

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.2.1 Hujan

Hujan merupakan salah satu fenomena meteorologis yang terjadi ketika air dalam bentuk cair jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi. Proses terbentuknya hujan melalui tiga tahapan utama, yaitu evaporasi, kondensasi, dan presipitasi. Evaporasi terjadi ketika panas matahari menyebabkan air dari permukaan laut, sungai, danau, serta vegetasi menguap menjadi uap air. Uap air ini kemudian naik ke atmosfer dan mengalami kondensasi, yaitu proses perubahan uap air menjadi partikel air kecil atau kristal es akibat pendinginan pada ketinggian tertentu, yang kemudian membentuk awan. Ketika partikel dalam awan semakin besar dan berat, gravitasi menariknya ke bawah dalam bentuk presipitasi, yang kita kenal sebagai hujan.

Spektrum hujan adalah variasi dan sebaran dari curah hujan, dalam kasus ini, spektrum hujan didapatkan melalui variasi curah hujan yang dicari melalui data curah hujan selama 30 tahun terakhir. Sementara intensitas hujan merujuk pada jumlah air hujan yang turun dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam milimeter per jam. Sementara itu, curah hujan mengacu pada total volume air hujan yang jatuh di suatu wilayah dalam periode tertentu, seperti harian, bulanan, atau tahunan. Perbedaan intensitas dan curah hujan ini berpengaruh terhadap dampak yang ditimbulkan oleh hujan, seperti kemungkinan terjadinya banjir atau kekeringan. Curah hujan dengan intensitas tinggi dalam periode singkat berpotensi menimbulkan genangan air maupun banjir bandang, sementara curah hujan yang tinggi dalam jangka waktu yang lebih lama dapat memengaruhi keseimbangan air tanah serta kinerja sistem drainase.

Perubahan iklim telah membawa dampak yang signifikan terhadap pola hujan di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim dapat menyebabkan peningkatan intensitas hujan, pergeseran musim hujan, serta meningkatnya frekuensi kejadian hujan ekstrem. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya suhu global yang mempengaruhi siklus hidrologi, meningkatkan laju evaporasi, dan memicu ketidakstabilan

atmosfer yang menghasilkan hujan lebih lebat dalam durasi yang lebih pendek. Akibatnya, beberapa daerah mengalami curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi normal, sedangkan daerah lain mengalami musim kering yang lebih panjang.

Dalam penelitian ini, penting untuk memahami bagaimana perubahan iklim mempengaruhi distribusi intensitas, durasi, dan frekuensi hujan di wilayah tersebut. DAS Angke, sebagai bagian dari daerah perkotaan yang padat, sangat rentan terhadap dampak perubahan pola hujan, seperti banjir dan ketidakseimbangan aliran sungai. Dengan memahami perubahan spektrum hujan yang terjadi, penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi perencanaan infrastruktur, mitigasi risiko bencana, serta pengelolaan sumber daya air yang lebih adaptif terhadap kondisi iklim yang terus berubah.

Hubungan antara hujan dan curah hujan sangat erat, di mana curah hujan mencerminkan intensitas, frekuensi, dan durasi hujan yang terjadi di suatu daerah. Dalam konteks perubahan iklim, pola hujan mengalami pergeseran akibat peningkatan suhu global yang mempengaruhi siklus hidrologi, termasuk peningkatan penguapan dan perubahan distribusi curah hujan. Studi tentang perubahan spektrum hujan akibat perubahan iklim sangat penting untuk memahami bagaimana curah hujan di wilayah seperti Tangerang Selatan dapat mengalami variasi yang berpengaruh terhadap risiko banjir dan ketersediaan air

2.2.1.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu area selama periode waktu tertentu, sering kali diukur dalam milimeter (mm) atau inci. Metode pengukuran ini mencakup semua bentuk presipitasi, termasuk hujan, salju, dan embun, memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi cuaca di suatu wilayah. Data curah hujan sering digunakan dalam berbagai bidang, termasuk meteorologi, hidrologi, dan pertanian (Prasetyo, Efendi, & Muqorobin, 2024). Dengan analisis data curah hujan, para ilmuwan dan pengambil keputusan dapat meramalkan pola cuaca dan merencanakan penggunaan sumber daya air secara lebih efektif. Pengukuran curah hujan memiliki peran yang sangat penting dalam memahami dinamika iklim serta potensi bencana alam seperti banjir.

Data curah hujan sering kali mengalami kekosongan atau terputus akibat alat pengukur hujan tidak beroperasi selama rentang waktu tertentu atau kondisi penutupan sementara. Untuk melengkapi data curah hujan yang tidak tercatat pada periode tersebut, dapat digunakan data dari lokasi lain yang berdekatan dan masuk dalam jaringan pengukuran yang sama. Terdapat dua pendekatan dalam mengestimasi data hilang tersebut, kedua metode tersebut mengandalkan data curah hujan yang diperoleh dari tiga alat penakar yang terletak di sekitar lokasi data yang hilang. Posisi ketiga alat penakar ini perlu dipilih dengan memperhatikan agar jaraknya tidak terlalu jauh dan tersebar merata di sekitar titik pengukuran yang akan diestimasi. Kedua metode ini bekerja dengan menggunakan nilai rata-rata curah hujan tahunan dari ketiga stasiun penakar sebagai data input.

Dalam situasi selisih antara rata-rata curah hujan tahunan dari ketiga stasiun penakar dengan curah hujan tahunan pada alat penakar yang akan diperkirakan kurang dari 10%, dilakukan pendekatan tertentu. Sebaliknya, jika perbedaan tersebut melebihi 10%, maka pendekatan yang berbeda akan diterapkan.

Tingkat akurasi hasil estimasi data curah hujan yang hilang melalui kedua metode tersebut dapat diterima, terutama untuk wilayah dengan topografi yang homogen dimana variabilitas spasial curah hujan tidak terlalu signifikan. Namun, jika kehilangan data terjadi pada daerah pegunungan dengan tipe curah hujan konvektif, metode isohet biasanya lebih tepat digunakan. Perlu diperhatikan bahwa estimasi data hilang dianggap layak apabila data masukan dari stasiun pengukur di sekitar lokasi tersebut tersedia dalam jumlah dan durasi yang memadai. Untuk kehilangan data dalam waktu singkat, seperti beberapa hari, estimasi dilakukan dengan menganalisis pola curah hujan yang biasanya berlangsung di wilayah tersebut, kemudian dilakukan interpolasi dengan memanfaatkan data dari stasiun-stasiun pengukur di sekitar. Pendekatan ini dinilai lebih valid dibandingkan metode

yang hanya berlandaskan pada perhitungan rata-rata seperti pada kedua metode sebelumnya.

Curah hujan dan intensitas hujan memiliki hubungan yang erat dalam dinamika hidrologi dan meteorologi. Curah hujan menggambarkan akumulasi total air hujan yang jatuh di suatu wilayah dalam jangka waktu tertentu, sedangkan intensitas hujan mengacu pada laju hujan yang terjadi selama interval waktu tertentu, umumnya dinyatakan dalam satuan milimeter per jam. Penelitian mengenai perubahan iklim menunjukkan bahwa perubahan pola curah hujan sering disertai dengan peningkatan intensitas hujan dalam durasi yang lebih singkat, yang dapat meningkatkan risiko banjir dan erosi tanah. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu global menyebabkan peningkatan kapasitas atmosfer dalam menahan uap air, yang pada akhirnya dapat meningkatkan intensitas hujan dalam kejadian hujan ekstrem. Di wilayah perkotaan seperti Tangerang Selatan, perubahan dalam pola intensitas hujan ini dapat mempengaruhi sistem drainase dan meningkatkan risiko genangan serta banjir di daerah aliran sungai (DAS) seperti DAS Angke.

2.2.1.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ukuran penting yang menggambarkan seberapa cepat curah hujan jatuh selama periode tertentu, dan berfungsi sebagai parameter kunci dalam spektrum hujan. Hubungan antara intensitas hujan dan spektrum hujan sangat signifikan, karena variasi dalam intensitas dapat mengubah bentuk dan ukuran distribusi tetesan hujan. Sebagai contoh, ketika intensitas hujan meningkat, distribusi ukuran tetesan cenderung menjadi lebih beragam, dengan adanya tetesan besar yang lebih dominan, yang berdampak pada karakteristik spektrum hujan. Penelitian menunjukkan bahwa spektrum hujan dapat memberikan wawasan tentang proses atmosfer yang mempengaruhi pembentukan hujan, serta dapat digunakan untuk meramalkan potensi banjir dan genangan air.

Salah satu studi yang membahas hubungan antara intensitas hujan dan spektrum hujan adalah artikel berjudul "Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall Events in the Humid Tropics" yang diterbitkan pada 2014. Artikel ini menjelaskan bagaimana hubungan intensitas dan durasi hujan dapat digunakan untuk memahami spektrum hujan serta dampak dari peristiwa curah hujan ekstrem di daerah tropis. Dengan memahami hubungan ini, kita dapat mengembangkan model yang lebih baik untuk prediksi hujan, yang sangat penting dalam pengelolaan risiko bencana dan perencanaan infrastruktur.

Penting untuk memperhatikan bahwa karakteristik spektrum hujan yang berhubungan dengan intensitas dapat memberikan pandangan yang lebih mendalam terhadap fenomena hidrologi dan membantu dalam perencanaan mitigasi bencana di daerah-daerah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim serta kejadian curah hujan ekstrem.

Intensitas hujan memiliki hubungan yang erat dengan kondisi iklim global dan regional, terutama dalam konteks perubahan iklim yang sedang terjadi. Intensitas hujan yang tinggi sering kali dikaitkan dengan peningkatan suhu atmosfer akibat pemanasan global, yang menyebabkan peningkatan evaporasi dan kandungan uap air di udara. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan pola iklim dapat meningkatkan frekuensi kejadian hujan ekstrem, yang berkontribusi pada curah hujan yang lebih tinggi dalam waktu singkat. Studi mengenai perubahan spektrum hujan di wilayah perkotaan seperti Tangerang Selatan menunjukkan bahwa peningkatan intensitas hujan akibat perubahan iklim berisiko memperburuk dampak hidrometeorologi, termasuk banjir dan perubahan pola aliran sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Angke. Selain itu, fenomena iklim global seperti *El Niño* dan *La Niña* juga memengaruhi distribusi intensitas hujan di berbagai wilayah Indonesia, dengan dampak yang bervariasi tergantung pada faktor lokal seperti topografi dan perubahan tata guna lahan.

2.2.2 Iklim

Iklim secara umum didefinisikan sebagai kondisi rata-rata cuaca yang terjadi dalam jangka waktu lama di suatu wilayah. Di Indonesia, iklim ini ditentukan oleh interaksi antara dua hal utama: suhu udara dan kelembapan, yang masing-masing dipengaruhi oleh faktor geografis seperti letak lintang, tinggi tempat, dan kondisi laut. Perubahan iklim di Indonesia menjadi perhatian utama karena berpotensi memberikan dampak signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan dan kehidupan sosial. Fenomena perubahan iklim global dapat memperberat dampak terhadap cuaca ekstrem, seperti peningkatan curah hujan yang mengakibatkan banjir, atau kekeringan yang dapat memengaruhi hasil pertanian (Hergianasari, Rumaksari, Yanuartha, & Semuel, 2022).

Iklim merupakan hasil penggabungan pengukuran berbagai unsur cuaca yang dilakukan secara terus-menerus dari waktu ke waktu dalam periode yang cukup panjang, sehingga dapat dianggap sebagai nilai rata-rata dari unsur-unsur cuaca tersebut. Unsur-unsur penyusun iklim pada dasarnya sama dengan elemen-elemen cuaca, yaitu suhu udara, radiasi matahari, tekanan udara, kelembapan udara, angin, curah hujan, intensitas sinar matahari, keadaan awan, embun, dan petir. Unsur-unsur iklim merupakan elemen-elemen cuaca yang telah diolah menjadi rata-rata dalam kurun waktu yang cukup lama. Oleh sebab itu, unsur iklim memiliki sifat yang relatif stabil, berbeda dengan unsur-unsur cuaca yang selalu mengalami perubahan secara dinamis. Perubahan dalam iklim biasanya terjadi dalam rentang waktu yang panjang dan mencakup wilayah yang sangat luas bahkan hingga seluruh permukaan bumi. Berikut ini adalah beberapa unsur cuaca yang umum dijumpai:

- a) Temperatur Minimum
- b) Temperatur Maksimum
- c) Kelembapan Rata-Rata
- d) Kecepatan Angin
- e) Lama Penyinaran Matahari

Iklim memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan dan intensitas badai siklon tropis. Salah satu faktor utama yang menentukan perkembangan siklon tropis adalah suhu permukaan laut yang hangat, yang meningkatkan laju penguapan dan menyediakan energi untuk membentuk sistem

badai. Perubahan iklim, khususnya pemanasan global, meningkatkan suhu laut di berbagai wilayah, sehingga memperbesar kemungkinan terbentuknya siklon tropis yang lebih kuat dan lebih sering terjadi.

Siklon tropis yang terbentuk di Samudera Hindia bagian selatan, misalnya, lebih sering terjadi pada bulan Januari hingga Maret ketika suhu permukaan laut mencapai titik tertinggi. Data menunjukkan bahwa intensitas siklon meningkat dengan naiknya suhu perairan, karena energi konveksi dari uap air yang menguap memberikan dorongan tambahan pada sistem badai. Selain itu, pergerakan siklon dapat dipantau menggunakan citra satelit yang menunjukkan bahwa curah hujan di sekitar pusat siklon meningkat secara signifikan, sementara daerah di bawah mata siklon relatif lebih cerah.

Dampak dari siklon tropis terhadap curah hujan cukup besar. Hujan yang terjadi akibat siklon dapat mencakup area hingga 400 km dari pusat badai. Selama periode siklon, curah hujan dapat dibandingkan dengan rata-rata curah hujan historis menggunakan metode analisis statistik seperti uji-t untuk mengidentifikasi anomali. Data menunjukkan bahwa kejadian siklon tropis seperti Siklon Ken dan Siklon Fay berdampak langsung pada peningkatan curah hujan di beberapa wilayah Indonesia, khususnya di daerah Nusa Tenggara Timur dan sekitar Darwin, Australia.

2.2.2.1 Angin

Angin merupakan gerakan udara yang berlangsung secara horizontal dari zona dengan tekanan tinggi ke zona dengan tekanan rendah. Proses ini berlangsung akibat perbedaan suhu dan tekanan udara dalam atmosfer, yang umumnya disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata akibat sinar matahari. Saat udara mengalami pemanasan, ia menjadi lebih ringan dan naik, menghasilkan area tekanan rendah, sementara udara yang lebih dingin dan lebih berat akan bergerak untuk mengisi kekosongan tersebut.

Angin memiliki peran penting dalam pembentukan dan distribusi hujan, yang sangat berkorelasi dengan spektrum hujan, baik dari segi intensitas maupun distribusinya. Secara meteorologis, angin adalah pergerakan udara yang terjadi akibat perbedaan tekanan atmosfer antara dua wilayah. Dalam proses hujan, angin

bertindak sebagai pengangkut utama uap air dari sumber-sumber kelembapan seperti lautan, danau, atau sungai menuju atmosfer. Uap air ini kemudian terkondensasi di ketinggian tertentu saat bertemu dengan udara dingin, membentuk awan yang menjadi bahan baku hujan. Selain itu, angin juga berperan dalam mendorong awan-awan kecil untuk bergabung menjadi awan besar yang lebih tebal dan mampu menghasilkan curah hujan lebih tinggi. Proses ini menciptakan pola distribusi hujan yang bervariasi di berbagai wilayah, tergantung pada arah dan kecepatan angin. Contohnya, di Indonesia, angin muson barat mengangkut uap air dari Samudra Hindia yang menyebabkan terjadinya musim hujan di sebagian besar daerah. Sebaliknya, angin muson timur yang berhembus dari arah Australia membawa udara kering, sehingga berperan dalam pembentukan musim kemarau. Dengan demikian, angin tidak hanya menentukan lokasi dan waktu terjadinya hujan tetapi juga memengaruhi intensitas dan durasinya, yang semuanya berkontribusi pada spektrum hujan dalam skala lokal maupun global.

Angin dan osilasi atmosfer memiliki hubungan erat dalam dinamika iklim global. Osilasi, seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO), mempengaruhi pola pergerakan angin di berbagai wilayah, termasuk daerah tropis. Selama fase tertentu dari osilasi ini, perubahan tekanan udara menyebabkan variasi kecepatan dan arah angin, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi pembentukan badai siklon tropis. Misalnya, angin pasat yang melemah selama fase *El Niño* dapat meningkatkan aktivitas siklon di Samudera Pasifik, sedangkan *La Niña* sering dikaitkan dengan peningkatan aktivitas siklon di Samudera Hindia.

2.2.2.2 Osilasi

Ada beberapa osilasi yang mempengaruhi pola curah hujan, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia. Osilasi atmosfer, seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO), berperan penting dalam dinamika perubahan iklim global. Variasi periodik dalam pola osilasi ini memengaruhi suhu permukaan laut, distribusi curah hujan, dan sirkulasi atmosfer, yang pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim jangka panjang. Misalnya, ENSO yang lebih intens akibat pemanasan global dapat meningkatkan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem, termasuk kekeringan dan badai tropis. Hal ini

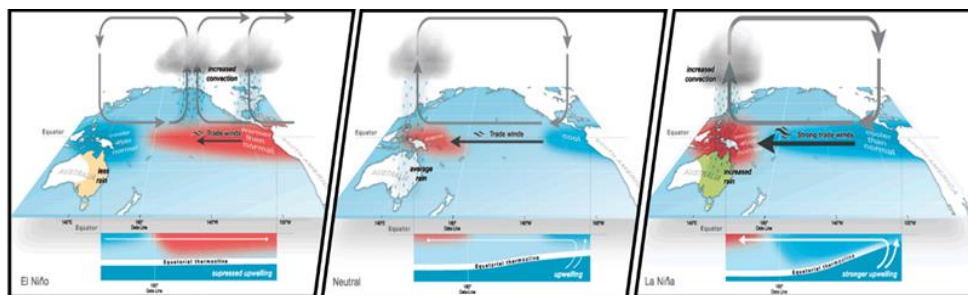
menunjukkan bahwa osilasi atmosfer tidak hanya merespons perubahan iklim, tetapi juga berkontribusi pada pola perubahan iklim global.

2.2.2.2.1 *El Niño-Southern Oscillation (ENSO)*

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) adalah fenomena iklim global yang melibatkan interaksi antara lautan dan atmosfer di Samudra Pasifik tropis. ENSO terdiri dari tiga fase utama, yaitu *El Niño*, *La Niña*, dan fase Netral. Fase *El Niño* disebabkan oleh kenaikan suhu permukaan laut di wilayah tengah dan timur Samudra Pasifik, yang berdampak pada penurunan curah hujan di wilayah Indonesia. Sebaliknya, fase *La Niña* ditandai oleh suhu permukaan laut yang lebih rendah dari rata-rata, kondisi yang umumnya meningkatkan curah hujan di Indonesia. Sedangkan fase Netral terjadi ketika kondisi atmosfer dan laut tidak menunjukkan kecenderungan signifikan ke arah *El Niño* maupun *La Niña*.

Fenomena ini memengaruhi pola cuaca global dan terbagi menjadi tiga fase utama: *El Niño*, *La Niña*, dan Netral.

- 1) *El Niño* : Dikirikan dengan dengan peningkatan suhu permukaan laut di Pasifik tengah dan timur. Hal ini menyebabkan tekanan udara di Pasifik barat lebih tinggi, melemahkan atau membalik arah angin pasat. Dampaknya meliputi kekeringan di Asia Tenggara dan Australia, serta peningkatan curah hujan di Amerika Selatan bagian barat.
- 2) *La Niña*: Kebalikan dari *El Niño*, fase ini ditandai dengan penurunan suhu permukaan laut di Pasifik tengah dan timur. Angin pasat menguat, mendorong naiknya air laut dingin dari kedalaman (upwelling). Akibatnya, terjadi peningkatan curah hujan di Asia Tenggara dan Australia, serta kekeringan di bagian barat Amerika Selatan.
- 3) Netral: Kondisi di mana suhu permukaan laut dan pola angin berada dalam keadaan normal, tanpa dominasi *El Niño* atau *La Niña*.



Gambar 2. 1 *El Niño-Southern Oscillation (ENSO)*

Sumber: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>

Pemahaman tentang dampak ENSO terhadap pola hujan di Tangerang Selatan sangat penting untuk mendukung strategi adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim. Dengan menganalisis bagaimana ENSO mempengaruhi spektrum hujan, penelitian ini dapat memberikan informasi yang berguna bagi pengelolaan sumber daya air, perencanaan infrastruktur drainase, serta upaya mitigasi bencana banjir. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengambilan kebijakan dalam mengantisipasi perubahan pola curah hujan akibat dinamika iklim global. Osilasi atmosfer, seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO), berperan penting dalam dinamika perubahan iklim global. Variasi periodik dalam pola osilasi ini memengaruhi suhu permukaan laut, distribusi curah hujan, dan sirkulasi atmosfer, yang pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim jangka panjang. Misalnya, ENSO yang lebih intens akibat pemanasan global dapat meningkatkan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem, termasuk kekeringan dan badai tropis. Hal ini menunjukkan bahwa osilasi atmosfer tidak hanya merespons perubahan iklim, tetapi juga berkontribusi pada pola perubahan iklim global.

2.2.3 Statistik Deskriptif Analitis

Metode statistik deskriptif analitis adalah pendekatan penelitian yang memadukan dua fungsi penting statistik, yaitu mendeskripsikan data dan menganalisisnya untuk menemukan pola atau hubungan yang bermakna. Statistik deskriptif berfokus pada penyajian data secara ringkas melalui ukuran-ukuran seperti mean, median, modus, standar deviasi, distribusi frekuensi, serta visualisasi dalam bentuk tabel atau grafik, sehingga pembaca memperoleh gambaran umum mengenai data yang diteliti (Sugiyono, 2009). Namun, dalam metode deskriptif analitis, penelitian tidak berhenti pada tahap pemaparan data semata, melainkan

dilanjutkan dengan analisis mendalam untuk memahami makna di balik data yang tersaji.

Pada tahap analitis, peneliti berupaya menafsirkan data yang telah dideskripsikan untuk menemukan pola, tren, atau hubungan antarvariabel. Pendekatan ini memungkinkan peneliti menjawab pertanyaan dari apa yang telah diteliti. Pada penelitian dengan sebaran data yang tergolong banyak seperti curah hujan atau data iklim, metode ini dapat digunakan jika peneliti ingin meneliti gambaran dari data yang telah didapatkan, Peneliti juga dapat membandingkan hasil dari kedua data yang telah didapatkan dari sumber. Jika ingin menggunakan metode ini, dapat dilakukan dengan beberapa tahapan yang akan dijelaskan dibawah.

2.2.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah tahap pertama yang dilakukan dalam melaksanakan metode ini. Dimana, peneliti harus mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian dan data yang dikumpulkan dapat berupa angka seperti data curah hujan dan data iklim, ataupun berupa deskripsi lainnya. Tujuan dari pengumpulan data yaitu mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk dapat dianalisis sesuai dengan kejadian atau fenomena yang diteliti.

2.2.3.2 Uji Validitas

Uji validitas bertujuan untuk menentukan apakah data atau instrumen yang digunakan dalam penelitian benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur. Dalam penelitian ini, uji validitas dapat digunakan untuk menguji keabsahan data curah hujan dari berbagai sumber, seperti stasiun BMKG, data satelit, atau model iklim. Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan mengikuti beberapa tahapan sebagai berikut. (Soewarno, 1995):

1. Gunakan kertas probabilitas untuk plot data dengan peluang agihan empiris, menggunakan persamaan weibull:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

m = Nomor urut dari kecil ke besar

n = Banyaknya data

2. Tarik garis dengan mengikuti persamaan:

$$\text{Log } X_r = \overline{\log X} + G.Sd \dots\dots\dots (2.2)$$

Perbedaan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris ditemukan melalui grafik plotting:

$$\Delta_{\max} = |P_e - P_t| \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$\Delta_{\max}$ = Selisih maksimum antara peluang empiris dengan teoritis

P_e = Peluang empiris

P_t = Peluang teoritis

3. Sebanyak 5% dari total data (n) digunakan sebagai batas tingkat signifikansi, kemudian nilai Δ_{Cr} hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov dihitung. Apabila nilai maksimum $\Delta_{\max}$ lebih kecil dari Δ_{Cr} , maka data tersebut dinyatakan dapat diterima.

2.2.3.3 Uji Korelasi

Dalam uji korelasi, dilakukan uji Smirnov-Kolmogorov terlebih dahulu untuk mengetahui penggunaan uji korelasi yang sesuai. Jika data curah hujan dan variabel iklim lain berdistribusi normal, maka uji Pearson digunakan. Jika tidak berdistribusi normal, maka uji Spearman atau Kendall lebih disarankan. Dengan menggunakan uji korelasi ini, penelitian dapat mengidentifikasi apakah perubahan hujan akibat perubahan iklim memiliki hubungan signifikan terhadap pola hujan di DAS Angke.

1. Uji Korelasi Pearson digunakan jika data berdistribusi normal dan berskala interval atau rasio. Uji ini mengukur hubungan linear antara dua variabel dan menghasilkan nilai koefisien korelasi Pearson (r), yang berkisar antara -1 hingga +1. Jika nilai r mendekati +1, maka terdapat korelasi positif yang kuat antara perubahan iklim dan curah hujan, sedangkan nilai r mendekati -1 menunjukkan korelasi negatif yang kuat.
2. Uji Korelasi Spearman digunakan jika data tidak berdistribusi normal atau berskala ordinal. Metode ini mengukur hubungan monoton antara

variabel, di mana kenaikan satu variabel cenderung diikuti oleh kenaikan atau penurunan variabel lain.

3. Uji Korelasi Kendall juga digunakan untuk data ordinal atau jika jumlah sampel kecil, dengan metode yang mirip dengan korelasi Spearman tetapi lebih cocok untuk data dengan banyak nilai yang sama (*ties*).



2.2 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
1	<i>The Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle and Water Resource Management</i>	Xander Wang; Lirong Liu	UK 2023	Penelitian ini membahas dampak multidimensi perubahan iklim terhadap siklus hidrologi dan pengelolaan air secara global. Penelitian ini menyoroti pentingnya memahami kondisi hidrologi yang ekstrem seperti banjir dan kekeringan akibat ketidakpastian iklim. Dua belas artikel diterbitkan, dengan fokus pada dampak perubahan iklim terhadap hidrologi, bahaya hidrometeorologi, dan isu-isu keamanan air. Penelitian ini menekankan perlunya pendekatan sistematis untuk beradaptasi dengan perubahan pola curah hujan dan naiknya permukaan air laut.	Makalah ini membahas pemodelan kondisi hidroklimat dan kondisi ekstrem hidrologi seperti banjir dan kekeringan. Model ini menggunakan model sistem evaluasi dan perencanaan air (WEAP) untuk memprediksi ketersediaan air. Metode "indikator perubahan hidrologis" digunakan untuk menilai perubahan hidrologis di daerah aliran sungai Mangla. Model SWAT menganalisis dampak perubahan iklim terhadap suhu, curah hujan, dan pengisian air tanah.	Makalah ini menekankan pentingnya memahami dampak perubahan iklim terhadap siklus hidrologi dan pengelolaan air. Hal ini menyoroti peningkatan risiko banjir dan kekeringan akibat perubahan iklim. Temuan ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran publik dan memandu perencanaan yang lebih baik untuk kejadian-kejadian yang berkaitan dengan iklim di masa depan. Penelitian ini berkontribusi pada diskusi yang sedang berlangsung mengenai keamanan air dan dampak ekosistem dalam konteks perubahan iklim.
2	<i>mpacts of Climate Change on Water Resources: Assessment and Modeling—First Edition</i>	Leszek Sobkowiak; Leszek Sobkowiak	Poland 2024	Makalah ini membahas kemajuan dalam studi hidrologi selama berabad-abad, menyoroti beragam metodologi dan temuan yang terkait dengan penilaian dan pemodelan sumber daya air. Makalah ini menekankan dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air, produksi tanaman, dan kebutuhan irigasi secara global. Penelitian ini mencakup kontribusi dari berbagai negara, menampilkan berbagai topik dan pendekatan dalam pengelolaan sumber daya air	Algoritme UNET-GRU digunakan untuk mengevaluasi dampak peningkatan curah hujan buatan. Berbagai indeks kekeringan (SPI, DI, PN, CZI, MCZI, RAI, ZSI) menilai tingkat keparahan kekeringan. Model iklim CMIP6 digunakan untuk meramalkan kekeringan meteorologis yang parah di bawah berbagai skenario perubahan iklim.	Alat statistik menyoroti peran perubahan iklim dalam perencanaan pengelolaan air. Temuan ini menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam metodologi studi hidrologi dari waktu ke waktu. Kontribusi yang diberikan sangat berharga baik untuk aplikasi ilmiah maupun praktis dalam hidrologi.

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
3	<i>Drought under global warming: a review</i>	Aiguo Dai	2011	Makalah ini mengulas kejadian kekeringan historis dan baru-baru ini, dengan menekankan peningkatan kekeringan global sejak tahun 1970-an, terutama di Afrika, Eropa selatan, dan beberapa bagian Asia dan Australia. Menghubungkan kekeringan dengan anomali suhu permukaan laut tropis dan menyoroti peran pemanasan yang disebabkan oleh gas rumah kaca dalam meningkatkan permintaan kelembapan di atmosfer, yang berkontribusi terhadap tren kekeringan. [Proyeksi masa depan menunjukkan kekeringan yang terus-menerus di banyak wilayah, dengan strategi adaptasi yang diperlukan untuk mengatasi peningkatan kekeringan dan risiko kekeringan yang parah dalam beberapa dekade mendatang.	Makalah ini menggunakan metodologi tinjauan untuk menganalisis kejadian kekeringan historis dan penyebabnya selama milenium terakhir, dengan fokus pada perubahan kekeringan global dari tahun 1950 hingga 2008. Studi ini menggunakan berbagai sumber data untuk menilai perubahan kekeringan dan memproyeksikan kekeringan di masa depan berdasarkan keluaran model dari simulasi di bawah skenario SRES A1B dengan menggunakan 22 model gabungan dari IPCC AR4.	Makalah ini menyimpulkan bahwa kekeringan telah bervariasi secara signifikan selama milenium terakhir, dengan penelitian terbaru yang mengaitkan kekeringan historis dengan variasi suhu permukaan laut tropis (SST). Proyeksi di masa depan menunjukkan berlanjutnya kekeringan di banyak wilayah, termasuk Afrika, Eropa selatan, dan Asia Tenggara, dengan potensi kekeringan yang parah di daerah-daerah yang sebelumnya terhindar dari kekeringan.

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
4	<i>Analysis of Climate Change Effects on Precipitation and Temperature Trends in Spain</i>	Blanca Arellano; Qianhui Zheng; Josep Roca	Spain 2024	Studi ini menganalisis dampak perubahan iklim terhadap curah hujan dan tren suhu di Spanyol dari tahun 1971 hingga 2022, dan memprediksi skenario masa depan untuk tahun 2050. Penelitian ini mengonfirmasi tren pemanasan yang signifikan, dengan perkiraan penurunan curah hujan antara 14% dan 23% pada tahun 2050, yang mengindikasikan pergeseran dari iklim Mediterania ke iklim padang rumput yang hangat.	Makalah ini menggunakan dua metode utama untuk memperkirakan curah hujan: metode hubungan Z-I dinamis dan metode jaringan syaraf tiruan LSTM. Kedua metode tersebut dibandingkan dalam hal akurasi estimasi dan korelasinya dengan curah hujan terukur.	Studi ini menyimpulkan bahwa perubahan iklim secara signifikan berdampak pada rezim curah hujan di Spanyol, yang mengarah pada kecenderungan kekeringan dan pengurangan curah hujan tahunan. Penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan suhu berkaitan dengan penurunan curah hujan pada ambang batas kekeringan dan peningkatan kejadian curah hujan ekstrem. Penelitian ini memprediksi bahwa jika tren saat ini terus berlanjut, pada tahun 2050, iklim Spanyol akan bergeser dari Mediterania ke padang rumput yang hangat, dengan suhu rata-rata naik 2,70 ° C dan curah hujan menurun 14% hingga 23%.
5	<i>Influence Of Sea Level Pressure On Inter-Annual Rainfall Variability In Northern Senegal In The Context Of Climate Change</i>	Aichetou Dia-Diop Malick Wade Sinclair Zebaze Abdoulaye Diop Eric Efon Andre Lenouo Bouya Diop	Senegal Utara 2022	Makalah ini mengevaluasi kejadian kekeringan, banjir, dan pergantian kekeringan-banjir secara tiba-tiba di bawah perubahan iklim dengan menggunakan indeks Curah Hujan Rata-Rata Tertimbang Standar (Standard Weighted Average Precipitation/SWAP). Studi ini memprediksi peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian pergantian kekeringan-banjir yang tiba-tiba di abad ke-21. Studi ini menyoroti dampak berbahaya dari transisi yang cepat antara kekeringan dan banjir. Proyeksi di masa depan menunjukkan tren penurunan frekuensi kekeringan	Studi ini menggunakan sepuluh GCM di bawah RCP4.5 dan RCP8.5 untuk menganalisis skenario iklim. Indeks SWAP digunakan untuk mengevaluasi kejadian kekeringan dan banjir. Metode Koreksi Bias Harian (Daily Bias Correction/DBC) diterapkan untuk koreksi bias pada luaran model iklim. Metode teori run digunakan untuk mengidentifikasi sifat kekeringan dan banjir. Teknik-teknik statistik	Studi ini memperkirakan variasi spatio-temporal dari kekeringan meteorologis, banjir, dan peristiwa pergantian kekeringan-banjir yang tiba-tiba di Cekungan Hanjiang di bawah perubahan iklim. Indeks SWAP secara efektif memantau kejadian kekeringan, banjir, dan pergantian kekeringan-banjir secara tiba-tiba, memprediksi onsets, durasi, dan intensitas. Frekuensi kekeringan menunjukkan tren penurunan secara keseluruhan, sementara tren frekuensi banjir bervariasi antara daerah hulu dan hilir pada periode referensi. Peristiwa pergantian

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
				di daerah hulu dan tren kenaikan di daerah hilir	downscaling diimplementasikan untuk mengatasi masalah resolusi keluaran model iklim	kekeringan-banjir yang tiba-tiba diperkirakan akan semakin sering dan intens, sehingga menimbulkan ancaman yang signifikan terhadap keamanan sumber daya air.
6	Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan Di Wilayah Selatan Kabupaten Subang, Jawa Barat	Dyah Susilokarti; Sigit Supadmo Arif; Sahid Susanto; Lilik Sutiarto	Indonesia, 2015	Penelitian ini menganalisis dampak perubahan iklim terhadap pola curah hujan di Indonesia, dengan menyoroti pergeseran yang signifikan pada musim hujan dan musim kemarau. Penelitian ini menggunakan uji statistik, termasuk uji F dan uji t, untuk menilai perubahan siklus curah hujan dari waktu ke waktu. Temuan menunjukkan korelasi yang kuat dalam siklus curah hujan, dengan perubahan signifikan yang tercatat sejak tahun 1987 untuk musim kemarau dan 1995 untuk musim hujan.	Makalah ini menggunakan metode analitis, termasuk uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Metode deskriptif digunakan untuk menghitung koefisien varians, skewness, kurtosis, histogram, dan plot	Penelitian ini menunjukkan perubahan yang signifikan dalam pola curah hujan selama musim kemarau dari tahun 1987 sampai 1996. Disimpulkan bahwa distribusi curah hujan di musim hujan tetap konsisten selama beberapa periode. Studi ini menekankan dampak variabilitas iklim terhadap perencanaan pertanian di Indonesia.
7	Analisis Perubahan Iklim (Hujan) Di Kawasan Kabupaten Boyolali	Muttiara Said; Siti Qomariyah; Solichin,	Indonesia, 2015	Penelitian ini menyelidiki dampak perubahan iklim terhadap curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cemoro, Boyolali, dengan menggunakan analisis data curah hujan. Uji statistik menunjukkan adanya perubahan signifikan dalam distribusi curah hujan dan varians di berbagai stasiun yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan dalam curah hujan tahunan rata-rata.	Penelitian ini menggunakan metode RAPS untuk memvalidasi data curah hujan. Uji statistik yang dilakukan meliputi uji-t untuk perbandingan rata-rata. Penelitian ini bertujuan untuk menilai indikasi perubahan iklim melalui analisis curah hujan	Penelitian ini menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada distribusi curah hujan berdasarkan nilai rata-rata dan varians pada bulan yang berbeda. Uji statistik menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada varians curah hujan di antara tiga stasiun, kecuali di Stasiun Andong. Perubahan karakteristik curah hujan dikaitkan dengan indikasi perubahan iklim di DAS Cemoro

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
8	Analisis Klasifikasi Tipe Iklim Dari Data Curah Hujan Menggunakan Metode Schmidt-Ferguson (Studi Kasus: Kabupaten Tangerang)	Ratu Rugoyah; Yayat Ruhiat; dan Saefullah	Indonesia, 2023	Penelitian ini menganalisis pola curah hujan dan klasifikasi iklim di Kabupaten Tangerang dengan menggunakan metode Schmidt-Ferguson. Hasilnya menunjukkan iklim monsun dengan puncak curah hujan pada bulan Desember hingga Februari. Curah hujan maksimum yang tercatat adalah 660 mm/bulan pada bulan Februari 2017. Kawasan ini diklasifikasikan sebagai tipe B dengan Kriteria Basah untuk vegetasi Hutan Hujan Tropis	Penelitian ini menggunakan metode klasifikasi Schmidt-Ferguson untuk menganalisis pola curah hujan di Kabupaten Tangerang. Penelitian ini berfokus pada identifikasi bulan basah dan bulan kering berdasarkan data curah hujan. Analisis bertujuan untuk menentukan tipe iklim berdasarkan karakteristik curah hujan.	Studi ini mengidentifikasi pola curah hujan di Kabupaten Tangerang termasuk dalam tipe monsun, dengan puncak musim hujan pada bulan Desember-Februari dan musim kemarau pada bulan Juni-Agustus. Curah hujan yang tinggi berkorelasi dengan peningkatan kelembaban, penurunan suhu, dan tekanan yang lebih rendah, dengan angin yang dominan dari arah barat.
9	Analisis Fenomena Perubahan Iklim Dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrem Di Kota Makassar	Intan Pabalik, Nasrul Ihsan; Muhammad Arsyad	Makassar, 2016	Studi ini menganalisis curah hujan ekstrem dan perubahan suhu di Makassar dari tahun 1993 hingga 2012, menyoroti pergeseran iklim yang signifikan. Puncak suhu bulanan tercatat pada bulan Mei dan Oktober, dengan suhu yang lebih rendah pada bulan Januari, Februari, Juli, Agustus, dan Desember. Penelitian ini menekankan perlunya penilaian terpadu terhadap sistem iklim untuk memahami dampak iklim di masa depan	Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analitis untuk menggambarkan kegiatan berdasarkan referensi dan data lapangan. Data bersumber dari BMKG dan Dinas PSDA Makassar, termasuk data curah hujan dan suhu harian dan bulanan. Data curah hujan mencakup rentang waktu dari tahun 1993 hingga 2012, sementara data suhu juga dikumpulkan untuk periode yang sama. Data diproses menggunakan Excel untuk membuat representasi statistik dalam bentuk grafik untuk analisis.	Studi ini mengidentifikasi dua suhu puncak di Makassar: Mei (28,10°C) dan Oktober (28,39°C) selama 20 tahun. Suhu terendah tercatat pada bulan Januari, Februari, Juli, Agustus, dan Desember. Peristiwa curah hujan ekstrem tercatat, terutama banjir besar pada tahun 2000 dengan curah hujan 4722 mm. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan Excel untuk memvisualisasikan pola curah hujan dan kejadian ekstrem

No.	Judul	Peneliti	Lokasi; Tahun	Rangkuman	Metode	Hasil Penelitian
10	<i>Relationship between extreme rainfall and design flood-discharge of the Ciliwung river</i>	M Farid1,4, D Saputr;, T R Maitsa; T N A Kesuma; A A Kuntoro; A Chrysanti	Bandung, 2021	Makalah ini menganalisis tren curah hujan dan dampaknya terhadap debit banjir di Jakarta dari tahun 1985 hingga 2019. Studi ini menyoroti tidak memadainya sistem pengendalian banjir dan drainase, yang berkontribusi pada seringnya terjadi banjir. Studi ini menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem telah meningkat secara signifikan, mempengaruhi tingkat risiko banjir. Penelitian ini menekankan perlunya data terbaru untuk meningkatkan infrastruktur pengendalian banjir	Studi ini menggunakan data sekunder dari Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane dan BMKG untuk analisis curah hujan dan debit. Data curah hujan harian maksimum dianalisis dengan menggunakan Metode Poligon Thiessen untuk mendapatkan curah hujan wilayah. Analisis tren curah hujan dilakukan dengan membagi data menjadi tiga urutan untuk dibandingkan dengan data dasar. Analisis frekuensi dilakukan untuk menentukan curah hujan rancangan untuk berbagai periode ulang, dengan menggunakan Distribusi Gumbel	Studi ini menemukan peningkatan curah hujan sebesar 3-10% dan debit sebesar 4-12% untuk tahun 1995-2009, serta 5-16% dan 7-19% untuk tahun 2005-2019. Curah hujan dan debit rancangan untuk tahun 1985-1999 lebih rendah daripada baseline, sedangkan untuk tahun 1995-2009 dan 2005-2019 lebih tinggi. Penelitian ini mengindikasikan bahwa mitigasi banjir struktural belum secara signifikan mengurangi risiko banjir di Jakarta selama dua dekade terakhir

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2025

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan terhadap jurnal mengenai pola curah hujan yang dipengaruhi oleh iklim, perlu adanya pengembangan terhadap lokasi penelitian yang akan dilakukan dengan metode statistika dengan menyesuaikan antara data curah hujan ekstrem harian dengan iklim yang ada di lokasi penelitian.