasi ekstrinsik virus *dengue*. Ketika suhu meningkat melebihi 31°C, umur nyamuk menurun drastis sehingga sebagian besar mati sebelum

sempat menjadi infeksi. Kondisi ini menyebabkan penurunan penyebaran penyakit, bahkan pada suhu ekstrem seperti 35°C, penularan *dengue* hampir tidak terjadi.

Hasil meta-analisis global yang dilakukan oleh Damtew et al. (2023) mengungkapkan bahwa setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas ambang optimal dapat meningkatkan risiko infeksi *dengue* hingga 13%, terutama di wilayah beriklim tropis monsun dan subtropis lembap. Efek suhu terhadap penularan *dengue* akan semakin kuat apabila disertai kelembapan tinggi (>70%), karena kondisi ini dapat memperpanjang umur nyamuk dewasa dan meningkatkan peluang transmisi virus (Xu et al., 2024).

1.3.3 Kelembapan Relatif

Kelembapan relatif merupakan salah satu faktor iklim yang berpengaruh signifikan terhadap dinamika penularan *dengue*. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kelembapan dapat menjadi prediktor penting dalam memproyeksikan kejadian wabah *dengue*, khususnya di wilayah tropis. Studi terbaru di Indonesia mengidentifikasi kelembapan relatif sebagai faktor prediktor paling berpengaruh terhadap terjadinya wabah *dengue*, dengan jeda waktu (*lag time*) sekitar 3–4 bulan sebelum puncak kasus terjadi. Kondisi kelembapan rendah pada bulan September dan Oktober umumnya diikuti oleh peningkatan kasus *dengue* pada awal tahun berikutnya. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan pola kelembapan akibat variabilitas iklim dan perubahan iklim global berpotensi menggeser periode puncak musiman *dengue* (Bhatia et al., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Xu et al. (2019) di Filipina menunjukkan bahwa kelembapan relatif merupakan faktor iklim utama yang berhubungan dengan terjadinya puncak musiman kedua kasus *dengue*. Hasil analisis *logistic regression* menunjukkan bahwa kelembapan relatif yang tinggi, khususnya di atas ambang 77%, secara signifikan meningkatkan peluang terjadinya puncak musiman kedua, dengan *odds ratio* sebesar 1,144 (95% CI: 1,023–1,279). Temuan ini menegaskan bahwa kelembapan tinggi berperan penting dalam memperpanjang umur nyamuk vektor dan mendukung siklus transmisi virus *dengue*, sehingga memicu peningkatan kasus pada periode tertentu dalam setahun.

Sementara itu, Campbell et al. (2015) melaporkan bahwa kelembapan relatif yang tinggi, khususnya di kisaran >70%–80%, memiliki kaitan erat dengan peningkatan insiden kumulatif *dengue* apabila terjadi bersamaan dengan suhu rata-rata di atas 25°C. Risiko dan besaran epidemi *dengue* meningkat secara signifikan ketika kelembapan relatif >80% bertahan selama lebih dari enam minggu per tahun, atau kelembapan >75% berlangsung selama lebih dari sembilan belas minggu per tahun. Kombinasi kelembapan tinggi dan suhu optimal tersebut menciptakan kondisi lingkungan yang sangat mendukung kelangsungan hidup nyamuk vektor, mempercepat siklus penularan virus, dan pada akhirnya memicu terjadinya epidemi *dengue* berskala besar.

1.3.4 Demam Berdarah *Dengue*

Demam Berdarah *Dengue* merupakan salah satu penyakit tular vektor yang paling cepat menyebar di dunia dan menjadi masalah kesehatan utama, terutama di wilayah tropis dan subtropis (Nuraini et al., 2021). Penyakit ini disebabkan oleh virus *dengue* yang

ditularkan melalui gigitan nyamuk betina *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. *Dengue* termasuk dalam kategori penyakit menular yang memiliki potensi serius terhadap kesehatan masyarakat karena dapat menyebabkan komplikasi berat hingga kematian. Dalam beberapa dekade terakhir, kejadian demam berdarah *dengue* (DBD) mengalami peningkatan hingga 30 kali lipat di seluruh dunia, dengan perkiraan sekitar 50 juta kasus infeksi terjadi setiap tahun, serta $\pm 2,5$ miliar penduduk tinggal di daerah endemis *dengue* (Wulandari et al., 2023). Tingginya insiden, kecepatan penyebaran, konsekuensi kesehatan yang serius, dan ketiadaan pengobatan maupun vaksin yang sepenuhnya efektif menjadikan *dengue* ancaman global yang signifikan (Promprou et al., 2005 dalam Chen et al., 2022).

Vektor utama penular *dengue*, yaitu *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*, memiliki perilaku yang cenderung bersosialisasi dengan manusia dan sangat beradaptasi dengan lingkungan pemukiman. Infeksi virus *dengue* pada manusia dapat menimbulkan gejala yang bervariasi, mulai dari tanpa gejala (*asymptomatic*), gejala ringan mirip influenza, demam tinggi disertai muntah, hingga komplikasi berat seperti perdarahan (*hemorrhagic manifestations*). Pada kasus yang parah, infeksi dapat memicu kegagalan sirkulasi yang mengarah pada syok hipovolemik atau sindrom syok *dengue* yang mengancam jiwa (World Health Organisation, 2009 dalam Feng et al., 2024). Penularan *dengue* dipengaruhi oleh interaksi kompleks berbagai faktor, termasuk faktor meteorologis, hidrologis, sosial, dan variasi serotipe virus. Faktor meteorologis seperti curah hujan, suhu, dan kelembapan terbukti memiliki kaitan erat dengan dinamika wabah *dengue* (Singh et al., 2022). Perubahan iklim global juga berdampak signifikan, karena nyamuk penular *dengue* berkembang biak optimal pada lingkungan hangat dan lembap. Kenaikan suhu global, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan kejadian banjir dan genangan air menciptakan kondisi ideal bagi perkembangbiakan nyamuk. WHO telah mengakui bahwa perubahan iklim berpotensi memperluas jangkauan geografis penyebaran *dengue*, termasuk ke wilayah yang sebelumnya berisiko rendah atau bebas *dengue*, seperti beberapa bagian Asia, Eropa, Amerika Utara, dan Australia (Sajib et al., 2024; Messina et al., 2019).

1.3.5 Euclidean Distance

Euclidean Distance atau jarak *euclidean* adalah salah satu metode pengukuran jarak paling dasar dalam geometri, yang merepresentasikan jarak garis lurus (*straight-line distance*) antara dua titik dalam ruang *euclidean*. Secara matematis, *Euclidean Distance* antara dua titik x_i dan x_j dengan koordinat $(x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n})$ dan $(x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,n})$ didefinisikan sebagai (Mussabayev, 2024):

	$d(x_i, x_j) = \ x_i - x_j\ \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - x_{j,k})^2}$	(1)
--	---	-----

Formula tersebut mempresentasikan norma L_2 yang memenuhi sifat-sifat dasar sebuah *metric space*, yaitu:

1. Non-negativitas: $d(x_i, x_j) \geq 0$ untuk semua (x_i, x_j) .
2. Identitas ketakterbedaan (*identity of indiscernibles*): $d(x_i, x_j) = 0$ jika dan hanya jika $x_i = x_j$.
3. Simetri (*symmetry*): $d(x_i, x_j) = d(x_j, x_i)$.
4. Ketaksamaan segitiga (*triangle inequality*): $d(x_i, x_k) \leq d(x_i, x_j) + d(x_j, x_k)$.

Kelebihan *Euclidean Distance* terletak pada kesederhanaan perhitungannya dan interpretasi geometris yang intuitif. Namun, pada data berdimensi tinggi, metrik ini dapat kehilangan kemampuan diskriminatif akibat fenomena *curse of dimensionality*, di mana jarak antar titik cenderung seragam dan sulit dibedakan (Green et al., 2024). Untuk mengatasi keterbatasan ini, sejumlah pendekatan optimisasi telah dikembangkan, termasuk penggunaan *Squared Euclidean Distance* (menghilangkan operasi akar kuadrat untuk efisiensi), reduksi dimensi seperti PCA, serta teknik komputasi paralel dan vektorisasi untuk mempercepat proses perhitungan pada dataset besar (Mussabayev, 2024).

Menurut Wulandari et al (2021), pendekatan *Euclidean Distance* dinilai efektif karena mampu menangani data dengan karakteristik berdimensi tinggi (*high-dimensional data*) dan bersifat kontinu, yang umum dijumpai pada data meteorologi. Nilai jarak yang dihasilkan dari metode ini dapat digunakan untuk mengelompokkan data cuaca yang memiliki pola serupa, sehingga membantu mengidentifikasi tren dan anomali iklim secara kuantitatif. Dalam studi Hipel dan McLeod (1994), hasil perhitungan menunjukkan nilai *Average Forecasting Error Rate (AFER)* sebesar 0,0021 dan *Mean Square Error (MSE)* sebesar 0,0025, yang menandakan tingkat akurasi metode cukup tinggi untuk peramalan suhu global. Oleh karena itu, metode *Euclidean Distance* dapat dijadikan acuan dalam analisis kesamaan pola meteorologi, termasuk dalam penelitian berbasis data reanalisis dan pengamatan mikroklimat seperti penelitian ini.

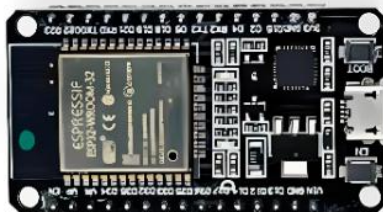
1.3.6 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan objek fisik ke dalam dunia digital melalui teknologi identifikasi seperti *Radio Frequency Identification* (RFID), *Near Field Communication* (NFC), dan barcode. Teknologi ini memungkinkan proses pengumpulan, pengiriman, dan pertukaran data secara otomatis serta *real-time* tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung (Madakam et al., 2015). IoT pada dasarnya adalah pendekatan untuk mengintegrasikan data yang diperoleh dari berbagai perangkat atau benda ke dalam sebuah *platform* virtual yang beroperasi di atas infrastruktur internet yang telah ada, sehingga memungkinkan pertukaran informasi secara otomatis antarperangkat yang dapat diidentifikasi secara unik (Farooq et al., 2015).

Perkembangan pesat dalam teknologi sensor, jejaring sosial daring, komputasi awan (*cloud computing*), serta perangkat *mobile* telah memperluas batas interaksi antara dunia fisik, dunia sosial, dan dunia digital. Integrasi ini telah mendorong pertumbuhan signifikan jumlah pengguna internet serta perangkat yang saling terhubung melalui ekosistem IoT di seluruh dunia (Bertino et al., 2016).

1.3.7 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler serbaguna yang dilengkapi prosesor dual-core dengan kemampuan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, sehingga sangat sesuai untuk berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT). Fitur ini memungkinkan pengembangan sistem monitoring lingkungan yang efisien, seperti pengukuran suhu dan kelembapan, dengan konsumsi daya rendah dan dukungan berbagai protokol komunikasi (Srivastava, 2025). Dengan kecepatan prosesor mencapai 240 MHz serta konektivitas nirkabel bawaan tanpa memerlukan modul tambahan, ESP32 memudahkan perancangan sistem pemantauan jarak jauh dan sensor nirkabel secara praktis.



Gambar 1. Mikrokontroler ESP32

Keunggulan lainnya adalah bentuk fisiknya yang kompak dan fleksibel untuk integrasi pada berbagai aplikasi, mulai dari monitoring suhu dan kelembapan hingga pengendalian otomatis pada bidang pertanian, rumah pintar (*smart home*), dan industri (Ansari et al., 2023). Dalam konteks pengembangan sistem otomatisasi, ESP32 sering digunakan pada proyek seperti pengendalian suhu dan kelembapan pada sistem *plant factory* atau ruang tertutup yang memerlukan pemantauan lingkungan secara *real-time* (Junaedi et al., 2022). Kombinasi kemampuan pemrosesan yang tinggi, konektivitas bawaan, dan konsumsi daya yang efisien menjadikan ESP32 salah satu pilihan utama dalam implementasi teknologi IoT modern.

1.3.8 Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara simultan. Sensor ini dilengkapi dengan komponen penginderaan kelembapan berbasis kapasitor dan termistor untuk pengukuran suhu, serta mampu mengirimkan data secara digital ke mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 melalui antarmuka komunikasi satu kabel (*single-bus*). DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu mulai dari -40°C hingga 80°C dan kelembapan relatif antara 0% hingga 100%, dengan tingkat akurasi yang relative tinggi (Wibawa & Putra, 2022). Keunggulan utamanya adalah kemampuannya mengukur dua parameter lingkungan sekaligus, sehingga efisien digunakan pada aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan sistem monitoring lingkungan (Siswoyo, 2025). Selain itu, DHT22 mampu beroperasi di berbagai kondisi iklim, termasuk iklim tropis, sehingga sangat cocok digunakan untuk pemantauan mikroklimat (Wardani et al., 2023).



Gambar 2. Sensor DHT22

DHT22 memiliki waktu respons yang cepat, yakni sekitar 2 detik untuk suhu dan 5 detik untuk kelembapan, sehingga mendukung pengambilan data secara *real-time*. Namun, akurasi suhu dapat sedikit menurun pada kondisi kelembapan yang sangat tinggi (>70% RH) dan sensor cukup sensitif terhadap fluktuasi kelembapan, sehingga diperlukan perlakuan khusus apabila digunakan pada lingkungan dengan kelembapan ekstrem (Siswoyo, 2025). Dibandingkan sensor sejenis, DHT22 memiliki galat relatif yang lebih kecil dan rentang pengukuran yang lebih luas, menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi pemantauan suhu dan kelembapan yang memerlukan akurasi tinggi (Mulyani & Saputra, 2022). Selain itu, sensor ini terkenal mudah digunakan, kompatibel dengan berbagai *platform* pemrograman, dan memiliki harga yang terjangkau, sehingga banyak diaplikasikan baik pada proyek-proyek sederhana maupun penelitian yang memerlukan pengukuran suhu dan kelembapan secara bersamaan.

1.3.9 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) merupakan perangkat lunak *open-source* berbasis Java dan Processing yang dirancang untuk memudahkan proses penulisan, kompilasi, serta unggahan kode (*sketch*) ke berbagai papan mikrokontroler, seperti Arduino, ESP32, dan jenis lainnya. Lingkungan pengembangan ini mendukung bahasa pemrograman C/C++ serta dilengkapi dengan fitur-fitur pendukung seperti *syntax highlighting*, *automatic indentation*, dan tombol khusus untuk proses *verify* serta *upload*. Keberadaan fitur tersebut memungkinkan perancangan dan pengujian prototipe sistem *Internet of Things* (IoT) dilakukan dengan cepat, efisien, dan mudah, bahkan bagi pengguna yang baru memulai (Fezari & Al Dahoud, 2017).



Gambar 3. Arduino IDE

Keunggulan utama Arduino IDE terletak pada kemudahan penggunaan, kompatibilitas dengan berbagai jenis papan pengembangan, serta dukungan komunitas global yang luas dalam hal pengembangan maupun pemecahan masalah

(*troubleshooting*). Selain itu, Arduino IDE menyediakan akses ke beragam *library* dan contoh kode bawaan yang memudahkan proses pemrograman, mempercepat pembuatan prototipe, dan mendukung pengembangan proyek *embedded systems* yang lebih kompleks (Prabowo & Irwanto, 2023).

1.3.10 ThingSpeak

ThingSpeak adalah sebuah *platform cloud* yang digunakan untuk memantau, menyimpan, dan mengelola data sensor secara jarak jauh (*remote monitoring*) melalui teknologi *Internet of Things* (IoT). Data dari perangkat IoT diunggah ke ThingSpeak menggunakan *Application Programming Interface* (API) yang berfungsi sebagai penghubung antara perangkat dan server *cloud* (Patil, 2024). Keunggulan utama ThingSpeak adalah kemampuannya menampilkan data secara *real-time* dalam bentuk grafik yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja melalui perangkat seperti telepon genggam atau komputer, selama terhubung dengan internet. *Platform* ini juga menyediakan fitur ekspor data ke dalam berbagai format seperti JSON, XML, dan CSV, serta menawarkan *dashboard* gratis untuk memudahkan pemantauan data secara visual (Salam & Alexander, 2023).



Gambar 4. ThingSpeak

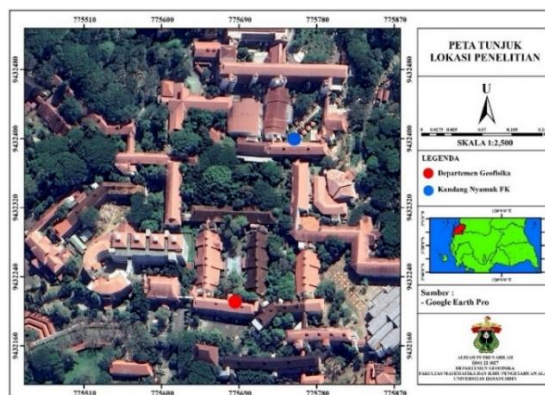
Selain fungsi utamanya sebagai media penyimpanan data, ThingSpeak juga mendukung berbagai protokol komunikasi seperti HTTP dan MQTT, yang memudahkan integrasi dengan berbagai perangkat IoT secara fleksibel dan efisien. Kemampuan ini menjadikan ThingSpeak tidak hanya sekadar sebagai repositori data, tetapi juga sebagai pusat pengolahan dan analisis yang memungkinkan pengguna untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan secara daring (*online monitoring*), serta mengimplementasikan sistem otomasi berbasis data yang diterima (Cengiz & Duman, 2022).

BAB II

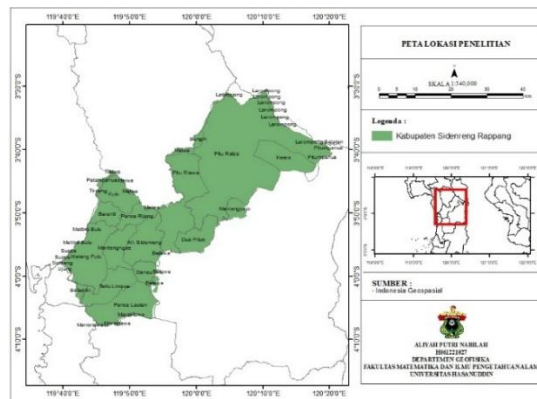
METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Oktober 2025 yang bertempat di Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Zoonotik Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin. Secara Geografis, Departemen Geofisika berada pada 5°07' 55.09" S dan 119°29' 11.64" E, sedangkan Laboratorium Zoonotik 5°07' 49.33" S dan 119°29' 14.21" E. Kedua lokasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5 (a)** Lokasi pengambilan data lapangan dan **Gambar 5 (b)** Peta wilayah studi kasus yang meliputi Kabupaten Sidrap.



(a)



(b)

Gambar 5. Peta Lokasi, (a) Lokasi Pengambilan Data, (b) Peta Wilayah Studi Kasus Yang Meliputi Kabupaten Sidrap

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. *Powebank* dalam hal ini sebagai penyuplai tegangan pada komponen
 - e. *Automatic Weather System* (AWS) berfungsi sebagai alat pembanding pada 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 mendesain 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 dalam jangka waktu 7 hari di Laboratorium Zoonotik, Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin.
2. Data reanalisis suhu dan kelembapan dari website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> Kabupaten Sidrap pada rentang waktu 24 tahun dari tahun 2000-2024.
3. Data Kalibrasi antara sensor dan alat pembanding dalam hal ini yaitu *Automatic Weather System* (AWS) dilakukan dalam rentang waktu 5 Menit yang bertempat di Departemen Geofisika, fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

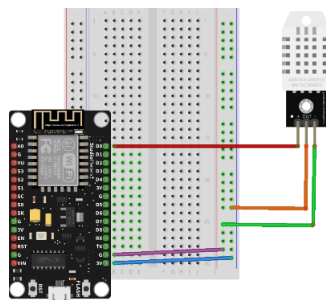
2.3 Prosedur Penelitian

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 dasar suhu, kelembapan dan keterkaitan antara meterologi 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

Perancangan dan pembuatan sistem ini mengacu pada hasil studi literatur sebelumnya yang mencakup aspek perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). 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 tahap perancangan dan pembuatan sistem selesai, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah proses kalibrasi sensor untuk menilai tingkat akurasi serta keandalan alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini. Kalibrasi merupakan tahap penting dalam penelitian berbasis pengukuran, karena bertujuan untuk memastikan bahwa sensor

mampu memberikan hasil pengamatan yang konsisten dan sesuai dengan nilai sebenarnya di lapangan. Dalam penelitian ini, proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil perekaman suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 dengan hasil pengukuran dari *Automatic Weather System* (AWS) yang berfungsi sebagai alat pembanding atau standar acuan. Pengujian dilakukan secara bersamaan di lokasi yang sama selama periode pengamatan selama 5 menit. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai suhu dan kelembapan yang direkam oleh sensor DHT22 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil dibandingkan dengan data dari AWS, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik untuk digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 7. Kalibrasi Alat IoT

2.3.4 Pemasangan dan Perekaman Data Lapangan

Tahapan pemasangan dan perekaman lapangan dilakukan untuk memperoleh data suhu dan kelembapan udara secara langsung di lokasi penelitian menggunakan sistem *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang. Proses ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kondisi mikroklimat lingkungan yang berpotensi menjadi habitat nyamuk *Aedes aegypti*. Perangkat IoT yang digunakan terdiri atas modul mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 sebagai alat pengukur suhu dan kelembapan udara. Sebelum dipasang, perangkat telah melalui proses pengujian dan kalibrasi untuk memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik serta memiliki tingkat akurasi yang memadai.



Gambar 8. Pemasangan dan perekaman alat

Pemasangan alat dilakukan di Laboratorium Zoonotik Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, alat ini di letakkan di dalam ruangan yang merupakan tempat nyamuk *aedes aegypti* di kembang biakkan, Proses perekaman data dilakukan secara

otomatis dan kontinu dengan interval pencatatan setiap satu jam, di mana hasil pengukuran suhu dan kelembapan dikirim secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi menuju *platform* ThingSpeak untuk disimpan dalam bentuk basis data daring (*cloud storage*). Data hasil perekaman kemudian diunduh secara berkala untuk dianalisis dan dibandingkan dengan data reanalisis iklim dari NASA POWER.

Penelitian ini dilakukan pengamatan selama tujuh hari untuk merekam variasi faktor iklim di sekitar Laboratorium Zoonotik. Menurut Rizki dan Supardan (2024), diketahui bahwa proses perkembangan nyamuk dari fase telur hingga dewasa umumnya berlangsung selama kurang lebih tujuh hari. Lamanya waktu perkembangan tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembapan, serta media air tempat nyamuk berkembang biak. Pemantauan ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai bagaimana perubahan suhu dan kelembapan harian berpengaruh terhadap siklus hidup nyamuk secara langsung. Selama periode perekaman, dilakukan pula pemantauan kondisi alat untuk memastikan sensor tetap berfungsi optimal dan data yang terekam tidak mengalami gangguan.

2.3.5 Pengumpulan Data Reanalisis

Selain data hasil pengukuran lapangan menggunakan sistem *Internet of Things* (IoT), penelitian ini juga memanfaatkan data reanalisis iklim sebagai sumber data sekunder. Data reanalisis digunakan untuk menyesuaikan data yang diperoleh dari alat IoT. Data reanalisis yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari NASA POWER (*Prediction of Worldwide Energy Resources*), yaitu layanan penyedia data iklim berbasis satelit dan model numerik yang dikembangkan oleh *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Data tersebut diperoleh melalui laman resmi NASA POWER Data Access Viewer <https://power.larc.nasa.gov/> dengan koordinat lokasi yang disesuaikan dengan wilayah administratif Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap), Provinsi Sulawesi Selatan.

Parameter iklim yang diunduh meliputi:

- Suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$), yang merepresentasikan kondisi termal harian di permukaan.
- Kelembapan relatif (%RH), yang menunjukkan kandungan uap air di udara.

Periode data reanalisis yang digunakan selama 24 tahun dari tahun 2000-2024. Data diunduh dalam format *Comma Separated Values* (.csv) untuk memudahkan proses pengolahan dan analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak seperti *Microsoft Excel*. Data reanalisis dari NASA POWER ini selanjutnya dibandingkan dengan data hasil pengamatan IoT melalui pendekatan statistik dan perhitungan jarak Euclidean. Hasil perbandingan tersebut memberikan gambaran mengenai tingkat kesesuaian antara suhu dan kelembapan di Kabupaten Sidrap dengan suhu dan kelembapan nyamuk *aedes aegypti* bisa berkembang biak.

Data NASA POWER yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari produk reanalisis MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications Version 2*). MERRA-2 merupakan sistem reanalisis atmosfer global yang menggabungkan observasi satelit, stasiun permukaan, radiosonde, dan berbagai instrumen meteorologi lainnya dengan model numerik atmosfer melalui teknik asimilasi

data. Pendekatan ini menghasilkan data iklim yang kontinu secara spasial dan temporal, sehingga mampu merepresentasikan kondisi atmosfer masa lalu secara konsisten meskipun pada wilayah dengan keterbatasan stasiun pengamatan, seperti daerah non-perkotaan atau pedesaan.

Dengan memanfaatkan MERRA-2, penelitian ini memperoleh keuntungan berupa cakupan data jangka panjang, konsistensi historis, serta resolusi spasial yang seragam, sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan terhadap data mikroklimat IoT. Kombinasi antara pengamatan langsung (IoT) dan data reanalisis berbasis MERRA-2 memungkinkan evaluasi kondisi iklim secara lokal sekaligus regional, sehingga analisis kesesuaian iklim terhadap potensi perkembangan *Aedes aegypti* menjadi lebih akurat, representatif, dan dapat dipercaya.

2.3.6 Normalisasi Data

Metode normalisasi data yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk menyesuaikan skala data agar seluruh variabel memiliki rentang nilai yang seragam. Data mentah umumnya memiliki perbedaan skala antar variabel, sehingga dapat memengaruhi kinerja algoritma pembelajaran mesin. Pada berbagai model dan algoritma, termasuk yang menggunakan fungsi objektif berbasis jarak, seperti *Euclidean Distance*, perbedaan skala antar variabel dapat menyebabkan hasil perhitungan menjadi tidak seimbang. Jika salah satu parameter memiliki rentang nilai yang jauh lebih besar dibandingkan parameter lainnya, maka nilai tersebut akan lebih berpengaruh terhadap hasil perhitungan jarak.

Oleh karena itu, seluruh variabel perlu dilakukan proses penskalaan (normalisasi) agar setiap fitur memiliki nilai dalam rentang yang sama. Salah satu metode yang digunakan adalah penskalaan *Min-Max* (*Min-Max Scaling*), atau sering disebut normalisasi *Min-Max*, yang merupakan metode paling sederhana dan umum digunakan. Metode ini bekerja dengan cara mengubah rentang nilai suatu variabel ke dalam skala tertentu, biasanya antara [0, 1] atau [-1, 1], tergantung pada karakteristik data yang dianalisis. Secara umum, persamaan untuk metode *Min-Max* dalam rentang [0, 1] dapat dinyatakan sebagai berikut (Borkin et al., 2019):

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

Dengan keterangan:

x' = nilai hasil normalisasi,

x = nilai asli data suhu atau kelembapan,

$x_{\min}$ = nilai minimum parameter,

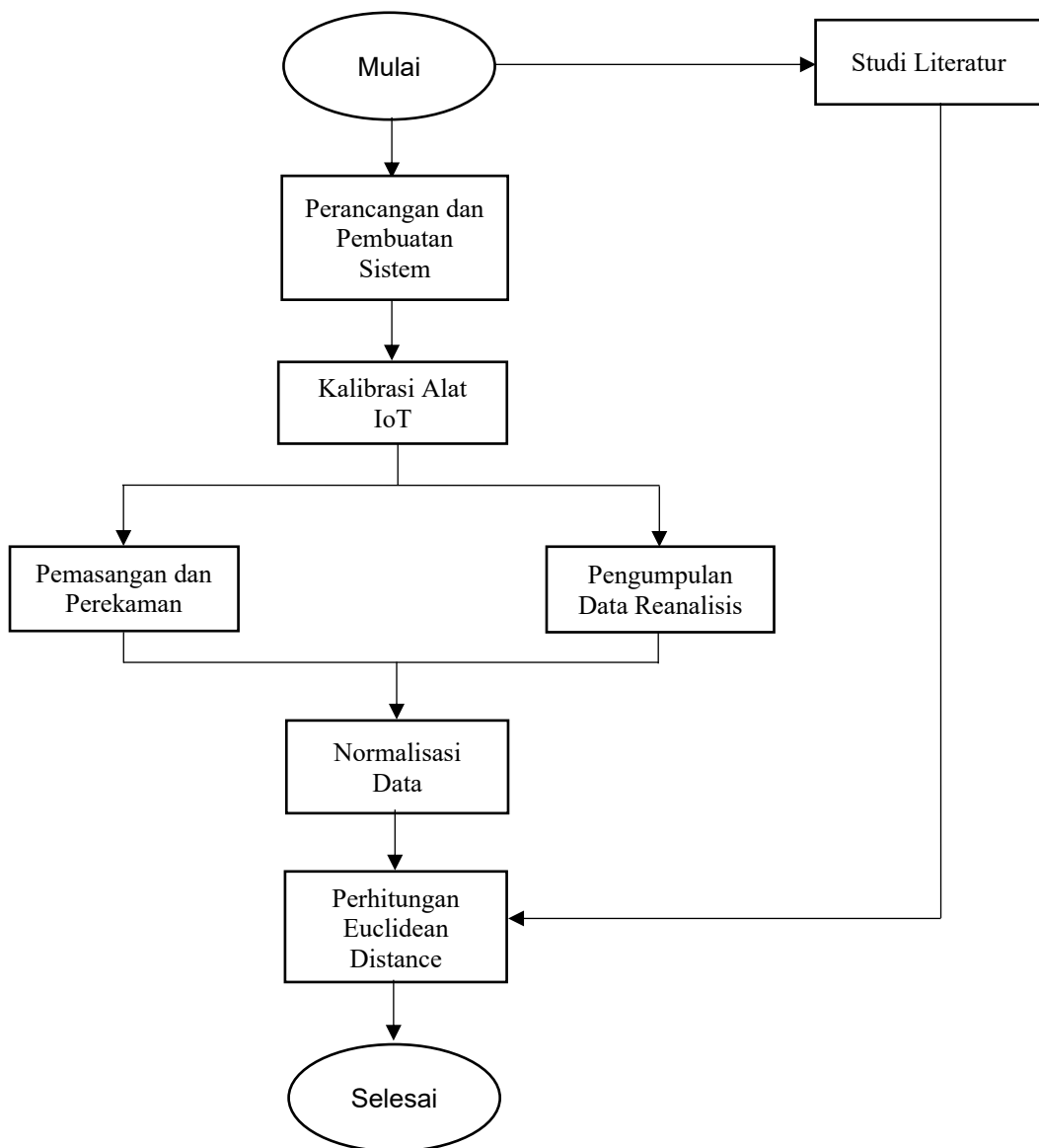
$x_{\max}$ = nilai maksimum parameter.

2.3.7 Perhitungan Jarak Euclidean

Setelah data suhu dan kelembapan dari kedua sumber (IoT dan reanalisis iklim) melalui tahap normalisasi, langkah selanjutnya adalah menghitung *Euclidean Distance* untuk menilai tingkat kesesuaian antara kedua set data tersebut. Menurut Mussabayev (2024),

Euclidean Distance merupakan salah satu metode pengukuran jarak paling mendasar dalam geometri, yang merepresentasikan jarak garis lurus (*straight-line distance*) antara dua titik dalam ruang *Euclidean*. Secara matematis, *Euclidean Distance* pada **persamaan (1)**.

2.3.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 9. Bagan Alir Penelitian