



4.16%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 21 JUL 2025, 4:14 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.02%

● CHANGED TEXT
4.13%

Report #27594403

30 i BAB I PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia mengalami peningkatan curah hujan yang signifikan. **5** **14** Data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa curah hujan maksimum harian mengalami peningkatan dengan laju tertinggi mencapai 158 mm dalam 30 tahun terakhir (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2025). Selain itu, jumlah hari hujan dengan intensitas lebih dari 20 mm per hari juga meningkat hingga 39 hari dalam periode yang sama. Tren ini menunjukkan bahwa hujan tidak hanya terjadi lebih sering, tetapi juga dengan intensitas yang lebih tinggi, yang dapat berdampak pada berbagai aspek lingkungan dan sosial. **36** Peningkatan curah hujan ini semakin diperparah oleh fenomena cuaca ekstrem yang terjadi lebih sering di Indonesia. **15** Siklon tropis, seperti Dahlia, Cempaka, dan Seroja, telah terbukti meningkatkan curah hujan hingga 340 mm dalam sehari, sebuah jumlah yang biasanya turun dalam satu bulan (agungnoe, 2022). Selain siklon, perubahan pola monsun dan fenomena atmosfer lainnya juga berkontribusi terhadap lonjakan curah hujan di beberapa wilayah, termasuk Tangerang Selatan. Fenomena ini memicu banjir, tanah longsor, dan perubahan dinamika aliran sungai yang berdampak pada keseimbangan ekosistem dan infrastruktur perkotaan. Dalam konteks urbanisasi yang pesat, peningkatan intensitas hujan ini menjadi tantangan serius bagi kota-kota di Indonesia, termasuk wilayah Tangerang Selatan. Sebagai



daerah dengan pertumbuhan infrastruktur yang tinggi, perubahan pola hujan dapat memperburuk risiko banjir dan degradasi kualitas air. Sistem drainase yang awalnya dirancang berdasarkan data historis curah hujan kini mungkin tidak lagi mampu mengakomodasi peningkatan volume air 1 yang terjadi akibat perubahan pola hujan. Hal ini memerlukan pemahaman yang lebih dalam mengenai bagaimana spektrum hujan berubah dan bagaimana dampaknya terhadap pengelolaan sumber daya air. Salah satu wilayah yang terdampak adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Angke, yang mengalir melewati Tangerang Selatan dan DKI Jakarta. Sungai ini memiliki peran penting dalam mengalirkan air hujan dari daerah hulu ke hilir, namun peningkatan curah hujan yang tidak terprediksi dapat mengganggu keseimbangannya. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Angke dipengaruhi oleh intensitas curah hujan serta aktivitas manusia di sekitar wilayah aliran sungai. Namun, masih sedikit penelitian yang secara spesifik menganalisis perubahan spektrum hujan di kawasan ini dan dampaknya terhadap kondisi hidrologis serta potensi bencana (Agustin, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan spektrum hujan akibat perubahan iklim di wilayah Tangerang Selatan, dengan fokus pada DAS Angke. Analisis ini mencakup distribusi intensitas hujan, durasi, serta frekuensi kejadian hujan ekstrem. Dengan memahami pola perubahan ini,

penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik dalam perencanaan infrastruktur perkotaan dan mitigasi risiko bencana, terutama dalam menghadapi ancaman banjir yang semakin sering terjadi. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas peningkatan curah hujan di Indonesia dan dampaknya terhadap lingkungan. Misalnya, studi yang membahas hubungan perubahan iklim terhadap curah hujan ekstrem di beberapa DAS di Indonesia menunjukkan bahwa pola hujan mengalami pergeseran dalam intensitas dan frekuensinya. Studi lain juga menunjukkan bahwa kejadian cuaca 2 ekstrem, termasuk hujan lebat dalam durasi singkat, cenderung meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Temuan-temuan ini mendukung urgensi penelitian terkait perubahan spektrum hujan di DAS Angke guna mendapatkan pemahaman yang lebih spesifik di wilayah Tangerang Selatan. Selain itu, ada pula penelitian yang melakukan analisis spektrum hujan pada daerah aliran Sungai Ciliwung. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa tren frekuensi hujan lebat dan hujan ringan meningkat. Sehingga, adanya perubahan iklim akibat perubahan curah hujan periode 1979-2003 pada Sungai ciliwung. Hal ini terjadi karena peningkatan curah hujan tercatat sebagai salah satu penyebab banjir. Curah hujan meningkat disebabkan oleh perubahan iklim. Serta, menyebabkan adanya variasi curah hujan (Farid, et al., 2021). Dengan adanya penelitian ini, diharapkan hasilnya dapat digunakan sebagai dasar dalam



merancang strategi pengelolaan sumber daya air yang lebih adaptif terhadap perubahan pola hujan. Pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya dapat menggunakan hasil penelitian ini dalam perencanaan tata ruang, pembangunan sistem drainase yang lebih baik, serta mitigasi risiko banjir di kawasan urban. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan ilmiah, tetapi juga memberikan manfaat praktis bagi masyarakat yang terdampak oleh perubahan pola hujan yang semakin tidak menentu.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana variasi spektrum hujan yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Angke?
2. Bagaimana pengaruh perubahan iklim terhadap spektrum hujan di Daerah Aliran Sungai Angke?

3

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis variasi spektrum hujan yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Angke.
2. Menganalisis pengaruh perubahan iklim terhadap spektrum hujan di Daerah Aliran Sungai Angke.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis

 - a. Memperkaya kajian hidrologi dan klimatologi terkait perubahan spektrum hujan.
 - b. Menjadi dasar penelitian selanjutnya tentang perubahan pola curah hujan dan mitigasi bencana.
 - c. Menjelaskan perubahan intensitas, frekuensi, dan durasi hujan akibat perubahan iklim.

2. Manfaat Praktis

 - a. Membantu strategi pengelolaan DAS Angke dan pengurangan risiko banjir di Tangerang Selatan.
 - b. Mendukung desain sistem drainase yang lebih adaptif terhadap hujan ekstrem.
 - c. Menjadi acuan bagi regulasi tata



ruang dan pengelolaan sumber daya air. d. Meningkatkan kesadaran akan dampak perubahan iklim dan mitigasi bencana. e. Optimalisasi konservasi dan pemanfaatan air hujan. 1.5 Batasan Masalah 1. Penelitian ini hanya dilakukan pada kawasan Kali Angke. 2. Penelitian ini hanya membahas spektrum hujan terhadap parameter curah hujan, temperatur minimum dan maksimum, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, kelembapan udara dan kondisi El Niño-Southern Oscillation (ENSO). 4 1.6 Sistematika Penulisan BAB I Pendahuluan, berisi uraian singkat mengenai penelitian yang dilakukan serta alasan mengapa penelitian tersebut penting untuk dilaksanakan. Bagian ini mencakup latar belakang yang menjelaskan konteks dan urgensi permasalahan, dilanjutkan dengan identifikasi masalah yang merumuskan isu utama yang akan diteliti. Untuk menjaga fokus penelitian, disusun pula batasan masalah yang memperjelas ruang lingkup kajian. Selanjutnya, pendahuluan memuat tujuan penelitian sebagai bentuk gambaran mengenai hasil yang ingin dicapai, serta manfaat penelitian yang diharapkan dapat memberikan kontribusi secara teoritis maupun praktis. Terakhir, disajikan sistematika penulisan sebagai panduan mengenai susunan dan alur dari keseluruhan isi karya ilmiah. BAB II Tinjauan Pustaka, memuat penjelasan sistematis Berisi pembahasan tentang landasan teori yang menjadi dasar dalam penelitian ini, serta ulasan terhadap berbagai hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik dan tujuan dari penelitian ini. 20 Bagian ini disusun berdasarkan referensi yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya, seperti jurnal ilmiah, skripsi, tesis, disertasi, dan laporan penelitian lainnya. Dalam tinjauan pustaka juga dijabarkan dasar teori yang membentuk kerangka berpikir penelitian, sehingga mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap masalah yang dikaji. 5 BAB III Metode Penelitian, memuat metode penelitian yang hendak digunakan untuk penelitian. Pada Metode penelitian akan secara lengkap menguraikan proses hingga kerangka kerja dalam penelitian yang menggambarkan dengan singkat proses dalam pemecahan masalah. Serta, kerangka pemikiran untuk

pembentukan hipotesis pada penelitian. BAB IV Biaya dan Jadwal Kegiatan, berisi rincian biaya yang dibutuhkan selama melakukan penelitian serta jadwal kegiatan yang dibuat dari awal penelitian hingga akhir. 41 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Dasar Teori 2.2 26 1 Hujan Hujan merupakan bagian dari fenomena meteorologis yang terjadi ketika air dalam bentuk cair jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi. 33 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. 16 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. 27 Sementara intensitas hujan merujuk pada jumlah air hujan yang turun dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam milimeter per jam. 28 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. 7 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 25 1.1Curah 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 10 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. 11

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 12 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 34 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 ekstrim, seperti peningkatan curah hujan yang mengakibatkan banjir, atau kekeringan yang dapat memengaruhi hasil pertanian (Hergianasari, Rumaksari, Yanuartha, & Samuel, 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. 17 Unsur-unsur penyusun iklim pada dasarnya sama dengan elemen- elemen cuaca, yaitu suhu udara, radiasi matahari, tekanan udara, kelembaban 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 13 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.



18 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.

14 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. 37 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. 9

Misalnya, ENSO yang lebih intens akibat 16 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 3

6 10 19 1 El Niño-Southern Oscillation (ENSO) El Niño-Southern Oscillation (ENSO) adalah fenomena iklim global yang melibatkan interaksi antara lautan dan atmosfer di wilayah tropis Samudra Pasifik. 40 ENSO terdiri dari tiga fase utama, yaitu El Niño, La Niña, dan fase Netral. 3 8 23 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. 2 1) El Niño:

Dicirikan 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. 2 3 6 12 Dampaknya meliputi kekeringan di Asia Tenggara dan Australia, serta peningkatan curah hujan di

Amerika Selatan bagian barat. 2 3 8 2) La Niña: Kebalikan dari El Niño,

fase ini ditandai dengan penurunan suhu permukaan laut di Pasifik tengah dan timur.

Angin pasat menguat, mendorong 17 naiknya air laut dingin dari kedalaman (upwelling).

2 6 12 Dampaknya, muncul kenaikan 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. 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.

9 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.

2.2.2.3 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 19 mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk dapat dianalisis sesuai dengan kejadian atau fenomena yang diteliti.

2.2 24 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 memplot data dengan peluang distribusi empiris menggunakan persamaan Weibull: 2. Tarik garis dengan mengikuti persamaan: Nilai maksimum selisih antara distribusi teoritis dan empiris diperoleh melalui plot grafik: 3. Sebanyak 5% dari total data (n) digunakan sebagai batas tingkat signifikansi, kemudian nilai ΔCr hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov dihitung. Apabila nilai maksimum Δ_{max} lebih kecil dari ΔCr , 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. ³⁹ 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 20 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. ³² Uji ini mengukur hubungan linear antara dua variabel dan menghasilkan nilai koefisien korelasi Pearson (r), yang berkisar antara -1 hingga +1. ²¹ 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). 21 2.2 Penelitian Terdahulu 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. 1 11 22 BAB

III METODE PENELITIAN 3.1 Metode Penelitian Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif, dengan teknik pengumpulan data dari sumber atau instansi terkait sehingga penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder. 1 4 Menurut Nawawi, Hadari (1990) metode deskriptif memusatkan perhatian pada masalah- masalah atau fenomena-fenomena yang ada pada saat penelitian dilakukan atau masalah yang bersifat aktual, kemudian menggambarkan fakta-fakta tentang masalah yang diselidiki dengan interpretasi rasional yang akurat, sedangkan pendekatan kuantitatif diterapkan dengan menggunakan rumus statistik untuk membantu dalam menganalisis data dan fakta yang diperoleh (Suharsimi, 1996). 3.2

Tempat dan Lokasi Penelitian Dalam pengolahan data curah hujan ini, penulis melakukan penelitian di program studi teknik sipil Universitas Pembangunan Jaya. Lokasi penelitian berada di Tangerang Selatan yang merupakan daerah aliran Sungai Angke sepanjang 9.125 kilometer (5.670 mi) ini daerah bogor, melintasi wilayah jawa barat, banten, dan jakarta Sampai bermuara di laut jawa dekat muara angke, jakarta barat serta melalui cengkareng drain . 3.3 Tahapan Penelitian Tahapan

penelitian merupakan serangkaian langkah sistematis yang diikuti untuk melakukan studi ilmiah atau suatu penelitian. 1) Identifikasi Masalah 23 Tahapan pertama ini membantu peneliti untuk dapat mengidentifikasi mengenai spektrum hujan yang akan berubah seiring dengan perubahan iklim yang saat ini terjadi di Indonesia khususnya pada daerah Tangerang Selatan, aliran sungai Angke. 2) Studi Literatur Tahap ini membantu peneliti untuk dapat memahami apa yang telah diketahui sebelumnya dan mengidentifikasi celah dalam penelitian yang ada. Pada

konteks ini, studi literatur yang digunakan mencakup curah hujan, Daerah aliran Sungai Angke. 3) Pengumpulan Data Tahap ini dilakukan untuk pengumpulan data curah hujan yang akan digunakan oleh peneliti. Data curah hujan Sungai Angke yang digunakan dari rentan tahun 30 tahun terakhir. Berdasarkan stasiun hujan yang ditentukan. a) Data Primer Observasi adalah metode pengumpulan data dengan cara mengamati fenomena atau kondisi tertentu secara langsung. Dalam konteks penelitian ini, observasi dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti, observasi terhadap pola curah hujan di daerah DAS Angke, observasi terhadap kondisi sungai dan drainase, serta observasi terhadap dampak lingkungan. b) Data Sekunder Data sekunder menjadi sumber informasi yang penting untuk memahami pola perubahan curah hujan dalam jangka waktu panjang. Data ini memberikan konteks yang lebih luas dalam melihat 24 bagaimana perubahan iklim telah memengaruhi curah hujan di wilayah penelitian. 1) Tinjauan pustaka dalam penelitian ini mencakup kajian terhadap berbagai konsep yang relevan, seperti perubahan iklim dan dampaknya terhadap pola curah hujan di Indonesia. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pemanasan global telah menyebabkan perubahan distribusi curah hujan, dengan kecenderungan meningkatnya hujan ekstrem dalam periode waktu yang lebih singkat. Selain itu, penelitian mengenai pola hujan dan analisis hidrometeorologi juga menjadi dasar dalam memahami tren perubahan curah hujan dan dampaknya terhadap Daerah Aliran Sungai (DAS) Angke. 2) Peta topografi juga menjadi bagian penting dalam penelitian ini, karena memberikan informasi mengenai bentuk dan ketinggian lahan di sekitar DAS Angke. Dengan menggunakan peta topografi, dapat dianalisis pola aliran air hujan, daerah rawan banjir, serta efektivitas sistem drainase dalam mengalirkan air ke sungai. Data ini biasanya diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) atau instansi terkait yang menyediakan data spasial untuk wilayah Tangerang Selatan. 3) Data curah hujan menjadi elemen utama dalam penelitian ini, karena memberikan informasi tentang intensitas dan distribusi hujan di wilayah studi. 5 7 22 Data ini



dapat diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang menyediakan catatan curah hujan historis, 25 baik dalam skala harian, bulanan, maupun tahunan. Selain itu, data dari stasiun klimatologi terdekat dan penelitian sebelumnya dapat digunakan untuk membandingkan tren perubahan curah hujan serta validasi hasil analisis. 4) Data iklim juga digunakan dalam penelitian ini untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi perubahan pola curah hujan. Data iklim mencakup informasi mengenai suhu, kelembaban, tekanan udara, serta pola angin yang berpengaruh terhadap dinamika atmosfer di wilayah Tangerang Selatan. Data ini dapat diperoleh dari BMKG maupun sumber global seperti NOAA, yang menyediakan tren perubahan iklim dalam skala lebih luas. Dengan menggabungkan berbagai data sekunder ini, penelitian dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai bagaimana perubahan spektrum hujan terjadi akibat perubahan iklim, serta dampaknya terhadap pengelolaan air dan mitigasi bencana hidrometeorologi di DAS Angke. 4) Analisis Data Tahapan selanjutnya ialah Analisis pola curah hujan di daerah Tangerang Selatan dengan kondisi iklim, maka dilakukan dengan metode statistik, yaitu: a) Analisis Statistik Deskriptif Analisis metode analisis statistik deskriptif analitis digunakan untuk mengolah dan menginterpretasikan suatu gambaran data curah 26 hujan dan iklim serta melihat keterkaitannya dengan perubahan iklim. Beberapa teknik statistik yang digunakan dalam penelitian ini meliputi uji kebenaran data, uji validitas dan uji korelasi untuk memastikan bahwa data yang digunakan akurat dan dapat memberikan kesimpulan yang valid. Dengan pendekatan statistik ini, penelitian dapat memberikan bukti mengenai bagaimana perubahan iklim berdampak terhadap spektrum hujan di Tangerang Selatan (DAS Angke) dan memberikan wawasan bagi perencanaan mitigasi bencana serta pengelolaan sumber daya air. 1) Uji Validitas Uji validitas bertujuan untuk memastikan bahwa data curah hujan yang digunakan dalam penelitian benar-benar mengukur aspek yang dimaksud, yakni perubahan spektrum hujan akibat perubahan iklim. Uji validitas dapat dilakukan

dengan membandingkan data dari beberapa sumber atau metode pengukuran yang berbeda serta menganalisis hubungan antara data yang diperoleh dengan parameter iklim lainnya, seperti suhu dan kelembaban udara. **38** Jika nilai validitas tinggi, maka data yang digunakan dianggap dapat mewakili kondisi sebenarnya.

2) Uji Korelasi uji korelasi digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi hubungan antara variabel curah hujan dengan faktor-faktor iklim lainnya, seperti kenaikan suhu, perubahan pola angin, dan fenomena ENSO. **31** Uji korelasi Pearson atau Spearman sering digunakan untuk menentukan 27 seberapa kuat hubungan antara dua variabel tersebut. Jika ditemukan korelasi

yang signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa perubahan curah hujan di DAS Angke memiliki keterkaitan dengan faktor iklim tertentu, yang selanjutnya dapat menjadi dasar dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Untuk memahami tren dalam grafik data, dapat menggunakan persamaan regresi linear ataupun korelasi pearson dan lainnya. 5) Kesimpulan dan Saran Tahap ini merupakan penjelasan dari hasil yang telah didapatkan pada proses analisis data. Serta, saran dari penelitian ini yang akan membantu di kemudian hari. **10** 3.4 Diagram Alir

Penelitian 28 BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN 4.1 Pengolahan Data 4.1 1

Penentuan Daerah Aliran Sungai (DAS) Menggunakan Aplikasi QGIS Daerah Aliran Sungai untuk penelitian ini ditentukan menggunakan perangkat lunak Quantum Geographic Information System (QGIS) Versi 3. 40.3. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menentukan bentuk DAS: a. Mengunduh Digital Elevation Model (DEM) Nasional pada situs tanahair.indonesia.go.id. b. Menentukan stasiun hujan yang berpengaruh pada DAS Angke yaitu Stasiun meteorologi Soekarno Hatta, Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan, Stasiun Hujan Fakultas teknik UI, dan yang terakhir Stasiun Klimatologi Bogor. c. Membuat Polygon Voronoi sehingga dapat dihitung luas DAS, lalu persentase pengaruh dari setiap stasiun hujan. Daerah Aliran Sungai (DAS) anak Angke didapatkan setelah melakukan beberapa langkah diatas, hasil total luas DAS yang didapat adalah 486,68 km². Polygon yang terpisah juga memiliki persentase pengaruh sesuai luas polygon



terhadap total luas DAS yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Persentase luas daerah aliran sungai berdasarkan pengaruh stasiun hujan

pada daerah Hulu dan Hilir dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3

berikut: 29 4.1.2 Data Iklim Data Iklim dibagi menjadi 2 bagian

yang terdiri dari data iklim yang diambil dari Stasiun Klimatologi

Tangerang Selatan pada website dataonline.bmkg.go.id yang terdiri dari 5

data terpisah yaitu data kecepatan angin maksimum; data kelembapan

rata-rata; data lama penyinaran matahari; data temperatur maksimum; dan

data temperatur minimum, dan data ENSO yang diambil dari website

origin.cpc.ncep.noaa.gov. 4.1.3.1 Data Iklim Berikut adalah Ketersediaan

data iklim pada Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan selama 30 tahun

terakhir. 4.1.3.2 Data ENSO Berikut Ketersediaan data ENSO selama 30

tahun terakhir. 4.1.3 Validasi Data Validasi menggunakan uji

Smirnov-Kolmogorov. Pengujian dilakukan terhadap 7 kelompok data yaitu

pada data curah hujan, data iklim yang terdiri dari data kecepatan

angin maksimum, data kelembapan rata-rata, data lama penyinaran matahari,

data temperatur maksimum, data temperatur minimum, dan data ENSO.

Pengujian Smirnov-Kolmogorov dilakukan tanpa menggunakan fungsi distribusi

tertentu. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung selisih

terbesar dari peluang pengamatan dan peluang teoritis (D_{maks}) lalu

hasilnya akan dibandingkan dengan D_{kritis} , dimana D_{kritis} untuk jumlah

data yang bernilai lebih dari 50 adalah: Keterangan N = Jumlah dat

a Persyaratan dari uji Kolmogorov-smirnov adalah nilai D_{maks} harus

lebih kecil dari nilai D_{kritis} . 30 4.1.4.1 Validasi Data Curah Hujan

Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data curah hujan.

Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D

kritis. Pada Tabel 4.7 terdapat perhitungan uji Smirnov-kolmogorov untuk

mendapatkan nilai D_{maks} pada curah hujan rerata DAS Angke. Tabel

4. 1 Uji Smirnov-Kolmogorov Data Curah Hujan Rerata Regional Das

Angke Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D

D_{maks} sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D_{kritis} yaitu



sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov. Uji smirnov-kolmogorov juga dilakukan terhadap data hujan rerata DAS Angke pada bagian Hulu dan Hilir untuk mendapatkan hasil uji tersebut. Dimana hasil nya bisa dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9. Pada kedua hasil uji Smirnov-kolmogorov didapatkan bahwa hasil dari D_{maks} sama sama dibawah D_{kritis} yang berarti bahwa kedua distribusi data ini telah memenuhi persyaratan dari uji Smirnov- Kolmogorov.

4.1.4.2Validasi Data Kecepatan Angin Maksimum Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data Kecepatan angin maksimum. Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D_{kritis} . Pada Tabel 4.10 terdapat perhitungan uji Smirnov- kolmogorov untuk mendapatkan nilai D_{maks} . 31 Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D_{maks} sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D_{kritis} yaitu sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov.

4.1.4.3Validasi Data Kelembapan Rata-Rata Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data kelembapan rata-rata. Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D_{kritis} . Pada Tabel 4.11 terdapat perhitungan uji Smirnov- kolmogorov untuk mendapatkan nilai D_{maks} . Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D_{maks} sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D_{kritis} yaitu sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov.

4.1.4.4 Validasi Data Lama Penyinaran Matahari Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data lama penyinaran matahari. Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D_{kritis} . Pada Tabel 4.12 terdapat perhitungan uji Smirnov- kolmogorov untuk mendapatkan nilai D_{maks} . Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D_{maks} sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D_{kritis} yaitu sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan

telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov. 32 4.1.4.5

Validasi Data Temperatur Maksimum Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data temperatur maksimum. Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D kritis. Pada Tabel 4.13 terdapat perhitungan uji Smirnov- kolmogorov untuk mendapatkan nilai D maks. Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D maks sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D kritis yaitu sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov. 4.1.4.6Validasi Data Temperatur Minimum Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data temperatur minimum. Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D kritis. Pada Tabel 4.14 terdapat perhitungan uji Smirnov- kolmogorov untuk mendapatkan nilai D maks. Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D maks sebesar 0,00017 yang lebih kecil dai nilai D kritis yaitu sebesar 0,013. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov-kolmogorov. 4.1.4.7Validasi Data ENSO Berikut adalah hasil dari uji Smirnov-Kolmogorov pada data El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Persyaratannya adalah nilai D_{maks} harus lebih kecil dari nilai D kritis. Pada Tabel 4.15 terdapat perhitungan uji Smirnov-kolmogorov untuk mendapatkan nilai D maks. 33 Melalui hasil perhitungan uji Smirnov-kolmogorov didapatkan nilai D maks sebesar -0,000014 yang lebih kecil dai nilai D kritis yaitu sebesar 0,0705. Hasil tersebut membuktikan bahwa data yang dikumpulkan telah memenuhi persyaratan pada uji Smirnov- kolmogorov. 34 4.2 Analisis Data Analisis hidrologi merupakan analisis yang pertama kali dilakukan dalam merancang suatu struktur keairan. Berikut merupakan langkah-langkah analisis hidrologi yang dilakukan pada penelitian kali ini: 4.2.1 Analisis Tren Data Hujan 35 Berikut merupakan grafik trend analisis curah hujan terhadap DAS Angke yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki penjelasan yang berbeda. Grafik ini mencerminkan dinamika curah hujan

DAS Angke yang dipengaruhi oleh perubahan iklim global dan tekanan antropogenik lokal yang intens. a) 1990 – 2000 Tren penurunan yang signifikan dalam curah hujan di hilir DAS Angke antara tahun 1990 dan 2000 jelas terlihat pada data awal hingga pertengahan tahun tersebut. Penurunan ini sedikit meningkat di akhir periode sebelum mencapai titik terendah sekitar tahun 1994. Beberapa faktor penting berkontribusi pada fluktuasi ini. Pertama, fenomena El Niño pada tahun 1991-1992 dan 1997-1998 menyebabkan cuaca lebih kering di daerah ini. Kedua, pola aliran udara lokal diubah oleh kecepatan pembangunan infrastruktur di Jakarta dan wilayah sekitarnya. Ketiga, dampak pergeseran penggunaan lahan di hulu sungai, yang mengurangi daya serap air tanah, mulai terlihat. Data yang dikumpulkan dari BMKG (2001) menunjukkan penurunan curah hujan tahunan antara 15 dan 20 persen selama dekade ini dibandingkan dengan periode sebelumnya. b) 1995 – 2005 Berdasarkan grafik, pola curah hujan menunjukkan peningkatan yang cukup konsisten. Setelah mencapai titik terendah di pertengahan 1990-an, terjadi peningkatan bertahap hingga mencapai puncaknya sekitar tahun 2002-2003. Beberapa faktor klimatologis berinteraksi satu sama lain untuk mempengaruhi kondisi ini. Fenomena La Niña dari tahun 1999 hingga 36 2001 membawa udara yang lebih basah ke daerah DAS Angke. Selain itu, sejumlah inisiatif penghijauan di bagian hulu mulai menunjukkan hasil yang menguntungkan bagi iklim lokal. Namun demikian, laporan LAPAN (2005) menunjukkan bahwa intensitas hujan harian maksimum justru meningkat; ini menunjukkan bahwa, meskipun jumlah total hujan meningkat, perubahan pola hujan menjadi lebih ekstrem. c) 2000 – 2010 Antara tahun 2000 dan 2010, curah hujan paling beragam dalam sejarah DAS Angke. Terjadi lonjakan besar pada tahun 2005-2007, diikuti penurunan besar pada akhir tahun. Faktor utama yang menyebabkan peningkatan curah hujan yang tiba-tiba adalah anomali iklim Dipole Mode positif tahun 2006. Sebaliknya, ketidakpastian ini diperkuat oleh perubahan pola monsun Asia yang tidak menentu. Selain itu, penting untuk dicatat bahwa

rentang waktu ini menandai semakin jelasnya dampak perubahan iklim internasional dalam hubungannya dengan tekanan urbanisasi lokal. Banjir besar yang terjadi di Jakarta pada tahun 2007 menunjukkan hubungan antara perubahan pola curah hujan dan sistem drainase yang tidak memadai (BPPT, 2010). d) 2005 – 2015 Berbeda dengan periode sebelumnya, trend grafik pada periode ini menunjukkan Tren menurun (1400-1600 mm) dengan tahun terkering pada 2014. Hal ini disebabkan oleh fenomena El Niño 2009-2010 & 2014- 2015. Serta, Normalisasi Sungai, seperti pengurangan genangan air sementara. 37 e) 2010 – 2020 Di antara tahun 2010 dan 2020, curah hujan menunjukkan peningkatan, meskipun ada fluktuasi yang signifikan. Fenomena La Niña 2010-2011 dan 2016-2017 berhasil menurunkan curah hujan ke tingkat normal. Namun, yang menarik adalah pola hujan yang terbentuk sudah sangat berbeda secara kualitatif— intensitas hujan per kejadian meningkat secara signifikan, tetapi frekuensi tidak selalu meningkat. Sejak 2013, program restorasi DAS telah menunjukkan peningkatan dalam stabilisasi siklus hidrologi. Menurut BMKG (2019), kejadian hujan ekstrem yang menyebabkan banjir bandang meningkat selama periode ini, yang menunjukkan bahwa DAS Angke telah memasuki fase baru dalam menanggapi perubahan iklim. 38 A. Analisis Trend Curah Hujan Rerata Regional Hulu 39 Berikut merupakan grafik trend analisis curah hujan terhadap bagian hulu yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki penjelasan yang berbeda. Grafik ini merefleksikan dinamika kompleks antara iklim global dan aktivitas manusia yang berdampak pada pola hujan hilir. a) 1990 – 2000 Tren curah hujan menunjukkan fluktuasi dengan kecenderungan menurun atau stabil. Terutama, akibat dominansi El Niño kuat di tahun 1997-1998 yang mengurangi curah hujan secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh faktor alam Aktivitas El Niño (kering) dan transisi ke La Niña (basah) di akhir periode (NASA, 2017). Serta, penyebab antropogenik ialah deforestasi hulu yang meningkat sejak 1990-an mengurangi penguapan lokal. b) 1995 – 2005 Terjadi peningkatan curah hujan dengan tren linie

r positif, dipicu oleh kombinasi La Niña dan Dipole Mode Samudra Hindia (IOD) positif yang membawa kelembapan tinggi. Penyebab dari tren curah hujan pada periode ini ialah meningkatnya hujan di wilayah barat Indonesia. Serta, adanya pemulihan pasca-El-Nino dengan periode basah pasca 1998 tercatat pada data TRMM ((NASA, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), 2015) c) 2000 – 2010 Kenaikan signifikan curah hujan ($V = +13.68\%$) dengan variabilitas tinggi akibat La Niña intens (2007-2008) dan pengaruh urbanisasi yang memicu hujan konvektif. Diketahui penyebab dari trend tersebut ialah 40 meningkatkan hujan hingga 20% di Asia Tenggara. Serta, efek urbanisasi melalui perluasan kota mengubah pola aliran udara. d) 2005 – 2015 Tren naik tetapi lebih landai, dipengaruhi El Niño moderat (2009-2010) dan polusi aerosol yang menghambat pembentukan awan. Penyebab dari tren pada periode ini adalah El Niño pada 2009 – 2010 menekan curah hujan regional. Serta, Aerosol Industri yang terjadi dengan menurunkan intensitas hujan melalui efek semi-direct. e) 2010 – 2020 Fluktuasi ekstrem dengan tren positif, dipicu siklon tropis dan perubahan tutupan lahan yang memperbesar runoff. Hal ini disebabkan siklon tropis seperti siklon cempaka pada tahun 2017 yang meningkatkan hujan ekstrem. Serta, adanya alih fungsi lahan seperti konversi ke perkebunan untuk mengurangi infiltrasi. 41 B. Analisis trend hujan bagian Hilir 42 Berikut merupakan grafik trend analisis curah hujan terhadap bagian hilir yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki penjelasan yang berbeda. Grafik ini mencerminkan interaksi kompleks antara faktor alam dan antropogenik yang memengaruhi curah hujan hulu. a) 1990 – 2000 Grafik menunjukkan fluktuasi curah hujan yang cenderung stabil dengan sedikit penurunan di akhir periode. Hal ini diduga dipengaruhi oleh fenomena El Niño yang terjadi pada 1997-1998, yang menyebabkan kekeringan di beberapa wilayah. Penyebab dari fluktuasi ini ialah El Niño 1997-1998 dengan mengurangi curah hujan secara signifikan. Serta, Deforestasi Awal dengan Aktivitas penebangan hutan mulai meningkat,



mengurangi kemampuan daerah hulu menahan air. b) 1995 – 2005 Terjadi peningkatan curah hujan, terutama setelah 1998, seiring dengan berakhirnya El Niño dan munculnya La Niña yang membawa kondisi lebih basah. Penyebab dari peningkatan curah hujan ini ialah pada fenomena La Niña 1998-2000, terjadi karena meningkatnya curah hujan secara signifikan. Serta, Pemulihan Ekosistem seperti reboisasi parsial dan pengelolaan lahan yang lebih baik turut berperan. c) 2000 – 2010 Tren curah hujan menunjukkan kenaikan yang stabil, dengan puncak pada 2007-2008 akibat La Niña kuat. Variabilitas tinggi terlihat karena pengaruh lokal seperti perubahan tutupan lahan. Tren hujan pada periode ini disebabkan oleh fenomena La Niña 2007-2008 dengan membawa hujan lebat dan banjir di beberapa daerah. Serta, Urbanisasi: Perubahan lahan hutan menjadi permukiman memengaruhi pola hujan lokal. d) 2005 – 2015 Kenaikan curah hujan melambat, dengan beberapa tahun kering seperti 2009-2010 karena El Niño moderat. Polusi udara juga mulai memengaruhi pembentukan awan. Penyebab dari periode ini ialah El Niño 2009-2010 dengan menurunkan curah hujan untuk sementara. Serta, pengaruh aerosol industri yang menghambat pertumbuhan awan hujan. e) 2010 – 2020 Fluktuasi ekstrem terjadi, dengan tahun basah (2011, 2017) dan kering (2015, 2019) akibat kombinasi siklon tropis dan perubahan iklim global. Penyebab dari fluktuasi yang ekstrem pada periode ini dikarenakan adanya siklon tropis yang meningkatkan hujan ekstrem seperti siklon cempaka 2017. Serta, perubahan iklim global yang memperparah variabilitas curah hujan.

4.2.2 Analisis Tren Iklim A. Analisis Trendline Data Temperatur Minimum

45 Berdasarkan grafik tersebut menggambarkan trend data terhadap temperatur minimum. Sama halnya dengan trend curah hujan hulu dan hilir, grafik ini mencerminkan dinamika kompleks sistem iklim yang dipengaruhi oleh faktor alam dan antropogenik.

a) 1990 – 2000 Grafik menunjukkan penurunan temperatur minimum yang stabil, terutama pada pertengahan dekade. Nilai terendah tercatat sekitar tahun 1995. Penyebab dari penurunan temperatur pada



periode ini ialah adanya letusan gunung pinatubo pada 1991, Abu vulkanik menyebar di atmosfer dan memantulkan sinar matahari, menyebabkan pendinginan global. Serta, Fase Dingin ENSO (La Niña) dengan Dominasi La Niña tahun 1995- 1996 berkontribusi pada suhu lebih dingin (Climate, 2025). b) 1995 – 2005 Temperatur minimum menunjukkan fluktuasi dengan kecenderungan meningkat perlahan setelah tahun 2000. Penyebab dari temperatur yang mulai meningkat pada periode ini ialah adanya pemulihan pasca letusan Gunung Pinatubo, dengan atmosfer mulai bersih dari abu vulkanik. Serta perubahan pola samudra pasifik dengan osilasi dekadal pasifik yang memasuki fase hangat. c) 2000 – 2010 Terjadi penurunan suhu kembali terlihat, terutama pada tahun 2005-2007. Penurunan suhu diakibatkan oleh aktivitas matahari minimum dengan siklus matahari ke- 23 yang lemah. Serta, peningkatan aerosol atmosfer pada polusi industri asia yang meningkatkan efek pendinginan. d) 2005 – 2015 Temperatur minimum stabil dengan sedikit fluktuasi, menunjukkan keseimbangan antara faktor pendinginan dan pemanasan. Penyebab temperatur pada periode ini ialah kombinasi faktor regional laut yang moderat dan variabilitas iklim lokal. Serta, Perubahan tutupan lahan melalui efek urbanisasi yang meningkatkan efek pulau panas perkotaan pada beberapa area. e) 2010 – 2020 Grafik menunjukkan penurunan suhu minimum yang signifikan pada tahun 2011 dan 2017. Penyebab pada periode ini ialah letusan gunung kelud pada 2014 dengan abu vulkanik yang mengakibatkan pendinginan regional. Serta, peristiwa La Niña Ganda (2010-2012 & 2016-2018) yang membawa kondisi lebih dingin. B. Analisis Trendline Data Temperatur Maksimum 48 Berdasarkan grafik tersebut menggambarkan trend data terhadap temperatur maksimum. Grafik ini menunjukkan tren jangka panjang pemanasan global yang diperparah oleh aktivitas manusia, dengan variasi tahunan yang dipengaruhi fenomena alam seperti ENSO. a) 1990 – 2000 Grafik menunjukkan tren peningkatan temperatur maksimum yang stabil, dengan percepatan di akhir dekade. Penyebab dari peningkatan temperatur pada periode ini ialah adanya

pemanasan global awal dengan konsentrasi CO₂ atmosfer mencapai 360 ppm. Serta, penurunan aerosol global karena emisi sulfat pasca perang dingin mengurangi efek pendinginan. b) 1995 – 2005 Lonjakan suhu maksimum signifikan terjadi pada 1997-1998 akibat El Niño kuat. 2 Penyebab peningkatan temperatur maksimum ini dikarenakan El Niño 1997-1998, peristiwa terkuat abad ke-20 meningkatkan suhu global. Serta, Urbanisasi Pesat dengan ekspansi kota-kota besar meningkatkan efek urban heat island (UHI). c) 2000 – 2010 Suhu maksimum terus meningkat dengan rekor baru di 2003 dan 2007. 35 Peningkatan temperatur ini disebabkan oleh emisi gas rumah kaca dengan konsentrasi CO₂ melewati 380 ppm. Serta, perubahan tutupan lahan pada konversi hutan perkebunan mengurangi evapotranspirasi. d) 2005 – 2015 Berbeda dengan periode sebelumnya, pada periode ini Tren peningkatan melambat namun tetap positif, dengan fluktuasi tahunan. Penyebab dari periode ini ialah variabilitas alam dengan fase negatif PDO meredam pemanasan sementara. ⁴⁹ Serta, kebijakan lingkungan melalui implementasi awal protokol Kyoto yang memberi efek terbatas. e) 2010 – 2020 Rekor suhu maksimum berulang kali terpecahkan, terutama 2015-2016. Pada periode ini didukung dengan adanya peristiwa El Niño 2015-2016. Serta, aktivitas manusia dengan mengurangi emisi karbon hingga mencapai rekor tertinggi (Global Carbon Project) 50 C. Analisis Trenline Data Kelembapan Rata-Rata ⁵¹ Berdasarkan grafik tersebut menggambarkan trend data terhadap kelembapan rata-rata. Grafik ini mencerminkan interaksi kompleks antara faktor iklim alami dan antropogenik. a) 1990 – 2000 Kelembapan rata-rata di DAS Angke meningkat 5-8% dengan fluktuasi musiman yang jelas. Penyebab dari kelembapan pada periode ini ialah adanya alih fungsi lahan dengan konversi lahan basah dan sawah menjadi permukiman untuk mengurangi evaporasi alami. Serta, adanya peningkatan curah hujan melalui Aktivitas La Niña 1996-1999. b) 1995 – 2005 Lonjakan kelembapan mencapai puncak (10-12%) pada 1998- 2001, kemudian stabil. Penyebab pada periode ini ialah adanya banjir besar tahun 2002 yang mengakibatkan genangan air berkepanjangan di

bantaran sungai angke dan meningkatkan kelembapan mikro. Serta, polusi udara, khususnya pada emisi industri cengkareng yang menghambat dispersi uap air. c) 2000 – 2010 Kelembapan tetap tinggi (rata-rata 75-80%) dengan variasi harian signifikan. Penyebab kelembapan pada periode ini ialah efek pulau panas perkotaan (UHI), sehingga suhu permukaan jakarta meningkat 1.2°C dan mempercepat penguapan. Serta, berkurangnya ruang terbuka hijau sekitar 40% RTH di DAS Angke. d) 2005 – 2015 Penurunan kelembapan (3-5%) akibat normalisasi sungai dan kekeringan 2014. Hal ini disebabkan oleh adanya proyek normalisasi Sungai Angke yang mengurangi genangan air. Serta, peristiwa El Niño 2014-2015 dengan Musim kemarau panjang yang menekan kelembapan. e) 2010 – 2020 52 Kelembapan kembali naik (78-82%) dengan puncak pada 2016-2017. Hal ini dikarenakan adanya banjir rob melalui intrusi air laut yang meningkatkan kelembapan di daerah pesisir. Serta, tingginya curah hujan melalui fenomena La Niña 2016-2017 memicu hujan ekstrem. 53 D. Analisis Trendline Data Kecepatan Angin Maksimum 54 Berdasarkan grafik tersebut menggambarkan trend data terhadap kecepatan angin maksimum. Grafik ini mencerminkan kompleksitas interaksi antara faktor alam dan tekanan antropogenik di DAS Angke yang terletak di kawasan metropolitan padat. Analisis tren data kecepatan angin maksimal. a) 1990 – 2000 Kecepatan angin maksimum menunjukkan tren stabil dengan rata-rata 15-20 knot, namun mengalami penurunan di akhir dekade. Pada periode ini kecepatan angin disebabkan oleh urbanisasi awal dengan pembangunan permukiman dan mengurangi aliran angin permukaan. Serta, Perubahan tutupan lahan, dengan konversi lahan terbuka menjadi bangunan guna menciptakan penghalang aliran angin. b) 1995 – 2005 Peningkatan kecepatan angin hingga 25 knot terjadi pada 1997-1998, diikuti penurunan. Penyebabnya ialah peristiwa El Niño 1997-1998 yang meningkatkan perbedaan tekanan udara lokal. Serta, Banjir besar pada 2002 dengan genangan air luas yang memodifikasi pola angin mikro. c) 2000 – 2010 Fluktuasi signifikan dengan kecepatan maksimum 22-28 knot, terutama saat musim

transisi. Penyebab fluktuasi pada periode ini ialah efek coriolis perkotaan dengan gedung tinggi yang mengubah arah dan kecepatan angin. Serta, peningkatan aktivitas industri pada emisi panas dari kawasan industri cengkareng yang menciptakan turbulensi. d) 2005 – 2015 Tren menurun (rata-rata 18-22 knot) dengan pengecualian lonjakan pada 2010. Penyebab periode ini ialah adanya 55 normalisasi sungai angke dengan pengurangan permukaan air terbuka dan menurunkan konveksi angin. Serta, polusi udara melalui aerosol yang dapat menghambat pergerakan angin permukaan. e) 2010 – 2020 Kenaikan ekstrem hingga 30 knot (2016-2017) dengan variabilitas tinggi. Periode ini diakibatkan oleh adanya siklon tropis dekat Jawa yang dapat meningkatkan gradien tekanan udara. Serta, pembangunan PLTU Cilamaya yang menciptakan aliran angin lokal. 56 E. Analisis Trenline Data Lama Penyinaran Matahari 57 Berdasarkan grafik tersebut menggambarkan trend data terhadap sinar matahari. Grafik ini menunjukkan dampak kompleks urbanisasi dan aktivitas industri terhadap ketersediaan sinar matahari di DAS Angke yang terletak di kawasan industri-pemukiman padat. a) 1990 – 2000 Intensitas sinar matahari menunjukkan tren menurun sebesar 10-15% dengan fluktuasi musiman yang jelas. Penyebab dari periode ini ialah adanya peningkatan polusi udara oleh Emisi industri dan kendaraan bermotor di Jakarta Barat mengurangi transmisi cahaya matahari. Serta, pembukaan lahan oleh Debu konstruksi dari urbanisasi awal DAS Angke meningkatkan hamburan atmosfer. b) 1995 – 2005 Penurunan tajam (20%) pada 1997-1998 diikuti pemulihan parsial. Penyebab penurunan ini ialah adanya kabut asap kebakaran hutan yang memberikan dampak regional dari kebakaran hutan Sumatra dan Kalimantan. Serta fenomena 1997-1998 dengan meningkatkan pembentukan awan tinggi yang memantulkan sinar matahari. c) 2000 – 2010 Stagnasi intensitas dengan variasi harian yang besar. Penyebab pada periode ini ialah kepadatan bangunan dengan gedung tinggi di kawasan pluit dan cengkareng yang menciptakan bayangan urban. Serta, Emisi kapal pelabuhan dengan sulfat dari aktivitas pelabuhan

Tanjung Priok dalam meningkatkan aerosol. d) 2005 – 2015 Kenaikan 5-8 % terutama pada musim kemarau. Penyebab periode ini ialah adanya kebijakan langit biru dengan pengurangan emisi industri di Jakarta Utara. Serta, 58 normalisasi sungai dengan pengurangan genangan air dalam menurunkan kelembapan dan pembentukan awan. e) 2010 – 2020 Fluktuasi ekstrem dengan penurunan signifikan (15%) pada 2015-2016. Hal ini disebabkan oleh adanya kebakaran lahan gambut yang memberikan dampak kabut asap lintas provinsi. Serta, pembangunan PLTU dengan emisi partikel PLTU Cilamaya dalam mengurangi radiasi matahari. 59 F. Analisis Trendline Data ENSO 60 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) adalah fenomena iklim yang memengaruhi pola cuaca global, termasuk curah hujan di Indonesia. DAS (Daerah Aliran Sungai) Angke terletak di wilayah Jakarta dan sekitarnya, yang sangat dipengaruhi oleh variabilitas iklim seperti ENSO. El Niño umumnya menyebabkan kekeringan, sedangkan La Niña meningkatkan curah hujan. Grafik ENSO menunjukkan variasi kondisi El Niño-Southern Oscillation (ENSO) dari tahun 1990 hingga 2020, Tren linear pada grafik menunjukkan perubahan intensitas ENSO dari waktu ke waktu, yang mungkin terkait dengan pemanasan global yang memodifikasi pola sirkulasi atmosfer dan laut. Berikut merupakan penjelasan analisis tiap periode curah hujan rerata regional terhadap ENSO. f) 1990 – 2000 Pada tren periode ini curah hujan mengalami penurunan curah hujan sesuai dengan dominasi El-Niño moderat pada 1991-1992 dan 1997-1998. Penyebab dari penurunan trend ini disebabkan oleh fenomena El Niño yang mampu mengurangi konveksi di wilayah Indonesia, termasuk DAS Angke. Hal ini didasarkan oleh studi BMKG (1999) mencatat penurunan hujan hingga 40% selama El Niño tahun 1997. g) 1995 – 2005 Trend grafik ini mengalami fluktuasi dengan puncak hujan tertinggi pada tahun 1999-2000 pada fenomena La Niña. Penyebab pada periode ialah adanya transisi dari El Niño 1997-1998 ke La Niña 1999-2000 yang membuat meningkatnya curah hujan. Berdasarkan laporan puslitbang SDA (2001) menunjukkan adanya kenaikan hujan 20-30% selama

fenomena La Niña 2000 – 2010. 61 Trend grafik ini cenderung stabil dengan sedikit penurunan karena didominasi oleh fenomena El Niño 2002-2003 dan 2006-2007. Periode ini disebabkan oleh El Niño lemah hingga moderat mengurangi hujan, tetapi dampaknya tidak sekuat tahun 1997-1998. Menurut Data PUPR (2010), terjadinya penurunan hujan tahunan rata-rata 5-10%. h) 2005 – 2015 Trend grafik periode ini mengalami kenaikan curah hujan karena fenomena La Niña 2010-2011. Penyebab dari periode ini ialah fenomena La Niña tahun 2010-2011 yang memicu terjadinya banjir besar di Jakarta termasuk DAS Angke. Menurut Riset LIPI tahun 2012 menghubungkan La Niña dengan adanya peningkatan 25-35%.

i) 2010 – 2020 Trend grafik pada periode ini cenderung mengalami variabilitas tinggi antara fenomena El Niño 2015 dengan La Niña 2016. Periode ini disebabkan oleh fenomena El Niño 2015 yang menyebabkan kekeringan, kemudian diikuti dengan fenomena La Niña 2016 yang memulihkan curah hujan. Berdasarkan Analisis BPPT tahun 2017 menunjukkan fluktuasi hujan ekstrem akibat ENSO. 62

4.2.3 Analisis Korelasi Data

Analisis korelasi antara fenomena iklim (ENSO) dan curah hujan di DAS Angke dilakukan dengan tiga pendekatan utama untuk memahami hubungannya secara komprehensif. Pertama, analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara indeks ENSO (El Niño-Southern Oscillation) dan data curah hujan bulanan. Pendekatan ini membantu mengidentifikasi apakah El Niño (fase kering) atau La Niña (fase basah) secara signifikan memengaruhi variasi curah hujan di wilayah ini. Kedua, persamaan regresi linear diterapkan untuk memodelkan pengaruh ENSO terhadap curah hujan dalam bentuk matematis. Dengan metode ini, dapat diperkirakan seberapa besar perubahan indeks ENSO berdampak pada peningkatan atau penurunan curah hujan di DAS Angke. Pendekatan ini juga memungkinkan prediksi kondisi ekstrem, seperti banjir atau kekeringan, berdasarkan fase ENSO yang sedang berlangsung. Pengamatan visual melalui grafik dilakukan untuk memvalidasi hasil analisis statistik dengan melihat pola temporal antara data ENSO

dan curah hujan. Grafik ini membandingkan tren historis, seperti periode El Niño 1997-1998 atau La Niña 2016-2017, dengan kejadian banjir dan kekeringan di DAS Angke. 63 4.2.3.1 Analisis Korelasi Iklim terhadap Curah Hujan Berdasarkan Grafik a) Korelasi Temperatur Minimum terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik Temperatur Minimum terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke 64 Berdasarkan grafik berikut, dapat diinterpretasikan bahwa terdapat hubungan yang kompleks antara curah hujan dan temperatur minimum di Daerah Aliran Sungai (DAS) Angke. Pola curah hujan menunjukkan fluktuasi musiman yang signifikan, dengan puncak curah hujan umumnya terjadi pada bulan-bulan basah seperti Januari dan Februari, sementara temperatur minimum cenderung lebih rendah selama periode ini. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya tutupan awan yang menghambat radiasi matahari pada malam hari, sekaligus meningkatkan intensitas presipitasi. Namun, data juga menunjukkan adanya anomali di beberapa tahun tertentu dimana temperatur minimum justru meningkat selama musim hujan, kemungkinan akibat efek urban heat island yang semakin intensif di kawasan Jakarta Utara dimana DAS Angke berada. Melalui analisis dapat mengungkapkan bahwa tren jangka panjang menunjukkan kenaikan temperatur minimum yang konsisten seiring dengan berkurangnya curah hujan tahunan di DAS Angke. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, termasuk perubahan iklim global yang mempengaruhi pola hujan regional, serta perubahan tata guna lahan lokal yang mengurangi area resapan air dan meningkatkan suhu permukaan. Kombinasi antara penurunan curah hujan dan peningkatan temperatur minimum berpotensi memperparah masalah kekeringan dan defisit air tanah di wilayah tersebut. Data ini menyoroti pentingnya pendekatan terpadu dalam pengelolaan DAS Angke yang mempertimbangkan aspek klimatologis dan urbanisasi untuk mitigasi dampak perubahan iklim di kawasan perkotaan. 65 2) Grafik Temperatur Minimum terhadap Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Berdasarkan grafik, dapat dijelaskan bahwa terdapat hubungan yang menarik antara curah hujan di

hulu DAS Angke dengan temperatur minimum. Secara umum, pola curah hujan di hulu menunjukkan fluktuasi musiman yang lebih stabil dibandingkan dengan daerah hilir, dengan puncak curah hujan terjadi pada bulan-bulan basah antara November hingga Februari. Temperatur minimum di wilayah hulu cenderung lebih rendah selama musim hujan ini, kemungkinan karena efek pendinginan evaporatif dari vegetasi yang masih relatif terjaga di daerah hulu serta ketinggian topografi yang lebih tinggi dibandingkan wilayah hilir. Namun, data juga menunjukkan adanya tren peningkatan temperatur minimum dalam beberapa tahun terakhir, yang mungkin terkait dengan perubahan tutupan lahan di daerah penyangga. 7 Analisis ini mengungkapkan bahwa variabilitas curah hujan di hulu DAS Angke memiliki korelasi yang signifikan dengan temperatur minimum, terutama pada periode musim kemarau. Ketika curah hujan berkurang, temperatur minimum cenderung lebih tinggi karena berkurangnya kandungan air tanah dan kelembapan permukaan. Fenomena ini semakin diperparah oleh adanya alih fungsi lahan di daerah hulu dari kawasan hijau menjadi permukiman atau lahan pertanian, yang mengurangi kapasitas evapotranspirasi dan meningkatkan suhu permukaan. Data ini menyoroti pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem di daerah hulu untuk mempertahankan siklus hidrologi yang stabil dan mengendalikan variasi temperatur mikro di wilayah DAS Angke secara keseluruhan. 66 67 3) Grafik Temperatur Minimum terhadap Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan grafik, terlihat hubungan yang cukup jelas antara curah hujan di hilir DAS Angke dengan temperatur minimum. Secara umum, pola grafik menunjukkan bahwa ketika curah hujan meningkat, temperatur minimum cenderung lebih rendah, terutama pada periode-periode tertentu seperti tahun 1995-2000 dan 2010-2015. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme pendinginan evaporatif, dimana tingginya curah hujan meningkatkan kandungan air di permukaan tanah dan vegetasi, sehingga proses evaporasi dan evapotranspirasi menurunkan suhu udara di malam hari. Namun, terdapat beberapa tahun anomali seperti periode 2000-2005 dimana temperatur minimum tetap tinggi meskipun curah hujan



relatif stabil, kemungkinan akibat efek urban heat island yang semakin intensif di kawasan hilir yang telah terurbanisasi padat. Tren jangka panjang dari grafik ini mengindikasikan adanya peningkatan gradual temperatur minimum di hilir DAS Angke selama tiga dekade terakhir, sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif tanpa tren peningkatan atau penurunan yang jelas. Hal ini mencerminkan dampak signifikan dari urbanisasi dan perubahan tutupan lahan di wilayah hilir, dimana berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya permukaan kedap air telah mengurangi efek pendinginan alami dari curah hujan. Data ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan tata ruang yang memperhatikan keseimbangan hidro-termal di kawasan hilir DAS Angke, khususnya melalui perluasan ruang terbuka hijau dan sistem drainase berkelanjutan yang dapat mempertahankan efek moderasi curah hujan terhadap temperatur minimum.

69 b) Korelasi Temperatur Maksimum terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke

1) Grafik Temperatur Maksimum terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan grafik, terlihat hubungan yang kompleks antara curah hujan dan temperatur maksimum di DAS Angke. Secara umum, pola grafik menunjukkan kecenderungan inversi dimana periode dengan curah hujan tinggi (seperti sekitar tahun 2000 dan 2011) cenderung memiliki temperatur maksimum yang lebih rendah. Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme pendinginan awan, dimana tingginya tutupan awan selama musim hujan mengurangi radiasi matahari langsung ke permukaan. Namun, terdapat beberapa pengecualian penting, seperti pada periode 2005-2010 dimana kedua variabel menunjukkan nilai yang relatif tinggi secara bersamaan, kemungkinan akibat fenomena iklim skala regional atau perubahan tutupan lahan lokal yang mempengaruhi mikroklimat. Tren jangka panjang dari grafik ini mengungkapkan dua fenomena yang saling terkait: pertama, peningkatan gradual temperatur maksimum selama periode pengamatan, dan kedua, variabilitas curah hujan yang semakin ekstrem.

13 Kenaikan temperatur maksimum ini konsisten dengan dampak urbanisasi dan efek pulau panas perkotaan (urban heat island) di wilayah DAS Angke,



sementara pola curah hujan yang semakin fluktuatif mencerminkan pengaruh perubahan iklim global. Data ini menyoroti perlunya strategi adaptasi yang komprehensif, termasuk pengelolaan tata guna lahan yang memperhatikan keseimbangan hidro-termal dan pengembangan infrastruktur hijau untuk memitigasi 70 dampak peningkatan temperatur di kawasan urban seperti DAS Angke. 71 2) Grafik Temperatur Maksimum terhadap Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Grafik menunjukkan hubungan yang kompleks antara curah hujan di hulu DAS Angke dan temperatur maksimum selama periode pengamatan. Secara umum, terlihat pola bahwa ketika curah hujan tinggi (seperti pada tahun 2000 dan 2011), temperatur maksimum cenderung lebih rendah, yang dapat dijelaskan melalui mekanisme pendinginan evaporatif dari vegetasi hulu yang masih relatif terjaga. Namun, terdapat periode-periode tertentu (misalnya sekitar 2006 dan 2017) dimana kedua variabel ini menunjukkan nilai tinggi secara bersamaan, kemungkinan akibat kombinasi antara efek perubahan iklim regional dan alih fungsi lahan di daerah hulu yang mengurangi tutupan vegetasi alami. Tren jangka panjang mengindikasikan adanya peningkatan gradual temperatur maksimum di hulu DAS Angke, sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif tanpa tren yang jelas. Fenomena ini mencerminkan dampak ganda dari perubahan iklim global dan tekanan antropogenik lokal, dimana berkurangnya tutupan hutan di hulu telah mengurangi kapasitas evapotranspirasi dan meningkatkan suhu permukaan. Data ini menggarisbawahi pentingnya menjaga kelestarian ekosistem hulu sebagai bagian dari strategi adaptasi terhadap perubahan iklim dan pengendalian iklim mikro di wilayah DAS Angke secara keseluruhan. 72 3) Grafik Temperatur Maksimum terhadap Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Grafik curah hujan di hilir DAS Angke dan temperatur maksimum menunjukkan hubungan yang dipengaruhi oleh dinamika iklim lokal dan tekanan urbanisasi. Secara umum, terlihat pola bahwa curah hujan tinggi (seperti pada tahun 2000 dan 2011) cenderung berbanding terbalik dengan temperatur maksimum, dimana suhu yang lebih rendah terjadi saat

intensitas hujan meningkat. Hal ini disebabkan oleh efek pendinginan dari evaporasi air hujan dan meningkatnya tutupan awan yang mengurangi radiasi matahari langsung. Namun, pada periode tertentu seperti tahun 2006 dan 2022, teramati peningkatan temperatur maksimum meskipun curah hujan relatif tinggi, kemungkinan akibat efek urban heat island yang semakin dominan di kawasan hilir yang telah terurbanisasi padat. Tren jangka panjang menunjukkan peningkatan signifikan temperatur maksimum di hilir DAS Angke selama dua dekade terakhir, sementara curah hujan menunjukkan variabilitas musiman yang lebih menonjol tanpa tren peningkatan yang jelas. Fenomena ini mencerminkan dampak ganda dari perubahan iklim global dan transformasi lahan skala lokal, dimana berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya permukaan kedap air di kawasan hilir telah memperkuat efek pemanasan permukaan. Data ini mengindikasikan perlunya strategi adaptasi berbasis ekosistem, seperti optimalisasi taman kota dan sistem drainase berkelanjutan, untuk memitigasi kenaikan temperatur di wilayah hilir DAS Angke yang semakin rentan terhadap dampak perubahan iklim dan urbanisasi.

73 c) Korelasi Kelembapan Rata-Rata terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke

1) Grafik Kelembapan Rata-Rata terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke

Grafik hubungan antara curah hujan dan kelembapan rata-rata di DAS Angke menunjukkan korelasi positif yang cukup jelas sepanjang periode pengamatan. Ketika curah hujan meningkat, seperti terlihat pada tahun 1995, 2000, dan 2011, kelembapan rata-rata juga cenderung lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh mekanisme alamiah dimana presipitasi yang tinggi akan meningkatkan kandungan uap air di udara melalui proses evaporasi dari permukaan tanah dan badan air. Namun, terdapat beberapa periode anomali seperti tahun 2006 dimana kelembapan tetap tinggi meskipun curah hujan relatif rendah, kemungkinan akibat pengaruh angin laut dari Teluk Jakarta yang membawa uap air tambahan ke wilayah ini. Tren jangka panjang dari grafik ini mengungkapkan dua fenomena penting: pertama, peningkatan gradual kelembapan rata-rata seiring waktu

meskipun curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif. Kedua, semakin tingginya kelembapan minimum pada musim kemarau dalam dekade terakhir. Kondisi ini mencerminkan dampak urbanisasi yang masif di DAS Angke, dimana berkurangnya daerah resapan air dan meningkatnya permukaan kedap telah memodifikasi siklus hidrologi lokal. Tingginya kelembapan yang terus-menerus ini berpotensi memperparah efek panas terperangkap (heat trapping effect) di kawasan perkotaan, sekaligus meningkatkan risiko pembentukan awan hujan konvektif yang dapat memicu hujan lebat dalam skala lokal. 74 2) Grafik Kelembapan Rata-Rata terhadap Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hulu DAS Angke dan kelembapan rata-rata menunjukkan pola yang relatif stabil dengan korelasi positif yang jelas. Ketika curah hujan di hulu meningkat, seperti terlihat pada periode 1995-2000 dan 2010-2015, kelembapan rata-rata juga cenderung meningkat secara proporsional. Hal ini disebabkan oleh mekanisme alamiah dimana air hujan yang meresap ke tanah dan mengisi badan air di hulu DAS kemudian mengalami evaporasi, sehingga meningkatkan kandungan uap air di atmosfer. Namun, terdapat beberapa penyimpangan seperti pada tahun 2006 dimana kelembapan tetap tinggi meskipun curah hujan menurun, kemungkinan akibat pengaruh angin lembab dari arah selatan yang membawa uap air dari wilayah pegunungan sekitarnya. Secara jangka panjang, grafik ini mengungkapkan tren peningkatan gradual kelembapan rata-rata di hulu DAS Angke, meskipun dengan fluktuasi curah hujan yang lebih bervariasi. Fenomena ini mencerminkan perubahan ekosistem di wilayah hulu dimana berkurangnya tutupan vegetasi alami telah mengurangi kapasitas penyimpanan air tanah, namun di sisi lain meningkatkan laju evaporasi dari permukaan tanah yang lebih terbuka. Kondisi ini berpotensi mengubah siklus hidrologi lokal dan memperbesar variabilitas kelembapan udara di wilayah hulu. Data ini menegaskan pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem hulu sebagai pengendali iklim mikro yang vital bagi keseluruhan DAS Angke. 75 3) Grafik Kelembapan Rata-Rata terhadap Curah

Hujan Rerata Hilir DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hilir DAS Angke dan kelembapan rata-rata menunjukkan pola yang lebih kompleks dibandingkan wilayah hulu, dengan variabilitas yang lebih tinggi sepanjang periode pengamatan. Ketika curah hujan di hilir meningkat, seperti terlihat pada tahun 2000 dan 2011, kelembapan rata-rata cenderung meningkat akibat proses evaporasi dari genangan air permukaan dan peningkatan kandungan uap air di atmosfer. Namun, terdapat beberapa periode anomali, seperti pada tahun 2006 dan 2017, dimana kelembapan tetap tinggi meskipun curah hujan relatif rendah - fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh efek urban heat island yang memerangkap uap air di antara bangunan- bangunan tinggi serta kontribusi kelembapan dari aktivitas manusia seperti industri dan transportasi air. Tren jangka panjang menunjukkan peningkatan signifikan kelembapan rata-rata di hilir DAS Angke, terutama dalam dekade terakhir (2012-2022), sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif. Kondisi ini mencerminkan dampak berat urbanisasi di wilayah hilir, dimana berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya permukaan kedap air telah mengubah siklus hidrologi lokal. Kelembapan tinggi yang persisten ini berpotensi menciptakan kondisi tidak nyaman bagi penghuni kota sekaligus meningkatkan risiko pembentukan awan hujan konvektif yang dapat memicu hujan lebat lokal dan banjir bandang. Data ini menggarisbawahi perlunya strategi pengelolaan tata ruang yang lebih berkelanjutan di kawasan hilir untuk mengembalikan keseimbangan hidrologi dan iklim mikro wilayah tersebut.

76 d) Korelasi Kecepatan Angin Maksimal terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke

1) Grafik Kecepatan Angin Maksimal terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke

Grafik hubungan antara curah hujan dan kecepatan angin maksimal di DAS Angke menunjukkan pola yang bervariasi sepanjang periode pengamatan. Secara umum, terlihat bahwa peningkatan curah hujan seringkali diikuti oleh peningkatan kecepatan angin maksimal, terutama selama musim hujan. Hal ini disebabkan oleh sistem konvektif yang terbentuk akibat pemanasan permukaan

dan ketidakstabilan atmosfer selama periode hujan lebat, yang kemudian memicu angin kencang. Namun, terdapat beberapa periode dimana kedua variabel ini tidak menunjukkan korelasi yang jelas, seperti pada tahun 2006 dan 2017, dimana kecepatan angin tetap tinggi meskipun curah hujan relatif rendah. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lokal seperti topografi urban dan efek coriolis dari bangunan tinggi di sekitar DAS Angke yang mengubah pola aliran angin. Tren jangka panjang menunjukkan adanya peningkatan gradual kecepatan angin maksimal di DAS Angke, sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif tanpa tren yang jelas. Fenomena ini mencerminkan dampak perubahan iklim regional dan urbanisasi yang masif, dimana berkurangnya vegetasi dan meningkatnya bangunan tinggi telah mengubah pola aliran angin lokal. Kecepatan angin yang semakin tinggi berpotensi memperparah dampak cuaca ekstrem, seperti kerusakan infrastruktur dan penyebaran polutan udara. Data ini menggarisbawahi pentingnya pengelolaan tata ruang yang memperhatikan aspek aerodinamik dan perlindungan terhadap angin kencang di kawasan DAS Angke.

78 2) Grafik Kecepatan Angin Maksimal terhadap Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hulu DAS Angke dan kecepatan angin maksimal menunjukkan pola yang cukup jelas sepanjang periode pengamatan. Terdapat kecenderungan bahwa puncak curah hujan (seperti pada tahun 1995, 2000, dan 2011) umumnya bertepatan dengan peningkatan kecepatan angin maksimal. Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme sistem konvektif skala meso, dimana pembentukan awan hujan di daerah hulu seringkali disertai dengan aktivitas angin kencang akibat perbedaan tekanan udara yang signifikan. Namun, terdapat beberapa periode anomali seperti tahun 2006 dimana kecepatan angin tetap tinggi meskipun curah hujan relatif rendah, kemungkinan disebabkan oleh pengaruh angin lokal yang diperkuat oleh topografi berbukit di wilayah hulu. Tren jangka panjang menunjukkan peningkatan gradual kecepatan angin maksimal di hulu DAS Angke, sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif.

Fenomena ini mencerminkan perubahan lingkungan di wilayah hulu dimana berkurangnya tutupan vegetasi alami telah mengurangi hambatan terhadap aliran angin, sekaligus meningkatkan potensi angin kencang. Data ini mengindikasikan bahwa perubahan penggunaan lahan di hulu DAS Angke tidak hanya mempengaruhi siklus hidrologi, tetapi juga karakteristik aerodinamik wilayah tersebut, yang berimplikasi pada potensi erosi tanah dan penyebaran partikulat udara. 79 3) Grafik Kecepatan Angin Maksimal terhadap Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hilir DAS Angke dan kecepatan angin maksimal menunjukkan pola yang lebih kompleks dibandingkan wilayah hulu, dengan variabilitas yang tinggi sepanjang periode pengamatan. Peningkatan curah hujan di hilir, seperti terlihat pada tahun 2000 dan 2011, umumnya diikuti oleh peningkatan kecepatan angin maksimal akibat sistem konvektif yang terbentuk dari pertemuan angin laut dan darat. Namun, terdapat beberapa pengecualian penting seperti pada tahun 2006 dan 2017 dimana kecepatan angin tetap tinggi meskipun curah hujan relatif rendah - fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh efek kanalisasi angin (wind channeling) di antara gedung-gedung tinggi serta pengaruh angin laut yang diperkuat oleh morfologi perkotaan di kawasan hilir. Tren jangka panjang mengungkapkan peningkatan signifikan kecepatan angin maksimal di hilir DAS Angke, terutama dalam dekade terakhir (2012-2022), sementara curah hujan menunjukkan variabilitas yang lebih fluktuatif. Kondisi ini merefleksikan dampak urbanisasi masif di wilayah hilir, dimana perubahan tata ruang dengan dominasi bangunan tinggi telah menciptakan efek venturi yang mempercepat aliran angin permukaan. Peningkatan kecepatan angin ini berpotensi memperparah dampak cuaca ekstrem seperti kerusakan infrastruktur dan gangguan transportasi, sekaligus mempengaruhi dispersi polutan udara di kawasan padat penduduk. Data ini menegaskan perlunya pendekatan tata ruang yang mempertimbangkan aspek aerodinamik perkotaan dalam pengembangan wilayah hilir DAS Angke. 80 e) Korelasi Lama Penyinaran Matahari terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik

Lama Penyinaran Matahari terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke

Grafik hubungan antara curah hujan dan lama penyinaran matahari di DAS Angke menunjukkan pola yang saling berbanding terbalik secara jelas. Ketika curah hujan tinggi (seperti pada tahun 1995, 2000, dan 2011), lama penyinaran matahari cenderung lebih rendah karena meningkatnya tutupan awan selama musim hujan. Sebaliknya, pada periode curah hujan rendah seperti tahun 2006 dan 2017, durasi penyinaran matahari meningkat signifikan. Pola ini konsisten dengan mekanisme meteorologis dasar dimana sistem awan hujan yang tebal akan menghalangi radiasi matahari mencapai permukaan tanah. Namun, terdapat beberapa penyimpangan kecil seperti pada akhir periode pengamatan (2020-2022) dimana kedua variabel menunjukkan nilai sedang, kemungkinan akibat perubahan pola awan lokal yang dipengaruhi oleh urbanisasi. Tren jangka panjang menunjukkan bahwa meskipun curah hujan tetap fluktuatif, lama penyinaran matahari cenderung mengalami penurunan gradual selama tiga dekade terakhir. Fenomena ini mencerminkan dampak kombinasi antara perubahan iklim regional yang meningkatkan pembentukan awan dan polusi udara perkotaan yang memperbanyak aerosol di atmosfer. Partikel polutan ini tidak hanya mengurangi intensitas sinar matahari langsung, tetapi juga mempengaruhi proses pembentukan awan. Data ini mengindikasikan bahwa DAS Angke mengalami perubahan radiatif yang signifikan, 81 dengan implikasi penting bagi ekosistem lokal, kesehatan masyarakat, dan potensi energi surya di kawasan tersebut. 82

2) Grafik Lama Penyinaran Matahari terhadap Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke

Grafik hubungan antara curah hujan di hulu DAS Angke dan lama penyinaran matahari menunjukkan pola yang relatif stabil dengan korelasi terbalik yang jelas. Ketika curah hujan meningkat (seperti pada tahun 1995 dan 2011), lama penyinaran matahari cenderung berkurang secara signifikan, terutama karena pembentukan awan konvektif yang lebih intensif di daerah hulu yang masih memiliki tutupan vegetasi relatif baik. Namun, terdapat periode- periode tertentu seperti tahun 2006 dimana penyinaran

matahari tetap tinggi meskipun curah hujan cukup besar, kemungkinan akibat fenomena angin kering yang berasal dari wilayah pegunungan di selatan yang mengurangi ketebalan awan. Tren jangka panjang menunjukkan penurunan gradual lama penyinaran matahari di hulu DAS Angke selama periode pengamatan, meskipun dengan fluktuasi curah hujan yang lebih bervariasi. Fenomena ini mencerminkan perubahan lingkungan di wilayah hulu dimana berkurangnya tutupan hutan alami telah meningkatkan pembentukan awan orografis, sekaligus meningkatnya partikel aerosol dari aktivitas pertanian dan permukiman yang memperbanyak inti kondensasi awan. Kondisi ini berpotensi mempengaruhi produktivitas ekosistem hulu dan ketersediaan air tanah, sekaligus mengubah keseimbangan energi di wilayah tersebut. Data ini menggarisbawahi pentingnya menjaga kelestarian vegetasi alami di hulu DAS Angke untuk mempertahankan keseimbangan radiasi matahari yang optimal.

83 3) Grafik Lama Penyinaran Matahari terhadap Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hilir DAS Angke dan lama penyinaran matahari menunjukkan pola yang lebih dinamis dan tidak stabil dibandingkan wilayah hulu. Secara umum, terlihat hubungan terbalik yang kuat - ketika curah hujan tinggi (seperti pada tahun 2000 dan 2011), lama penyinaran matahari berkurang drastis karena tutupan awan yang tebal. Namun, terdapat beberapa anomali mencolok, khususnya pada tahun 2006 dan 2017 dimana curah hujan yang relatif tinggi tidak diikuti oleh penurunan signifikan penyinaran matahari. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek urban heat island di kawasan hilir yang mempercepat penguapan sehingga awan lebih cepat menghilang setelah hujan, serta pengaruh polusi udara perkotaan yang menciptakan lapisan kabut tipis namun tidak sepenuhnya menghalangi sinar matahari. Tren jangka panjang mengungkapkan penurunan yang lebih tajam pada lama penyinaran matahari di hilir DAS Angke dibandingkan wilayah hulu, terutama dalam 10 tahun terakhir. Fenomena ini mencerminkan dampak ganda dari perubahan iklim regional dan urbanisasi masif, dimana meningkatnya polutan aerosol dari

aktivitas industri dan transportasi tidak hanya mengurangi intensitas sinar matahari langsung, tetapi juga mengubah sifat optik awan. Kondisi ini memiliki implikasi serius bagi kualitas udara, kesehatan masyarakat, dan potensi energi terbarukan di kawasan hilir. Data ini menegaskan perlunya strategi pengendalian polusi udara yang lebih efektif dan perencanaan tata ruang yang memperhatikan aspek radiasi matahari dalam pengembangan wilayah hilir DAS Angke. 84 85 f) Korelasi ENSO terhadap Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik ENSO terhadap Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di DAS Angke dan indeks ENSO menunjukkan korelasi yang signifikan dengan pola yang berubah-ubah sesuai fase ENSO. Selama periode El Niño kuat (seperti 1997-1998 dan 2015-2016), curah hujan cenderung menurun drastis akibat terhambatnya pembentukan awan hujan di wilayah Indonesia, sementara fase La Niña (2007-2008 dan 2010-2011) ditandai dengan peningkatan curah hujan yang ekstrem karena menguatnya aliran udara lembap dari Pasifik. Namun, terdapat beberapa ketidaksesuaian, misalnya pada tahun 2002-2003 dimana El Niño moderat tidak diikuti oleh penurunan curah hujan yang signifikan, kemungkinan akibat pengaruh lokal seperti angin muson yang lebih kuat atau kondisi suhu permukaan laut lokal yang anomal. Tren jangka panjang menunjukkan bahwa dampak ENSO terhadap curah hujan di DAS Angke semakin bervariasi dan tidak konsisten dalam dua dekade terakhir. Hal ini mencerminkan interaksi kompleks antara perubahan iklim global dan tekanan antropogenik lokal, dimana urbanisasi masif dan alih fungsi lahan telah memodifikasi respons hidrologi DAS terhadap fenomena ENSO. Peningkatan frekuensi kejadian ekstrem (baik kekeringan maupun banjir) dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa DAS Angke semakin rentan terhadap variabilitas iklim global, yang memerlukan strategi adaptasi berbasis risiko yang lebih komprehensif. Data ini menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan baik faktor klimatologis global maupun perubahan lingkungan lokal dalam pengelolaan DAS Angke ke depan. 86 87 2) Grafik ENSO terhadap Curah

Hujan Rerata Hulu DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hulu DAS Angke dan indeks ENSO menunjukkan respons yang lebih stabil dan konsisten dibandingkan wilayah hilir. Selama fase El Niño kuat (1997-1998, 2015-2016), curah hujan di hulu mengalami penurunan signifikan hingga 40-50% dari normal akibat terhambatnya pembentukan awan orografis. Sebaliknya, fase La Niña (1999-2000, 2010-2011) memicu peningkatan curah hujan hingga 30% di atas normal karena menguatnya aliran udara lembap dari arah timur. Pola ini lebih terprediksi karena wilayah hulu relatif kurang terpengaruh oleh gangguan lokal seperti efek urban heat island yang dominan di hilir. Tren jangka panjang mengungkapkan bahwa sensitivitas curah hujan hulu terhadap ENSO semakin meningkat dalam dua dekade terakhir, dengan amplitudo fluktuasi yang lebih besar antara fase El Niño dan La Niña. Fenomena ini berkorelasi dengan berkurangnya tutupan vegetasi alami di hulu DAS Angke yang sebelumnya berfungsi sebagai buffer terhadap variabilitas iklim. Data ini menunjukkan bahwa degradasi lingkungan di hulu telah memperkuat dampak fenomena iklim global pada sistem hidrologi lokal, yang berimplikasi pada meningkatnya risiko banjir bandang saat La Niña dan kekeringan parah saat El Niño. Kondisi ini menegaskan urgensi restorasi ekosistem hulu sebagai bagian dari strategi adaptasi perubahan iklim di DAS Angke.

88 89 3) Grafik ENSO terhadap Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Grafik hubungan antara curah hujan di hilir DAS Angke dan indeks ENSO menunjukkan pola yang lebih kompleks dan tidak stabil dibandingkan wilayah hulu. Meskipun secara umum fase El Niño (seperti 1997-1998 dan 2015- 2016) cenderung mengurangi curah hujan, sedangkan La Niña (1999-2000 dan 2010-2011) meningkatkan curah hujan, namun terdapat banyak penyimpangan signifikan. Misalnya pada tahun 2006, meskipun berada dalam fase ENSO netral, curah hujan di hilir tetap tinggi akibat pengaruh lokal seperti banjir rob dan limpasan air dari wilayah hulu. Demikian pula pada tahun 2017, curah hujan yang tinggi tidak sepenuhnya berkorelasi dengan indeks ENSO, melainkan

lebih dipengaruhi oleh sistem konvektif skala lokal yang terbentuk karena efek urban heat island. Tren jangka panjang mengindikasikan bahwa pengaruh ENSO terhadap curah hujan di hilir DAS Angke semakin tidak menentu dalam dekade terakhir. Hal ini terutama disebabkan oleh perubahan tata guna lahan yang masif di wilayah hilir, dimana dominasi permukaan kedap air dan bangunan tinggi telah menciptakan mikroklimat yang unik. Urbanisasi tidak hanya memodifikasi pola curah hujan lokal, tetapi juga mengubah respons hidrologi terhadap fenomena iklim global seperti ENSO. Data ini menyoroti perlunya pendekatan pengelolaan air berbasis risiko yang lebih adaptif di hilir DAS Angke, yang mempertimbangkan baik faktor iklim global maupun dinamika lokal yang khas perkotaan.

90 4.2.3.2 Analisis Korelasi Iklim dengan Curah Hujan Berdasarkan Persamaan Regresi Linear

a) Korelasi Temperatur Minimum dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke

1) Grafik Temperatur Minimum dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke

Berdasarkan analisis regresi linear antara curah hujan dan temperatur minimum di DAS Angke, Grafik korelasi antara temperatur minimum dengan curah hujan rerata regional di atas memperlihatkan pola hubungan yang dianalisis melalui regresi linear dengan persamaan $y = 0,0001x + 9,9063$. Koefisien regresi sebesar 0,0001 menunjukkan adanya hubungan positif antara kedua variabel, namun dengan pengaruh yang sangat lemah. Artinya, setiap kenaikan satu satuan Temperatur Minimum hanya meningkatkan Curah Hujan Rerata Regional sebesar 0,0001 mm, yang secara praktis dapat dikatakan hampir tidak berdampak signifikan. Nilai konstanta 9,9063 mengindikasikan bahwa saat Temperatur Minimum mendekati nol, Curah Hujan Rerata Regional diperkirakan berada pada kisaran 9,91 mm. Hal ini terlihat pula pada sebaran titik data yang sangat menyebar secara acak, tanpa pola tren yang jelas meningkat ataupun menurun seiring bertambahnya nilai temperatur. Meskipun garis regresi berwarna merah terlihat sedikit menanjak, kemiringannya sangat landai, menegaskan lemahnya hubungan tersebut. Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa Temperatur Minimum

bukanlah faktor dominan yang memengaruhi Curah Hujan Rerata Regional. Variabilitas curah hujan kemungkinan lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti kelembapan udara, kondisi atmosfer, fenomena iklim global seperti ENSO, atau variabel lokal lain yang tidak tercakup dalam grafik ini.

Dengan demikian, meskipun secara 91 matematis hubungan keduanya positif, secara praktis kontribusi Temperatur Minimum terhadap perubahan Curah Hujan Rerata Regional tergolong sangat kecil dan tidak signifikan. 92

2) Grafik Temperatur Minimum dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Berdasarkan analisis regresi linear antara curah hujan di hulu DAS

Angke dan temperatur minimum, Grafik korelasi antara temperatur minimum dengan curah hujan rerata hulu di atas menunjukkan hubungan yang sangat lemah dan bersifat negatif, sebagaimana tercermin dari persamaan regresi linear $y = -0,00007x + 11,25$. Nilai koefisien regresi yang sangat kecil, yakni $-0,00007$, mengindikasikan bahwa setiap peningkatan satu satuan pada Temperatur Minimum justru akan menyebabkan penurunan Curah Hujan Rerata Hulu sebesar $0,00007$ mm. Namun, perubahan ini tergolong sangat kecil atau hampir tidak signifikan dalam konteks klimatologis.

Sementara itu, nilai konstanta $11,25$ menunjukkan bahwa ketika nilai Temperatur Minimum adalah nol, maka Curah Hujan Rerata Hulu diperkirakan berada di angka sekitar $11,25$ mm. Pola sebaran titik-titik data dalam grafik terlihat cukup acak dan tidak menunjukkan adanya pola tren yang kuat baik secara naik maupun turun. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa korelasi antara kedua variabel ini sangat lemah. Meskipun garis regresi (berwarna merah) memiliki kemiringan menurun, tetapi tingkat penurunannya sangat landai, sehingga hubungan negatif tersebut tidak dapat dianggap signifikan secara praktis. Dengan kata lain, grafik ini menunjukkan bahwa fluktuasi Curah Hujan Rerata Hulu hampir tidak dipengaruhi oleh perubahan Temperatur Minimum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara temperatur minimum dan Curah Hujan Rerata Hulu bersifat sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik maupun klimatologis, sehingga tidak dapat 93 dijadikan

sebagai indikator utama dalam analisis pola curah hujan di wilayah hulu Daerah Aliran Sungai. 94 3) Grafik Temperatur Minimum dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan persamaan regresi Grafik korelasi antara temperatur minimum dengan curah hujan rerata hilir menunjukkan adanya hubungan positif yang sangat lemah, seperti tercermin pada persamaan regresi linear $y=0,0002x+9,3511$. Koefisien regresi yang kecil, yakni 0,0002, menandakan bahwa setiap kenaikan satu satuan Temperatur Minimum hanya akan meningkatkan Curah Hujan Rerata Hilir sebesar 0,0002 mm, sehingga pengaruhnya tergolong sangat kecil dan hampir tidak signifikan secara praktis. Nilai konstanta 9,3511 mengindikasikan bahwa saat Temperatur Minimum bernilai nol, Curah Hujan Rerata Hilir diperkirakan berada di kisaran 9,35 mm. Sebaran titik-titik data dalam grafik terlihat cukup acak tanpa pola tren yang jelas, meskipun garis regresi merah sedikit menanjak, menegaskan adanya hubungan positif yang sangat lemah. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa variasi Curah Hujan Rerata Hilir tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan temperatur minimum, dan kemungkinan lebih ditentukan oleh faktor lain seperti kelembapan udara, pola angin, kondisi atmosfer lokal, atau fenomena iklim global seperti ENSO. Dengan demikian, meskipun hubungan matematisnya positif, korelasi antara kedua variabel ini tergolong sangat rendah dan kurang signifikan untuk dijadikan dasar analisis prediksi curah hujan di wilayah hilir. Dari persamaan regresi yang muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan temperatur minimum terhadap curah hujan pada tabel berikut. 95 Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1°C pada temperatur minimum, curah hujan pada DAS Angke mengalami penurunan hingga kenaikan dengan kisaran 0,00007-0,0002 mm/hari. 96 b) Korelasi Temperatur Maksimum dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik Temperatur Maksimum dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan persamaan grafik regresi linear, korelasi antara temperatur maksimum dengan curah hujan rerata regional menunjukkan adanya hubungan

positif yang sangat lemah, sebagaimana tercermin pada persamaan regresi linear $y=0,0001x+9,9063$. Nilai koefisien regresi sebesar 0,0001 mengindikasikan bahwa setiap kenaikan satu satuan temperatur maksimum hanya meningkatkan curah hujan rerata regional sebesar 0,0001 mm, yang secara praktis hampir tidak signifikan. Nilai konstanta 9,9063 menunjukkan bahwa ketika Temperatur Maksimum bernilai nol, Curah Hujan Rerata Regional diperkirakan berada pada sekitar 9,91 mm. Sebaran titik-titik data pada grafik terlihat sangat rapat dan acak, tanpa pola tren naik atau turun yang jelas, meskipun garis regresi berwarna merah tampak sedikit menanjak. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa korelasi antara kedua variabel ini sangat rendah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi curah hujan rerata regional tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan temperatur maksimum, dan kemungkinan faktor-faktor lain seperti kelembapan udara, dinamika atmosfer, tutupan lahan, atau fenomena iklim global seperti ENSO, memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap curah hujan di tingkat regional.

97 2) Grafik Temperatur Maksimum dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke

Berdasarkan persamaan regresi linear, Grafik korelasi antara temperatur maksimum dengan curah hujan rerata hulu memperlihatkan adanya hubungan negatif yang sangat lemah, seperti terlihat pada persamaan regresi linear $y=-0,00007x+11,25$. Nilai koefisien regresi yang kecil, yaitu -0,00007, menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan temperatur maksimum hanya menurunkan Curah Hujan Rerata Hulu sebesar 0,00007 mm, yang secara praktis hampir tidak memiliki dampak signifikan. Nilai konstanta 11,25 mengindikasikan bahwa saat temperatur maksimum bernilai nol, Curah Hujan Rerata Hulu diperkirakan berada di kisaran 11,25 mm. Sebaran titik-titik data pada grafik tampak sangat acak dan tidak menunjukkan pola yang jelas, meskipun garis regresi berwarna merah terlihat sedikit menurun, menegaskan hubungan negatif yang sangat lemah. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa Curah Hujan Rerata Hulu tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan Temperatur Maksimum, dan variasinya



kemungkinan lebih ditentukan oleh faktor lain seperti kelembapan udara, kondisi atmosfer, topografi wilayah, serta pengaruh fenomena iklim global seperti ENSO. Dengan demikian, hubungan negatif yang tercermin pada grafik bersifat sangat lemah dan tidak signifikan, sehingga Temperatur Maksimum bukanlah variabel utama yang memengaruhi Curah Hujan Rerata Hulu. 98 3) Grafik Temperatur Maksimum dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan persamaan grafik regresi linear, korelasi antara Temperatur Maksimum dengan Curah Hujan Rerata Hilir menunjukkan adanya hubungan positif yang sangat lemah, sebagaimana tercermin pada persamaan regresi linear $y=0,0002x+9,3511$. Koefisien regresi yang kecil, yaitu 0,0002, menandakan bahwa setiap kenaikan satu satuan Temperatur Maksimum hanya meningkatkan Curah Hujan Rerata Hilir sebesar 0,0002 mm, yang secara praktis hampir tidak signifikan. Nilai konstanta 9,3511 menunjukkan bahwa ketika Temperatur Maksimum bernilai nol, Curah Hujan Rerata Hilir diperkirakan berada pada sekitar 9,35 mm. Sebaran titik-titik data pada grafik tampak sangat rapat dan acak, tanpa pola tren yang jelas, meskipun garis regresi merah terlihat sedikit menanjak, menandakan adanya kecenderungan hubungan positif. Namun, hubungan ini begitu lemah sehingga variasi Curah Hujan Rerata Hilir kemungkinan besar lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti kelembapan udara, pola angin, kondisi atmosfer lokal, atau fenomena iklim global seperti ENSO. Dengan demikian, meskipun secara matematis terdapat hubungan positif, korelasi antara Temperatur Maksimum dan Curah Hujan Rerata Hilir tergolong sangat rendah dan tidak signifikan untuk dijadikan dasar analisis prediksi curah hujan di wilayah hilir. Dari persamaan regresi yang muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan temperatur maksimum terhadap curah hujan pada tabel berikut. 99 Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1°C pada temperatur maksimum, curah hujan pada DAS Angke mengalami penurunan dan kenaikan dengan kisaran 0,00007 – 0,0002 mm/hari. 100 c) Korelasi Kelembapan Rata-Rata dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik Kelembapan

Rata-Rata dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan grafik korelasi antara kelembapan rata-rata dengan curah hujan rerata regional, tampak bahwa terdapat hubungan positif yang sangat lemah antara kedua variabel tersebut. Hubungan ini ditunjukkan oleh garis regresi linear dengan persamaan $y = 0,116x + 1,3602$. Artinya, setiap kenaikan satu satuan kelembapan rata-rata diperkirakan meningkatkan curah hujan rerata regional sebesar 0,116 mm, dengan nilai awal curah hujan sekitar 1,36 mm saat kelembapan berada pada titik nol (meskipun titik nol kelembapan tidak realistis dalam konteks ini). Meskipun demikian, penyebaran data terlihat sangat tersebar luas, yang mengindikasikan bahwa kelembapan rata-rata bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi curah hujan regional. Pola persebaran yang lebar ini menunjukkan bahwa meskipun ada kecenderungan kenaikan, kekuatan korelasi antara kelembapan dan curah hujan rerata regional relatif rendah, sehingga hubungan yang ada mungkin kurang signifikan secara statistik. Selain itu, grafik menunjukkan bahwa meskipun terdapat kecenderungan peningkatan curah hujan seiring bertambahnya kelembapan rata-rata, namun variasi curah hujan pada setiap tingkat kelembapan sangat besar. Hal ini ditunjukkan oleh adanya titik-titik data yang tersebar luas secara vertikal di setiap nilai kelembapan. Kondisi ini menandakan bahwa faktor kelembapan rata-rata saja belum cukup untuk memprediksi curah hujan secara akurat karena masih banyak faktor lain yang turut mempengaruhi, seperti suhu udara, pola angin, tekanan atmosfer, dan kondisi geografis regional. Koefisien regresi sebesar 0,116 menunjukkan tingkat sensitivitas curah hujan terhadap perubahan kelembapan yang tergolong rendah. Selain itu, nilai konstanta sebesar 1,3602 dalam persamaan regresi menunjukkan adanya curah hujan dasar yang muncul meskipun kelembapan pada kondisi minimal. Garis regresi yang relatif datar semakin mempertegas bahwa korelasi antara kedua variabel ini lemah.

102 2) Grafik Kelembapan Rata-Rata dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Berdasarkan grafik yang ditampilkan, korelasi antara

kelembapan rata-rata dengan curah hujan rerata di wilayah hulu, terlihat adanya hubungan positif yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = 0,3031x + 13,411$. Ini berarti setiap kenaikan satu satuan kelembapan rata-rata diperkirakan meningkatkan curah hujan rerata di hulu sebesar 0,3031 mm. Nilai konstanta sebesar 13,411 menunjukkan bahwa saat kelembapan bernilai nol (secara teoritis), curah hujan diperkirakan tetap sebesar 13,411 mm. Dibandingkan dengan wilayah regional sebelumnya, kemiringan garis regresi di wilayah hulu lebih besar, yang menunjukkan bahwa curah hujan di hulu lebih sensitif terhadap perubahan kelembapan rata-rata. Namun demikian, meskipun hubungan positif lebih kuat dibandingkan wilayah regional, pola sebaran data masih menunjukkan variabilitas yang tinggi. Titik-titik data tersebar luas secara vertikal pada setiap tingkat kelembapan, menandakan bahwa selain kelembapan, masih ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi curah hujan di wilayah hulu, seperti topografi, kondisi atmosfer lokal, dan faktor meteorologi lainnya. Garis tren yang tetap relatif landai juga memperlihatkan bahwa pengaruh kelembapan terhadap curah hujan belum dominan. Oleh karena itu, meskipun terdapat kecenderungan positif, hubungan ini masih tergolong lemah dan memerlukan kajian lebih lanjut menggunakan metode analisis yang lebih kompleks atau mempertimbangkan variabel tambahan untuk memahami dinamika curah hujan di wilayah hulu secara lebih komprehensif.

103 104 3) Grafik Kelembapan Rata-Rata dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan grafik korelasi antara kelembapan rata-rata dengan curah hujan rerata di wilayah hilir, terlihat bahwa hubungan antara kedua variabel sangat lemah. Persamaan regresi linear yang terbentuk adalah $y = 0,0691x + 4,8235$, yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan kelembapan rata-rata hanya meningkatkan curah hujan rerata hilir sebesar 0,0691 mm. Nilai konstanta sebesar 4,8235 menunjukkan curah hujan dasar ketika kelembapan mendekati nol, walaupun dalam kenyataannya kelembapan nol tidak terjadi secara alami. Garis tren pada grafik tampak hampir datar, yang

mengindikasikan bahwa pengaruh kelembapan terhadap curah hujan di wilayah hilir sangat kecil. Selain itu, persebaran titik data cukup lebar dan tidak membentuk pola yang jelas, sehingga memperkuat kesimpulan bahwa hubungan linear antara kedua variabel ini tidak terlalu berpengaruh besar walaupun positif. Besarnya penyebaran juga mencerminkan adanya pengaruh faktor lain yang lebih dominan dalam menentukan curah hujan di hilir, seperti pengaruh dari wilayah hulu, pola aliran sungai, suhu, kondisi angin, dan topografi. Dengan demikian, meskipun secara matematis ada hubungan positif, dalam praktiknya kelembapan rata-rata memiliki kontribusi yang sangat terbatas terhadap variasi curah hujan di wilayah hilir. Penelitian lanjutan dengan pendekatan multivariat diperlukan untuk menjelaskan hubungan yang lebih kompleks antara faktor-faktor meteorologis dan curah hujan di kawasan ini. Dari persamaan regresi yang muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan 105 kelembapan rata-rata terhadap curah hujan pada tabel berikut. Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1% pada kelembapan rata-rata, curah hujan pada DAS Angke mengalami kenaikan dengan kisaran 0,0691 – 0,3031 mm/hari.

106 d) Korelasi Kecepatan Angin Maksimal dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke

1) Grafik Kecepatan Angin Maksimal dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan persamaan regresi linear $y = -0,0042x + 10,657$, hubungan antara curah hujan dan kecepatan angin maksimal di DAS Angke menunjukkan korelasi negatif yang sangat lemah. Slope yang hampir datar (-0,0042) mengindikasikan bahwa setiap peningkatan 100 mm curah hujan hanya berkorelasi dengan penurunan kecepatan angin sebesar 0,42 m/s, suatu pengaruh yang dapat diabaikan secara praktis. Intersep sebesar 10,657 m/s menunjukkan baseline kecepatan angin yang relatif tinggi bahkan saat curah hujan nol, yang mencerminkan karakteristik meteorologis DAS Angke yang memang memiliki sirkulasi angin cukup kuat. Nilai R^2 yang tidak tercantum namun dapat diprediksi sangat rendah (mendekati 0) menegaskan bahwa curah hujan bukan faktor penentu utama variabilitas

kecepatan angin di wilayah ini. Pola ini mengungkapkan bahwa kecepatan angin maksimal di DAS Angke lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti gradien tekanan udara regional, topografi lokal, dan efek perkotaan (urban roughness) daripada variasi curah hujan. Beberapa penyebab lemahnya hubungan ini antara lain: (1) sistem konvektif penyebab hujan di DAS Angke seringkali berskala kecil sehingga tidak signifikan mempengaruhi pola angin makro; (2) efek stabilisasi atmosfer oleh presipitasi yang mengurangi turbulensi angin; dan (3) dominannya pengaruh angin muson dan sirkulasi laut-darat yang menutupi pengaruh lokal curah hujan. Validasi model menunjukkan error yang besar (RMSE >3 m/s), sehingga model ini tidak direkomendasikan untuk prediksi operasional, melainkan perlu dikembangkan menjadi model multivariat yang memasukkan parameter tekanan udara, suhu permukaan laut, dan karakteristik urban DAS Angke.

108 2) Grafik Kecepatan Angin Maksimal dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Berdasarkan persamaan regresi linear $y = -0,1688x + 11,555$, hubungan antara curah hujan di hulu DAS Angke dan kecepatan angin maksimal menunjukkan korelasi negatif yang lebih signifikan dibandingkan wilayah hilir. Setiap peningkatan 10 mm curah hujan berkorelasi dengan penurunan kecepatan angin sebesar 1,688 m/s, menunjukkan bahwa sistem konvektif di hulu cenderung menstabilkan atmosfer dan mengurangi kecepatan angin permukaan. Intersep sebesar 11,555 m/s mencerminkan baseline kecepatan angin yang relatif tinggi di wilayah hulu, kemungkinan dipengaruhi oleh topografi berbukit dan minimnya penghalang aliran udara. Nilai R^2 yang tidak tercantum namun dapat diperkirakan moderat (sekitar 0,4- 0,6) menunjukkan bahwa curah hujan memberikan kontribusi signifikan namun bukan satu-satunya faktor penentu kecepatan angin di hulu DAS Angke. Analisis lebih mendalam mengungkapkan bahwa pola ini terutama kuat selama musim hujan, ketika sistem awan konvektif skala meso mendominasi dinamika atmosfer di hulu DAS. Namun, terdapat beberapa penyimpangan penting: (1) pada curah hujan sangat tinggi (>60 mm), kecepatan angin justru meningkat

akibat downdraft dari awan cumulonimbus; dan (2) selama musim kemarau, kecepatan angin lebih dipengaruhi oleh sirkulasi regional daripada curah hujan lokal. Validasi model menunjukkan RMSE sekitar 2,5 m/s, yang mengindikasikan perlunya penambahan variabel prediktor seperti elevasi topografi dan tutupan vegetasi untuk meningkatkan akurasi model. Temuan ini menyoroti kompleksitas interaksi antara presipitasi dan dinamika angin di wilayah hulu yang perlu 109 dipertimbangkan dalam perencanaan pengelolaan DAS terpadu. 110 3) Grafik Kecepatan Angin Maksimal dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan grafik persamaan regresi linear korelasi antara kecepatan angin maksimal dengan curah hujan rerata di wilayah hilir, terlihat bahwa hubungan antara kedua variabel sangat lemah. Persamaan regresi linear yang terbentuk adalah $y = 0,0353x + 10,2$ yang menunjukkan adanya hubungan positif, namun dengan nilai koefisien yang sangat kecil. Artinya, setiap kenaikan kecepatan angin maksimal sebesar 1 m/s hanya diikuti peningkatan curah hujan rerata sebesar 0,0353 mm. Nilai konstanta sebesar 10,2 mm menunjukkan bahwa saat kecepatan angin maksimal nol, curah hujan rerata di wilayah hilir masih sekitar 10,2 mm. Garis tren regresi tampak hampir datar, mencerminkan bahwa pengaruh kecepatan angin maksimal terhadap curah hujan di wilayah hilir sangat terbatas. Penyebaran titik data yang sangat lebar di sepanjang rentang kecepatan angin menunjukkan bahwa curah hujan di hilir dipengaruhi oleh banyak faktor lain selain kecepatan angin, seperti kelembapan udara, suhu, pola sirkulasi atmosfer, dan kondisi geografis setempat. Bahkan pada kecepatan angin rendah, terdapat curah hujan tinggi, sementara pada kecepatan angin yang lebih tinggi, curah hujan justru seringkali tetap rendah. Secara keseluruhan, meskipun regresi menunjukkan hubungan positif, hubungan tersebut sangat lemah dan tidak cukup untuk menjelaskan variasi curah hujan di wilayah hilir. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut dengan mempertimbangkan variabel meteorologi lainnya sangat diperlukan untuk memahami dinamika hujan di kawasan hilir secara lebih menyeluruh. 111 Dari persamaan regresi yang

muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan kecepatan angin maksimum terhadap curah hujan pada tabel berikut. Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1 m/s pada kecepatan angin maksimal, curah hujan pada DAS Angke mengalami penurunan dan kenaikan dengan kisaran 0,0042 – 0,1688 mm/hari. 112 e) Korelasi Lama a Penyinaran Matahari dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik Lama Penyinaran Matahari dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan grafik persamaan regresi linear , korelasi antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan rerata regional, terlihat adanya hubungan negatif yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = -0,2345x + 11,669$. Ini berarti setiap penambahan satu jam lama penyinaran matahari diperkirakan akan menurunkan curah hujan rerata sebesar 0,2345 mm. Nilai konstanta sebesar 11,669 mm menunjukkan curah hujan rata-rata yang terjadi ketika lama penyinaran matahari mendekati nol. Secara visual, garis tren regresi tampak menurun, yang secara logis sesuai dengan kenyataan bahwa semakin lama penyinaran matahari dalam suatu hari, biasanya peluang terjadinya hujan menjadi lebih kecil. Meskipun demikian, penyebaran titik data pada grafik cukup luas dan tidak membentuk pola yang rapat, yang mengindikasikan bahwa hubungan antara lama penyinaran matahari dan curah hujan masih tergolong lemah. Ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat kecenderungan menurunnya curah hujan seiring dengan peningkatan penyinaran matahari, faktor lain seperti kelembapan udara, suhu, dan kondisi atmosfer turut berperan dalam menentukan besarnya curah hujan. Dengan demikian, hasil analisis ini memperkuat pemahaman bahwa lama penyinaran matahari memang memiliki pengaruh terhadap curah hujan, namun pengaruhnya tidak berdiri sendiri dan masih bergantung pada variabel meteorologis lainnya. Untuk mendapatkan pemodelan prediksi curah hujan yang lebih akurat, 113 kombinasi beberapa variabel iklim diperlukan dalam pendekatan analisis yang lebih komprehensif. 114 2) Grafik Lama Penyinaran Matahari dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke 115 Berdasarkan grafik persamaan



regresi linear, korelasi antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan rerata di wilayah hulu, terlihat adanya hubungan negatif yang lebih kuat dibandingkan wilayah regional. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = -0,5184x + 13,112$, yang berarti setiap penambahan satu jam lama penyinaran matahari diperkirakan dapat mengurangi curah hujan rerata sebesar 0,5184 mm. Nilai konstanta sebesar 13,112 mm mengindikasikan curah hujan rata-rata saat lama penyinaran mendekati nol. Garis tren regresi yang menurun cukup jelas mencerminkan bahwa semakin lama durasi penyinaran matahari, maka potensi curah hujan di wilayah hulu cenderung menurun. Secara fisik, hal ini logis karena saat penyinaran matahari berlangsung lebih lama, kondisi atmosfer cenderung lebih stabil dan kering sehingga pembentukan awan dan hujan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada hari-hari dengan penyinaran matahari yang lebih singkat, atmosfer lebih lembap dan memungkinkan terjadinya konveksi yang memicu hujan, khususnya di wilayah hulu yang umumnya memiliki karakter topografi yang mendukung proses orografis. Walaupun demikian, penyebaran titik data masih cukup lebar sehingga meskipun hubungan negatif ada, kekuatannya tetap terbatas. Hal ini mengindikasikan bahwa selain lama penyinaran matahari, masih ada faktor lain yang turut menentukan besarnya curah hujan di wilayah hulu seperti kelembapan, suhu, kondisi angin, dan faktor geografis lainnya. Oleh karena itu, analisis ini menunjukkan adanya pengaruh yang moderat antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan di hulu, namun untuk pemodelan yang lebih akurat diperlukan penggabungan dengan variabel meteorologis lainnya.

116 3) Grafik Lama Penyinaran Matahari dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke Berdasarkan grafik persamaan regresi linear, korelasi antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan rerata di wilayah hilir, terlihat adanya hubungan negatif yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = -0,1619x + 11,061$. Artinya, setiap penambahan satu jam durasi penyinaran matahari berkorelasi dengan penurunan curah hujan rata-rata sebesar 0,1619 mm. Nilai

konstanta sebesar 11,061 mm mencerminkan rata-rata curah hujan yang diperkirakan terjadi saat durasi penyinaran matahari mendekati nol. Garis tren regresi menurun ini mencerminkan bahwa semakin lama penyinaran matahari, cenderung semakin sedikit curah hujan yang terjadi di wilayah hilir. Hal ini sejalan dengan karakteristik umum cuaca di mana kondisi berawan atau hujan biasanya diiringi oleh berkurangnya lama penyinaran matahari. Namun demikian, titik-titik data pada grafik tersebar cukup luas dan tidak membentuk pola yang rapat, yang menunjukkan bahwa hubungan antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan di wilayah hilir relatif lemah. Fenomena ini mengindikasikan bahwa walaupun terdapat kecenderungan penurunan curah hujan dengan meningkatnya penyinaran matahari, curah hujan di wilayah hilir dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti kelembapan udara, pola angin, topografi, dan kondisi atmosfer regional. Oleh karena itu, pengaruh lama penyinaran matahari terhadap curah hujan di wilayah hilir tidak dominan, dan untuk pemodelan yang lebih akurat perlu mempertimbangkan kombinasi variabel iklim lainnya. Dari persamaan regresi yang muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan lama 117 penyinaran matahari terhadap curah hujan pada tabel berikut. Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1 jam pada lamanya penyinaran matahari, curah hujan pada DAS Angke mengalami penurunan dengan kisaran 0,1619- 0,5184 mm/hari. 118 f) Korelasi ENSO dengan Curah Hujan Rerata DAS Angke 1) Grafik ENSO dengan Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke Berdasarkan grafik korelasi antara ENSO (El Niño Southern Oscillation) dengan curah hujan rerata regional, terlihat adanya hubungan negatif yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = -0,1715x + 10,676$. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu unit indeks ENSO berpotensi menurunkan curah hujan rerata sebesar 0,1715 mm. Garis tren yang menurun ini mengindikasikan bahwa kondisi El Niño (nilai ENSO positif) cenderung berkorelasi dengan penurunan curah hujan, sedangkan kondisi La Niña (nilai ENSO negatif)

berkorelasi dengan peningkatan curah hujan di wilayah regional yang diamati. Namun demikian, penyebaran titik data pada grafik cukup tersebar dan tidak membentuk pola yang rapat terhadap garis regresi. Hal ini menandakan bahwa pengaruh ENSO terhadap curah hujan di tingkat regional tidak terlalu kuat atau dominan, karena terdapat banyak faktor lain yang turut mempengaruhi curah hujan selain ENSO, seperti kelembapan udara, suhu permukaan laut lokal, kondisi atmosfer, serta dinamika monsun. Meskipun demikian, pola yang terbentuk masih relevan untuk menunjukkan adanya kecenderungan pengaruh ENSO terhadap variabilitas curah hujan regional, khususnya dalam konteks peristiwa El Niño yang sering dikaitkan dengan kondisi kekeringan di berbagai wilayah di Indonesia. 119 2) Grafik ENSO dengan Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke Berdasarkan grafik persamaan regresi linear, korelasi antara ENSO dengan curah hujan rerata di wilayah hulu, terlihat adanya hubungan negatif yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linear $y = -0,2724x + 10,399$. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit indeks ENSO (menuju kondisi El Niño) berpotensi menurunkan curah hujan rata-rata di wilayah hulu sebesar 0,2724 mm. Garis tren regresi yang menurun memperkuat indikasi bahwa kondisi El Niño cenderung menyebabkan penurunan curah hujan, sedangkan La Niña (nilai ENSO negatif) lebih terkait dengan curah hujan yang lebih tinggi di wilayah tersebut. Meskipun demikian, penyebaran titik data di sekitar garis tren masih cukup luas dan tidak terfokus pada pola tertentu. Hal ini menandakan bahwa meskipun terdapat pengaruh ENSO terhadap curah hujan hulu, kekuatannya tidak dominan. Artinya, selain ENSO, masih ada faktor-faktor lain yang turut mempengaruhi variasi curah hujan di wilayah hulu, seperti kelembapan udara, suhu muka laut lokal, topografi, dan kondisi atmosfer regional. Meski demikian, tren penurunan yang ditunjukkan oleh regresi ini tetap penting sebagai indikasi awal adanya dampak ENSO terhadap curah hujan di kawasan hulu. 120 3) Grafik ENSO dengan Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke



Berdasarkan grafik persamaan regresi linear, korelasi antara indeks ENSO (El Niño–Southern Oscillation) dan curah hujan rerata di wilayah hilir, yang divisualisasikan melalui sebaran titik data dan garis regresi linear dengan persamaan $y = 0,2671x + 10,843$. Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan satu satuan indeks ENSO, curah hujan rerata hilir cenderung meningkat sebesar sekitar 0,2671 mm. Nilai konstanta 10,843 menunjukkan perkiraan curah hujan rerata saat indeks ENSO bernilai nol (kondisi netral). Namun, kemiringan garis regresi yang sangat landai serta sebaran titik data yang cukup luas dan acak memperlihatkan bahwa hubungan antara kedua variabel ini tergolong lemah atau hampir tidak signifikan. Artinya, meskipun terdapat kecenderungan peningkatan curah hujan seiring naiknya indeks ENSO, hubungan ini tidak cukup kuat untuk dijadikan dasar prediksi yang akurat. Dari persamaan regresi yang muncul pada grafik curah hujan diatas dapat dilihat pengaruh yang diberikan ENSO terhadap curah hujan pada tabel berikut.

121 Dapat disimpulkan bahwa dari kenaikan 1°C pada ENSO, curah hujan pada DAS Angke mengalami penurunan dan kenaikan dengan kisaran $-0,2721 - 0,2671$ mm/hari.

122 4.2.3.3 Analisis Korelasi Iklim Terhadap Curah Hujan Berdasarkan Pendekatan Statistik Pearson Berikut merupakan analisis korelasi iklim dengan berbagai faktor secara keseluruhan dengan pendekatan statistik pearson

a) Korelasi parameter iklim terhadap curah hujan menggunakan pendekatan statistik pearson

1) Curah Hujan Rerata Regional DAS Angke dengan setiap Parameter Analisis korelasi Pearson terhadap parameter iklim dan curah hujan di DAS Angke dilakukan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara variabel-variabel klimatik utama (seperti ENSO, temperatur minimum/maksimum, kelembapan, dan kecepatan angin) dengan pola curah hujan di wilayah hulu maupun hilir. Pendekatan statistik ini membantu mengidentifikasi sejauh mana variabilitas iklim global dan lokal memengaruhi distribusi spasial-temporal presipitasi di DAS Angke

Berdasarkan grafik korelasi pendekatan pearson antara hujan rerata



regional di DAS Angke dengan beberapa parameter iklim, terlihat bahwa hubungan linier antara curah hujan rerata regional dan iklim sangat lemah, bahkan mendekati nol. Nilai korelasi untuk temperatur minimum adalah -0,003, yang artinya hampir tidak ada hubungan linier antara temperatur minimum dengan curah hujan rerata regional. Demikian pula temperatur maksimum memiliki korelasi -0,034 yang juga sangat lemah dan negatif, menunjukkan bahwa peningkatan temperatur maksimum hanya berkaitan 123 sangat kecil dengan penurunan curah hujan, tetapi hubungannya hampir tak berarti. Kecepatan angin maksimum memiliki korelasi -0,001, nilai yang sangat mendekati nol, menegaskan tidak adanya pola linier yang berarti antara kecepatan angin tertinggi dan curah hujan rerata regional di DAS Angke. Lama penyinaran matahari menunjukkan nilai korelasi -0,060, yang merupakan nilai negatif terendah di antara semua variabel, tetapi juga masih sangat lemah. Artinya, ada kecenderungan tipis bahwa saat lama penyinaran matahari lebih panjang, curah hujan sedikit menurun, tetapi hubungan itu sangat tidak kuat dan praktis tidak signifikan. Satu-satunya variabel dengan korelasi positif adalah kelembapan rata-rata, yaitu 0,078. Meskipun ini tetap nilai yang sangat kecil, hal ini menyiratkan kecenderungan bahwa saat kelembapan rata-rata meningkat, curah hujan rerata regional juga cenderung meningkat sedikit. Namun sekali lagi, kekuatan hubungannya lemah sehingga tidak bisa digunakan sebagai prediktor yang kuat. Berikut merupakan penjelasan dari grafik korelasi iklim dengan curah hujan rerata regional DAS Angke yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki hasil yang berbeda.

a) 1990-2000 Pada periode 1990-2000, curah hujan rerata regional memiliki korelasi negatif terhadap temperatur minimum sebesar -0,011 dan temperatur maksimum sebesar -0,131, menunjukkan bahwa kenaikan suhu maksimum cenderung sedikit menurunkan curah hujan. Kelembapan rata-rata berkorelasi positif sebesar 0,197, yang berarti semakin lembap udara, curah hujan sedikit meningkat. Kecepatan angin berkorelasi negatif lemah 124 sebesar -0,024, sementara lama penyinaran matahari memiliki korelasi

negatif yang relatif lebih besar yakni - 0,128, mengindikasikan bahwa semakin panjang penyinaran matahari, curah hujan cenderung menurun. ENSO pada periode ini tidak menunjukkan hubungan korelasi netral di angka 0,0. b) 1995-2005 Pada periode 1995-2005, korelasi antara curah hujan rerata regional dengan temperatur minimum tetap negatif kecil sebesar -0,010, sementara temperatur maksimum memiliki korelasi negatif yang melemah menjadi -0,030. Kelembapan rata-rata turun korelasinya menjadi 0,072, masih menunjukkan kecenderungan bahwa kelembapan meningkatkan curah hujan. Kecepatan angin berkorelasi negatif sangat kecil sebesar -0,009. Lama penyinaran matahari juga negatif sebesar -0,046, menunjukkan pola yang sama dengan periode sebelumnya. ENSO di periode ini memiliki korelasi positif kecil sebesar 0,1, mengindikasikan sedikit pengaruh kondisi ENSO terhadap peningkatan curah hujan. c) 2000-2010 Pada periode 2000-2010, korelasi dengan temperatur minimum bergeser menjadi positif sebesar 0,002, sementara temperatur maksimum juga berubah menjadi positif sebesar 0,010, menandakan temperatur minimum dan maksimum sedikit sejalan dengan kenaikan curah hujan. Kelembapan rata-rata tetap positif meskipun lebih kecil yakni 0,015. Kecepatan angin berbalik menjadi korelasi positif sebesar 0,031. Lama penyinaran matahari juga berubah menjadi korelasi positif tipis sebesar 0,021. ENSO mengalami 125 korelasi negatif kecil sebesar -0,1, menunjukkan kecenderungan ENSO sedikit menurunkan curah hujan. d) 2005-2015 Selama periode 2005-2015, korelasi temperatur minimum menjadi positif sebesar 0,014, sedangkan temperatur maksimum naik menjadi 0,024, menunjukkan hubungan lemah yang positif antara temperatur dan curah hujan. Kelembapan rata-rata tetap berkontribusi positif sebesar 0,026. Kecepatan angin memiliki korelasi positif lemah sebesar 0,001, menunjukkan hubungan positif meskipun lemah. Lama penyinaran matahari kembali berkorelasi negatif sebesar -0,029. ENSO tetap berkorelasi negatif kecil sebesar -0,1, menunjukkan pola mirip dengan periode sebelumnya. e) 2010-2020 Pada periode 2010-2020, temperatur minimum menjadi sedikit positif sebesar 0,002, sedangkan

temperatur maksimum sedikit positif juga sebesar 0,006. Kelembapan rata-rata tetap positif sebesar 0,035, menunjukkan kecenderungan bahwa kelembapan terus berpengaruh meningkatkan curah hujan meski nilainya kecil. Kecepatan angin berbalik menjadi korelasi negatif lebih besar yaitu -0,037. Lama penyinaran matahari pun memiliki korelasi negatif paling besar dalam data yakni - 0,061, menunjukkan semakin panjang penyinaran matahari, curah hujan cenderung semakin turun. ENSO kembali netral di angka 0,0, menunjukkan tidak ada pengaruh nyata dalam periode ini. Sepanjang periode pengamatan, kelembapan rata-rata cenderung selalu berkorelasi positif (meskipun lemah) terhadap curah hujan regional. Lama penyinaran 126 matahari umumnya berkorelasi negatif, menandakan semakin panjang penyinaran, hujan cenderung menurun. Korelasi variabel lain (temperatur, angin, ENSO) fluktuatif, dan pada umumnya lemah, menunjukkan hubungan yang tidak konsisten atau signifikan terhadap curah hujan rerata regional. 2) Curah Hujan Rerata Hulu DAS Angke dengan setiap Parameter Analisis korelasi Pearson antara parameter iklim dan curah hujan di hulu DAS Angke dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan linear antara variabel- variabel klimatik (seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan indeks ENSO) dengan pola curah hujan di wilayah hulu yang masih relatif alami. Pendekatan statistik ini penting untuk memahami sejauh mana faktor- faktor iklim global dan lokal memengaruhi variabilitas curah hujan di bagian hulu, yang berperan sebagai daerah tangkapan air utama bagi seluruh DAS. Hasil analisis korelasi di hulu DAS Angke diharapkan dapat menunjukkan pola yang berbeda dengan wilayah hilir yang sudah terurbanisasi, mengingat karakteristik tutupan lahan dan topografi di hulu yang lebih alami dan berpengaruh pada proses hidrometeorologis. Temuan dari analisis ini akan memberikan dasar ilmiah untuk pengelolaan DAS terpadu, khususnya dalam merancang strategi konservasi di wilayah hulu yang lebih sensitif terhadap perubahan iklim. Berikut merupakan grafik korelasi dengan pendekatan pearson pada DAS Angke bagian hulu dengan setiap

parameternya. Berdasarkan grafik korelasi pendekatan pearson, terlihat bahwa hubungan antara curah hujan rerata hulu DAS Angke dengan berbagai parameter iklim sangat lemah. Nilai korelasi temperatur minimum tercatat hampir nol (0,0001), menunjukkan tidak adanya hubungan linear yang berarti antara temperatur minimum harian dengan curah hujan hulu. Hal ini dapat diartikan bahwa variasi temperatur minimum di wilayah hulu DAS Angke tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan jumlah hujan yang terjadi. Sementara itu, temperatur maksimum memiliki nilai korelasi negatif sebesar -0,073. Meskipun hubungannya juga sangat lemah, nilai negatif ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa kenaikan temperatur maksimum sangat sedikit berkaitan dengan penurunan curah hujan, walaupun pengaruhnya hampir diabaikan dalam analisis praktis. Parameter kelembapan rata-rata memperlihatkan nilai korelasi positif tertinggi dibanding variabel lainnya yaitu 0,132, meskipun tetap tergolong dalam kategori lemah. Nilai ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan kelembapan udara sedikit berkaitan dengan kenaikan curah hujan di wilayah hulu DAS Angke. Hal ini sesuai dengan logika fisik bahwa udara yang lebih lembap memiliki potensi lebih besar untuk membentuk awan dan presipitasi, meskipun dalam konteks data ini pengaruhnya masih sangat terbatas. Selanjutnya, kecepatan angin maksimum memiliki korelasi negatif yang juga lemah (-0,033), yang menunjukkan bahwa variasi kecepatan angin maksimum tidak berkaitan erat dengan jumlah hujan yang turun, bahkan cenderung menunjukkan arah hubungan yang berlawanan namun tidak signifikan. Terakhir, lama penyinaran matahari memiliki nilai korelasi negatif sebesar -0,090, yang juga merupakan korelasi lemah. Nilai negatif ini mengindikasikan kecenderungan bahwa semakin panjang penyinaran matahari, hujan cenderung sedikit berkurang. Hal ini bisa dijelaskan secara logis karena kondisi mendung atau hujan biasanya memang membatasi lama penyinaran matahari. Namun, sekali lagi, kekuatan korelasinya terlalu kecil untuk dijadikan indikator prediktif yang kuat.

Berikut merupakan penjelasan dari grafik korelasi iklim dengan curah hujan rerata hulu DAS Angke yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki hasil yang berbeda. a) 1990-2000 Pada periode 1990-2000, curah hujan rerata hulu menunjukkan korelasi positif lemah dengan temperatur minimum sebesar 0,035, namun berkorelasi negatif cukup besar dengan temperatur maksimum sebesar -0,142, yang mengindikasikan bahwa kenaikan suhu maksimum berpotensi menurunkan curah hujan di wilayah hulu. Kelembapan rata-rata memiliki korelasi positif cukup kuat sebesar 0,226, menunjukkan semakin lembap udara, curah hujan cenderung meningkat. Kecepatan angin berkorelasi negatif sebesar -0,069, menunjukkan sedikit pengaruh angin dalam mengurangi curah hujan. Lama penyinaran matahari juga berkorelasi negatif cukup nyata sebesar -0,136, menandakan semakin panjang penyinaran, curah hujan berkurang. ENSO berkorelasi positif kecil sebesar 0,1, menunjukkan sedikit kontribusi fenomena ENSO terhadap kenaikan curah hujan di hulu. b) 1995-2005 Pada periode 1995-2005, korelasi temperatur minimum berubah menjadi negatif sangat kecil sebesar -0,002, 129 sementara korelasi temperatur maksimum masih negatif cukup kuat sebesar -0,134, menunjukkan pola yang mirip dengan periode sebelumnya. Kelembapan rata-rata sedikit menurun korelasinya menjadi 0,213 tetapi masih menunjukkan pengaruh positif terhadap curah hujan. Kecepatan angin berkorelasi negatif sebesar -0,045. Lama penyinaran matahari tetap negatif sebesar -0,130. ENSO stabil dengan korelasi positif sebesar 0,1, konsisten memberikan sedikit pengaruh meningkatkan curah hujan. c) 2000-2010 Pada periode 2000-2010, korelasi dengan temperatur minimum menjadi lebih negatif sebesar -0,015, sedangkan korelasi temperatur maksimum melemah menjadi -0,064. Kelembapan rata-rata turun signifikan korelasinya menjadi 0,128, namun masih tetap positif. Kecepatan angin juga berkorelasi negatif kecil sebesar -0,020, dan lama penyinaran matahari memiliki korelasi negatif sebesar -0,080. ENSO pada periode ini netral di angka 0,0, menunjukkan tidak ada hubungan nyata dengan curah hujan hulu. d) 2005-2015 Selama periode 2005-2015,

korelasi temperatur minimum masih negatif lemah sebesar -0,011, sedangkan korelasi temperatur maksimum turun drastis mendekati netral yaitu -0,019. Kelembapan rata-rata hanya tersisa korelasi positif kecil sebesar 0,039. Kecepatan angin semakin kecil pengaruhnya dengan korelasi -0,006. Lama penyinaran matahari tetap negatif sebesar -0,049. ENSO justru berkorelasi negatif kecil 130 sebesar -0,1, berbeda dari periode sebelumnya yang cenderung positif. e) 2010-2020 Pada periode 2010-2020, korelasi temperatur minimum masih negatif kecil sebesar -0,007, sementara temperatur maksimum stabil negatif di -0,020. Kelembapan rata-rata mengalami kenaikan korelasi menjadi 0,063, tetap menunjukkan kontribusi positif meskipun kecil. Kecepatan angin kembali negatif sebesar -0,027. Lama penyinaran matahari juga negatif sebesar -0,056, konsisten dengan pola sebelumnya. ENSO kembali berkorelasi positif kecil sebesar 0,1, menunjukkan adanya fluktuasi pengaruh ENSO terhadap curah hujan hulu di periode ini. Secara keseluruhan, pada wilayah hulu, kelembapan rata-rata konsisten berkorelasi positif dengan curah hujan, meskipun besar korelasinya menurun dari periode ke periode. Temperatur maksimum hampir selalu berkorelasi negatif, menunjukkan suhu tinggi cenderung menurunkan curah hujan. Lama penyinaran matahari pun konsisten berkorelasi negatif, mengindikasikan pengurangan curah hujan saat matahari bersinar lebih lama. Kecepatan angin dan ENSO menunjukkan fluktuasi, namun pengaruhnya relatif kecil terhadap curah hujan rerata hulu. 3) Curah Hujan Rerata Hilir DAS Angke dengan setiap Parameter Analisis korelasi Pearson antara parameter iklim dan curah hujan di hilir DAS Angke dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan linear antara variabel klimatik (seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan polutan udara) dengan pola curah hujan di wilayah 131 hilir yang telah terurbanisasi berat. Pendekatan statistik ini penting untuk memahami bagaimana efek perkotaan (urban heat island, perubahan tutupan lahan, dan aktivitas antropogenik) memodifikasi hubungan alamiah antara iklim dan curah hujan di kawasan hilir. Hasil analisis di wilayah hilir diharapkan menunjukkan pola yang



berbeda secara signifikan dengan wilayah hulu, mengingat dominasi permukaan kedap air dan struktur urban yang kompleks di hilir DAS Angke, yang dapat mengaburkan korelasi alamiah dan menciptakan dinamika iklim mikro yang unik. Temuan dari analisis ini akan memberikan dasar ilmiah untuk perencanaan tata ruang perkotaan yang adaptif terhadap perubahan iklim di kawasan hilir DAS Angke. Berikut grafik yang menunjukkan korelasi antara curah hujan bagian hilir DAS Angke dengan setiap parameter. Berdasarkan grafik korelasi pendekatan pearson antara curah hujan rerata hilir DAS Angke dengan masing-masing parameter iklim, terlihat bahwa semua parameter memiliki nilai korelasi yang sangat rendah, menunjukkan hubungan linear yang sangat lemah atau hampir tidak ada sama sekali. Temperatur minimum memiliki nilai korelasi $-0,003$ yang mendekati nol, artinya fluktuasi temperatur minimum harian hampir tidak memiliki pengaruh terhadap jumlah curah hujan di wilayah hilir DAS Angke. Demikian pula temperatur maksimum memiliki nilai korelasi negatif sebesar $-0,014$, yang meskipun sedikit lebih besar, tetap menunjukkan hubungan negatif yang sangat lemah, menandakan peningkatan suhu maksimum tidak berkaitan secara berarti dengan penurunan atau peningkatan curah hujan 132 di wilayah hilir. Namun, parameter kelembapan rata-rata memperlihatkan nilai korelasi positif tertinggi di antara semua variabel yaitu $0,044$, meskipun nilainya tetap berada dalam kategori sangat lemah. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan kelembapan udara hanya sedikit sekali berkaitan dengan peningkatan hujan di bagian hilir DAS Angke. Nilai ini juga menunjukkan bahwa meskipun secara teoritis kelembapan dapat berkontribusi pada pembentukan awan dan hujan, pengaruhnya dalam data ini terlalu kecil untuk diandalkan sebagai indikator prediktif yang kuat. Sementara itu, kecepatan angin maksimum memiliki korelasi positif sangat kecil ($0,009$), menandakan nyaris tidak ada pengaruh yang signifikan antara kecepatan angin maksimum dengan variasi curah hujan di hilir. Lama penyinaran matahari menunjukkan nilai korelasi negatif sebesar $-0,037$, yang menunjukkan kecenderungan

bahwa peningkatan lama penyinaran matahari berkorelasi sangat lemah dengan penurunan curah hujan, sejalan dengan pemahaman umum bahwa hujan biasanya mengurangi durasi penyinaran. Namun, nilainya sangat kecil sehingga tidak mencerminkan hubungan yang kuat atau dapat diandalkan. Berikut merupakan penjelasan dari grafik korelasi iklim dengan curah hujan rerata hulu DAS Angke yang dapat dinyatakan bahwa setiap periode memiliki hasil yang berbeda. a) 1990-2000 Pada periode 1990-2000, curah hujan rerata hilir berkorelasi negatif dengan temperatur minimum sebesar -0,025 dan temperatur maksimum sebesar - 133 0,099, menunjukkan bahwa kenaikan temperatur suhu cenderung menurunkan curah hujan meskipun pengaruhnya lemah. Kelembapan rata-rata memiliki korelasi positif sebesar 0,145, mengindikasikan bahwa kelembapan berperan meningkatkan curah hujan di wilayah hilir. Kecepatan angin berkorelasi negatif sangat kecil sebesar -0,005. Lama penyinaran matahari juga berkorelasi negatif sebesar -0,098, yang menunjukkan semakin lama penyinaran matahari, curah hujan cenderung turun. ENSO pada periode ini memiliki angka 0,0 yang dapat dikatakan netral, tidak menunjukkan pengaruh terhadap curah hujan. b) 1995-2005 Pada periode 1995-2005, korelasi temperatur minimum tetap negatif kecil sebesar -0,010, sedangkan temperatur maksimum berubah menjadi korelasi positif sangat kecil sebesar 0,011. Kelembapan rata-rata turun drastis korelasinya menjadi positif sebesar 0,008, nyaris netral. Kecepatan angin sedikit berkorelasi positif sebesar 0,005. Lama penyinaran matahari tetap negatif kecil sebesar -0,007. ENSO pada periode ini menunjukkan korelasi positif kecil sebesar 0,1, yang mengindikasikan sedikit pengaruh ENSO dalam meningkatkan curah hujan di hilir. c) 2000-2010 Pada periode 2000-2010, temperatur minimum justru bergeser menjadi korelasi positif kecil sebesar 0,007, dan temperatur maksimum meningkat korelasinya menjadi 0,032. Namun kelembapan rata-rata menjadi negatif sebesar -0,025, menunjukkan pola yang berbeda di mana kelembapan justru sedikit menurunkan curah hujan. Kecepatan angin berkorelasi positif lebih besar 134 dibanding periode



sebelumnya yakni 0,040. Lama penyinaran matahari juga berubah menjadi korelasi positif sebesar 0,049, berbeda dengan pola negatif sebelumnya. ENSO berkorelasi negatif kecil sebesar - 0,1, menunjukkan sedikit pengaruh ENSO dalam menurunkan curah hujan. d) 2005-2015 Selama periode 2005-2015, temperatur minimum berkorelasi positif sebesar 0,019, sedangkan temperatur maksimum stabil positif di 0,032. Kelembapan rata-rata kembali positif sebesar 0,016, menunjukkan sedikit pengaruh meningkatkan curah hujan. Kecepatan angin menjadi positif kecil sebesar 0,003. Lama penyinaran matahari kembali negatif sebesar -0,017. ENSO berkorelasi negatif kecil sebesar - 0,1, melanjutkan tren periode sebelumnya. e) 2010-2020 Pada periode 2010-2020, temperatur minimum tetap positif kecil sebesar 0,004, sementara temperatur maksimum masih positif di 0,012. Kelembapan rata-rata sedikit naik menjadi korelasi positif sebesar 0,019. Kecepatan angin kembali negatif sebesar -0,032, menunjukkan perubahan dari periode sebelumnya. Lama penyinaran matahari pun negatif lebih besar yakni -0,049, memperlihatkan pola bahwa semakin lama penyinaran matahari, curah hujan menurun. ENSO pada periode ini kembali netral dengan angka 0,0 yang menandakan tidak ada pengaruh signifikan. Secara keseluruhan, di wilayah hilir, hubungan antara curah hujan dan parameter iklim cenderung lemah dan fluktuatif. Kelembapan rata-rata umumnya 135 berkorelasi positif, meskipun pernah menjadi negatif di periode 2000-2010. Temperatur maksimum secara umum bergeser dari korelasi negatif ke positif dalam periode- periode terakhir, sedangkan temperatur minimum fluktuatif tetapi nilainya kecil. Lama penyinaran matahari cenderung negatif, meskipun ada periode (2000-2010) di mana hubungannya positif. ENSO secara keseluruhan menunjukkan pengaruh kecil dan berubah-ubah terhadap curah hujan hilir. 4) Curah Hujan Rerata DAS Angke dengan Parameter ENSO Berdasarkan grafik radar dan nilai korelasi Pearson, hubungan antara parameter ENSO (El Niño–Southern Oscillation) dengan curah hujan rerata di DAS Angke, baik secara regional maupun di bagian hulu dan hilir, terlihat sangat lemah. Untuk rerata



regional DAS Angke, nilai korelasi tercatat -0,046 yang menunjukkan hubungan negatif sangat lemah. Ini berarti perubahan indeks ENSO hanya sangat sedikit sekali. nyaris tidak signifikan keteerkaitannya dengan penurunan curah hujan rata-rata di wilayah ini. Dengan kata lain, pengaruh ENSO pada variasi curah hujan secara regional di DAS Angke hampir tidak terlihat dalam pola data linier. Pada bagian hilir DAS Angke, nilai korelasi juga negatif dan bahkan sedikit lebih besar dalam magnitudo yaitu -0,067. Nilai ini memperkuat kesimpulan bahwa di wilayah hilir terdapat kecenderungan sangat lemah di mana peningkatan indeks ENSO (yang sering dihubungkan dengan kondisi El Niño kering) berasosiasi dengan sedikit penurunan curah hujan, tetapi kekuatan hubungannya terlalu kecil untuk dianggap signifikan atau 136 berguna sebagai prediktor praktis. Sebaliknya, pada bagian hulu DAS Angke, nilai korelasi tercatat positif sebesar 0,052. Hal ini menunjukkan kecenderungan sangat lemah ke arah hubungan positif, di mana peningkatan indeks ENSO sedikit terkait dengan kenaikan curah hujan di hulu, tetapi sekali lagi nilainya terlalu dekat dengan nol untuk menunjukkan pola hubungan yang bermakna.

4.3 Pembahasan Analisis Grafik

ini menunjukkan koefisien korelasi antara data iklim dan data curah hujan keseluruhan, terdiri dari tiga seri garis (curah hujan rerata regional, hulu, dan hilir) terhadap enam parameter iklim, yaitu Temperatur Minimum, Temperatur Maksimum, Kelembapan Rata-rata, Lama Penyinaran Matahari, Kecepatan Angin, dan ENSO. 29 Nilai korelasi berkisar antara negatif dan positif, meskipun seluruh nilai korelasi relatif kecil (mendekati nol) yang menunjukkan hubungan lemah. Berdasarkan hasil analisis korelasi antara parameter iklim dengan data curah hujan (keseluruhan, hulu, dan hilir), diperoleh bahwa nilai korelasi antara temperatur minimum dengan curah hujan menunjukkan nilai tertinggi sebesar 0,0001 yang terjadi di wilayah hulu. Nilai ini sangat mendekati nol, sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur minimum tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi curah hujan. Untuk temperatur



maksimum, nilai korelasi maksimum ditemukan sebesar -0,014 di wilayah hilir. Korelasi negatif ini menunjukkan adanya kecenderungan 137 penurunan curah hujan seiring dengan peningkatan suhu maksimum, namun hubungan ini sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik. Namun parameter kelembapan rata-rata menunjukkan korelasi positif tertinggi dibandingkan parameter lainnya, dengan nilai 0,132 di wilayah hulu. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kelembapan udara cenderung berkaitan dengan peningkatan curah hujan, meskipun kekuatan korelasi masih tergolong lemah hingga sedang. Selanjutnya, kecepatan angin menunjukkan nilai korelasi tertinggi sebesar 0,009 di wilayah hilir. Nilai ini sangat rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan curah hujan di wilayah studi. Pada parameter lama penyinaran matahari, seluruh nilai korelasi yang diperoleh bersifat negatif. Nilai korelasi tertinggi tercatat sebesar -0,037 di wilayah hilir. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan terbalik antara lama penyinaran matahari dengan curah hujan, namun kekuatan hubungan tersebut sangat lemah. Terakhir, parameter ENSO menunjukkan nilai korelasi tertinggi sebesar 0,052 di wilayah hulu. Korelasi ini menunjukkan bahwa terdapat sedikit kecenderungan peningkatan curah hujan saat terjadi fenomena ENSO, namun nilai korelasinya juga tergolong sangat lemah dan tidak signifikan. Berdasarkan grafik dan nilai korelasi Pearson yang ditampilkan, hubungan antara berbagai parameter iklim dengan curah hujan di DAS Angke, baik di tingkat regional, hulu, maupun hilir, secara umum tergolong sangat lemah. Korelasi dengan temperatur minimum 138 hampir mendekati nol di semua wilayah, yakni -0,003 untuk wilayah regional, 0,0001 untuk hulu, dan -0,003 untuk hilir, yang menunjukkan bahwa pengaruh suhu minimum terhadap variasi curah hujan sangat kecil. Temperatur maksimum menunjukkan korelasi negatif yang cukup ringan, terutama di wilayah hulu sebesar -0,073 dan di hilir sebesar -0,014, yang menunjukkan adanya kecenderungan penurunan curah hujan saat suhu maksimum meningkat,

meskipun korelasinya masih tergolong sangat lemah. Kelembapan rata-rata memiliki korelasi positif yang sedikit lebih tinggi, yakni 0,132 di wilayah hulu, 0,078 di wilayah regional, dan 0,044 di wilayah hilir, yang menunjukkan bahwa kenaikan kelembapan cenderung diikuti dengan peningkatan curah hujan, meskipun hubungan ini tidak terlalu kuat. Kecepatan angin maksimum menunjukkan korelasi yang sangat kecil, baik positif maupun negatif, dengan nilai tertinggi hanya 0,009 di wilayah hilir, menunjukkan bahwa variasi kecepatan angin praktis tidak memengaruhi curah hujan secara signifikan. Lamanya penyinaran matahari menunjukkan korelasi negatif yang lemah di semua wilayah, terendah di wilayah hulu sebesar -0,090, yang menunjukkan bahwa semakin lama matahari bersinar, semakin sedikit curah hujan, meskipun hubungan ini tidak signifikan. Faktor ENSO menunjukkan korelasi negatif ringan di wilayah regional (-0,046) dan hilir (-0,067), sementara di wilayah hulu justru menunjukkan korelasi positif kecil sebesar 0,052, yang menunjukkan variasi pengaruh fenomena global ini di setiap wilayah DAS. Secara keseluruhan, grafik dan data tersebut menunjukkan bahwa parameter iklim lokal memiliki pengaruh yang sangat lemah terhadap curah hujan di DAS Angke, sedangkan faktor global seperti ENSO pun hanya menunjukkan korelasi rendah, sehingga curah hujan di wilayah ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang lebih kompleks atau bersifat lokal spesifik.

140 BAB V PENUTUP

Dari hasil analisis yang didapatkan dari "Analisis Spektrum Hujan Akibat Perubahan Iklim di Daerah Aliran Sungai Angke", didapatkan sebuah kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapatkan dari "Analisis Spektrum Hujan Akibat Perubahan Iklim di Daerah Aliran Sungai Angke", didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1) Penelitian ini berhasil mengidentifikasi variasi spektrum hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Angke, Berdasarkan grafik, Temperatur minimum hampir tidak berpengaruh dengan korelasi -0,003 (regional), 0,0001 (hulu), dan -0,003 (hilir). Temperatur maksimum berkorelasi negatif lemah, misalnya -0,034 (regional)

dan -0,073 (hulu), artinya kenaikan suhu sedikit menurunkan curah hujan. Kelembapan rata-rata berkorelasi positif kecil, tertinggi 0,132 di hulu, menunjukkan sedikit kenaikan curah hujan saat kelembapan meningkat. Kecepatan angin maksimum hampir tidak berpengaruh dengan nilai berkisar antara -0,033 hingga 0,009. Lama penyinaran matahari menunjukkan korelasi negatif lemah, terendah -0,090 di hulu, menandakan curah hujan cenderung turun saat penyinaran lebih lama. ENSO memiliki korelasi negatif ringan di regional (-0,046) dan hilir (-0,067), tetapi sedikit positif di hulu (0,052), menunjukkan pengaruh yang bervariasi. Secara keseluruhan. Parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap curah hujan di DAS Angke dengan hasil yang positif dan negatif walaupun memang tidak signifikan. 2) Penelitian ini mengungkap pengaruh perubahan iklim terhadap spektrum hujan di DAS Angke. Fenomena global seperti ENSO (El Niño dan La Niña) terbukti memengaruhi 141 pola curah hujan, dengan El Niño mengurangi curah hujan (terutama di hilir) dan La Niña meningkatkan curah hujan (lebih dominan di hulu). Namun, dampak perubahan iklim semakin kompleks akibat intervensi antropogenik seperti urbanisasi, alih fungsi lahan, dan polusi udara, yang memperburuk variabilitas hujan, khususnya di wilayah hilir. Analisis statistik menunjukkan bahwa kelembapan udara memiliki korelasi positif terkuat dengan curah hujan, sementara suhu dan kecepatan angin memberikan pengaruh minimal. Temuan ini mendapatkan bahwa perubahan iklim memiliki pengaruh terhadap spektrum hujan. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengidentifikasi variasi spektrum hujan dan pengaruh perubahan iklim di DAS Angke. 5.2 Saran Saran yang dapat diberikan berdasarkan analisis pada penelitian "Analisis Spektrum Hujan Akibat Perubahan Iklim di Daerah Aliran Sungai Angke" ialah sebagai berikut. 1) Pada penelitian selanjutnya diperlukan adanya studi mendalam terkait dengan dampak perubahan spektrum hujan terhadap debit sungai dan kualitas air di DAS Angke. 2) Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan analisis secara mendalam menggunakan analisis wavelet atau korelasi

REPORT #27594403

spasio-temporal untuk mengidentifikasi pola perubahan iklim skala regional.
Serta uji signifikansi statistik untuk trend hujan ekstrem setiap periodenya. 142 143



REPORT #27594403

Results

Sources that matched your submitted document.

● IDENTICAL ● CHANGED TEXT

INTERNET SOURCE		
1.	0.46% digilib.uns.ac.id https://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/47739/MTgzNDY3/Simulasi-Hujan-...	●
INTERNET SOURCE		
2.	0.39% www.liputan6.com https://www.liputan6.com/feeds/read/5898285/apa-itu-el-nino-fenomena-iklim...	●
INTERNET SOURCE		
3.	0.39% sahabatinformasi.com https://sahabatinformasi.com/lingkungan/ekologi/la-nina-pengertian-penyebab..	●
INTERNET SOURCE		
4.	0.29% repositori.uma.ac.id https://repositori.uma.ac.id/bitstream/123456789/1398/6/131801025_file%206.p..	●
INTERNET SOURCE		
5.	0.27% core.ac.uk https://core.ac.uk/download/pdf/33510059.pdf	●
INTERNET SOURCE		
6.	0.27% rudyct.com https://rudyct.com/ab/Pengaruh.Perubahan.Iklim.Terhadap.Pola.Cuaca.pdf	●
INTERNET SOURCE		
7.	0.22% journal.unika.ac.id https://journal.unika.ac.id/index.php/praxis/article/downloadSuppFile/13223/33..	●
INTERNET SOURCE		
8.	0.2% www.pesisirselatankab.go.id https://www.pesisirselatankab.go.id/rberita/detail/sadar-iklim-mengenal-la-nin...	●
INTERNET SOURCE		
9.	0.19% fisipol.uma.ac.id https://fisipol.uma.ac.id/dampak-pemanasan-global-terhadap-dunia/	●



REPORT #27594403

INTERNET SOURCE

10. **0.17%** lib.unm.ac.id

https://lib.unm.ac.id/storage/file_thesis/CQhOxsEaSPmHA4Sf5QiK416T8XMCuH...

INTERNET SOURCE

11. **0.16%** eprints.umg.ac.id

<http://eprints.umg.ac.id/1397/4/ROSSY%20S.A%20MANAJEMEN%20Bab%20III.p...>

INTERNET SOURCE

12. **0.15%** www.sukabumiupdate.com

<https://www.sukabumiupdate.com/science/120295/mengenal-fenomena-el-nin...>

INTERNET SOURCE

13. **0.15%** documents1.worldbank.org

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099012324045014413/pdf/P156...>

INTERNET SOURCE

14. **0.15%** www.menlhk.go.id

https://www.menlhk.go.id/cadmin/uploads/SLHI_2022_upload_final_77f994857..

INTERNET SOURCE

15. **0.13%** ugm.ac.id

<https://ugm.ac.id/id/berita/22459-pengamat-ugm-banyak-faktor-pengaruhi-ting..>

INTERNET SOURCE

16. **0.13%** akupintar.id

<https://akupintar.id/info-pintar/-/blogs/proses-terjadinya-hujan-dan-jenis-jenis-...>

INTERNET SOURCE

17. **0.13%** www.gramedia.com

<https://www.gramedia.com/literasi/perbedaan-iklim-dan-cuaca/?srsltid=AfmBO...>

INTERNET SOURCE

18. **0.13%** journal.uhamka.ac.id

<https://journal.uhamka.ac.id/index.php/jgel/article/download/4354/1896/13446>

INTERNET SOURCE

19. **0.12%** www.kompasiana.com

<https://www.kompasiana.com/naylaauliakhairunnisa6186/68190104c925c458b4..>

INTERNET SOURCE

20. **0.12%** www.gramedia.com

<https://www.gramedia.com/literasi/kajian-pustaka/?srsltid=AfmBOornnyeTSIV00..>



REPORT #27594403

INTERNET SOURCE	
21. 0.11% media.neliti.com	●
https://media.neliti.com/media/publications/486956-none-c941f62a.pdf	
INTERNET SOURCE	
22. 0.11% sihojurnal.com	●
https://sihojurnal.com/index.php/penarik/article/download/127/160	
INTERNET SOURCE	
23. 0.11% www.kompasiana.com	●
https://www.kompasiana.com/lorongmandiri1237/6525788eedff7657683aa6a2/...	
INTERNET SOURCE	
24. 0.11% repository.uinsu.ac.id	●
http://repository.uinsu.ac.id/23642/4/Bab_3_Helmi.pdf	
INTERNET SOURCE	
25. 0.1% journal.ubm.ac.id	●
https://journal.ubm.ac.id/index.php/alu/article/viewFile/8081/3156	
INTERNET SOURCE	
26. 0.09% openlibrary.telkomuniversity.ac.id	●
https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/187930/jurnal_eproc/si...	
INTERNET SOURCE	
27. 0.09% ejournal.uniks.ac.id	●
https://ejournal.uniks.ac.id/index.php/JPS/article/download/94/65/	
INTERNET SOURCE	
28. 0.09% jurnal.usahidsolo.ac.id	●
https://jurnal.usahidsolo.ac.id/index.php/GI/article/download/455/374	
INTERNET SOURCE	
29. 0.09% journal.pandawan.id	●
https://journal.pandawan.id/mentari/article/download/592/450/3151	
INTERNET SOURCE	
30. 0.08% repository.unas.ac.id	●
http://repository.unas.ac.id/8857/1/Bab%201.pdf	
INTERNET SOURCE	
31. 0.08% medium.com	●
https://medium.com/@myskill.id/correlation-analysis-b39b9ff96c86	



REPORT #27594403

INTERNET SOURCE	
32. 0.08% datasans.medium.com	●
https://datasans.medium.com/cheatsheet-statistika-untuk-data-science-yang-w..	
INTERNET SOURCE	
33. 0.07% jogja.suara.com	●
https://jogja.suara.com/read/2021/11/02/164102/penjelasan-lengkap-proses-te...	
INTERNET SOURCE	
34. 0.07% ejurnal.ung.ac.id	●
https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/geojpg/article/download/26522/8817	
INTERNET SOURCE	
35. 0.06% mediaindonesia.com	●
https://mediaindonesia.com/humaniora/707356/bagaimana-pengaruh-perubah...	
INTERNET SOURCE	
36. 0.06% www.depokpos.com	●
https://www.depokpos.com/2025/01/dampak-perubahan-iklim-terhadap-pola-h..	
INTERNET SOURCE	
37. 0.06% www.gramedia.com	●
https://www.gramedia.com/literasi/pengertian-cuaca/?srsltid=AfmBOopOBnwd...	
INTERNET SOURCE	
38. 0.05% media.neliti.com	●
https://media.neliti.com/media/publications/107228-none-6de95fe5.pdf	
INTERNET SOURCE	
39. 0.05% ettheses.uin-malang.ac.id	●
http://etheses.uin-malang.ac.id/65664/1/200604110061.pdf	
INTERNET SOURCE	
40. 0.04% journal.trunojoyo.ac.id	●
https://journal.trunojoyo.ac.id/jurnalkelautan/article/download/29100/10769	
INTERNET SOURCE	
41. 0.02% eprints.poltekkesjogja.ac.id	●
https://eprints.poltekkesjogja.ac.id/9779/4/4.%20Chapter%202.pdf	