

Analisis tren pola curah hujan di Wilayah Manado dan sekitarnya

Brilliant Abraham Wallah*, Tiny Mananoma, Cindy Jeane Supit

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding authors: brilliantwallah021@student.unsrat.ac.id

Submitted: 22 January 2025, Revised: 4 May 2025, Accepted: 20 May 2025

ABSTRACT: Flood disasters are one of the major issues frequently occurring in Manado City, Indonesia, particularly during the rainy season. These floods are influenced by various factors, including changes in land use, deforestation in upstream river areas, river sedimentation, inadequate drainage systems, and extreme rainfall. Climate change also significantly impacts the hydrological cycle, including the intensity, frequency, and distribution of rainfall. Manado City is highly vulnerable to increased rainfall intensity, especially during specific months. Therefore, analyzing rainfall pattern changes over the past 50 years is crucial for a deeper understanding of their impacts. This study aims to identify trends in rainfall pattern changes in the Manado region and its surroundings over the last 50 years. The analysis focuses on several variables, including annual average rainfall, maximum daily rainfall, the number of rainy days per year, months with maximum daily rainfall, and average monthly rainfall. Rainfall data were obtained from three observation stations: Sam Ratulangi Meteorological Station, North Sulawesi Climatology Station, and Bitung Maritime Meteorological Station. Statistical analysis was conducted using linear regression and the Mann-Kendall Trend method to determine data trends. The analysis results indicate that the annual average rainfall trend has increased at all observation stations. Maximum daily rainfall shows a significant increasing trend at North Sulawesi Climatology Station, while the increases at the other two stations are not significant. The number of rainy days per year also shows an increasing trend at all stations, though not significantly. The distribution of maximum daily rainfall frequency tends to occur at the beginning of the year (January) and the end of the year (December), with decreasing frequency in the following months until mid-year. This distribution pattern forms a "U" or "V" shape at Sam Ratulangi Meteorological Station and North Sulawesi Climatology Station, whereas at Bitung Maritime Meteorological Station, rainfall patterns are more evenly distributed throughout the year. Additionally, average monthly rainfall shows an increasing linear trend in almost all months at all observation stations. This study contributes to the understanding of rainfall pattern changes, which can serve as a basis for spatial planning, disaster mitigation, and the adaptive design of infrastructure to cope with climate change in urban areas such as Manado.

KEYWORDS: Manado; rainfall; trend of pattern changes.

ABSTRAK: Bencana banjir merupakan salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di Kota Manado, Indonesia, terutama selama musim hujan. Banjir ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain perubahan penggunaan lahan, kerusakan hutan di hulu sungai, sedimentasi sungai, sistem drainase yang tidak memadai, serta curah hujan ekstrem. Perubahan iklim turut berdampak signifikan terhadap siklus hidrologi, termasuk intensitas, frekuensi, dan distribusi curah hujan. Kota Manado merupakan kawasan yang rentan terhadap peningkatan intensitas curah hujan, terutama pada bulan-bulan tertentu. Oleh karena itu, analisis pola perubahan curah hujan selama 50 tahun terakhir menjadi krusial untuk memahami dampaknya secara lebih mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren perubahan pola curah hujan di wilayah Manado dan sekitarnya dalam kurun waktu 50 tahun terakhir. Analisis dilakukan terhadap beberapa variabel, yaitu curah hujan rata-rata tahunan, curah hujan harian maksimum, jumlah hari hujan dalam setahun, bulan dengan curah hujan harian maksimum, serta curah hujan rata-rata bulanan. Data curah hujan diperoleh dari tiga stasiun pengamatan, yaitu Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi, Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara, dan Stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Analisis statistik dilakukan menggunakan metode regresi linier dan Mann-Kendall Trend untuk menentukan tren data. Hasil analisis menunjukkan bahwa tren curah hujan rata-rata tahunan mengalami peningkatan di semua stasiun pengamatan. Curah hujan harian maksimum menunjukkan tren peningkatan yang signifikan di Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara, sementara di dua stasiun lainnya peningkatannya tidak signifikan. Jumlah hari hujan dalam setahun juga menunjukkan tren peningkatan di semua stasiun, meskipun tidak signifikan. Distribusi frekuensi curah hujan harian maksimum cenderung terjadi pada awal tahun (Januari) dan akhir tahun (Desember), dengan frekuensi yang menurun pada bulan-bulan berikutnya hingga pertengahan tahun. Pola distribusi ini cenderung berbentuk "U" atau "V" di Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara, sementara di Stasiun Meteorologi Maritim Bitung pola curah hujan lebih merata sepanjang tahun. Selain itu, curah hujan rata-rata bulanan menunjukkan tren linier yang meningkat pada hampir semua bulan di semua stasiun pengamatan. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman pola perubahan curah hujan, yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta desain teknis infrastruktur yang adaptif terhadap perubahan iklim di kawasan perkotaan seperti Manado.

KATA KUNCI: Manado; curah hujan; tren pola perubahan.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang rentan terhadap berbagai jenis bencana alam, termasuk gempa bumi, tanah longsor, gunung meletus, dan banjir. Di antara bencana-bencana tersebut, banjir menjadi permasalahan yang sering terjadi di kawasan perkotaan, termasuk di Kota Manado. Selama dua dekade terakhir, hampir setiap tahun Manado menghadapi banjir yang berulang, terutama saat musim hujan. Kejadian banjir besar pada tahun 2014 (Pujiastuti & Nurjani, 2018, Balahanti et al., 2023, Syohiroh et al., 2024) menjadi salah satu yang paling merusak, menyebabkan kerugian besar baik dari segi korban jiwa maupun infrastruktur. Fenomena ini cenderung semakin merusak dari waktu ke waktu, mengindikasikan perlunya perhatian yang serius dalam memahami faktor-faktor penyebabnya.

Faktor utama yang memicu banjir di kawasan perkotaan seperti Manado meliputi perubahan tata guna lahan yang mengurangi daya resap tanah, kerusakan hutan di hulu sungai, penyempitan kapasitas sungai akibat sedimentasi, sistem drainase yang tidak memadai, serta intensitas curah hujan yang tinggi. Salah satu elemen penting yang semakin mendapat perhatian adalah pengaruh perubahan iklim terhadap pola curah hujan termasuk curah hujan ekstrem (Tabari, 2020, Li et al., 2024). Curah hujan adalah volume air yang jatuh ke permukaan bumi sebagai presipitasi (hujan, salju, es, kabut) dalam periode tertentu, diukur dalam milimeter atau inci. Terbentuk melalui kondensasi uap air di atmosfer hingga gravitasi menariknya ke bumi (Chow et al., 1988, Raghunath, 2006). Perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan suhu global akibat konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer membawa dampak signifikan terhadap siklus hidrologi, sehingga memicu perubahan dalam intensitas, frekuensi, dan distribusi curah hujan (IPCC, 2021, Allan & Soden, 2008, Ho et al., 2023).

Perubahan pola curah hujan tidak hanya memengaruhi dinamika bencana alam seperti banjir, tetapi juga memberikan dampak luas pada sektor pertanian, sumber daya air, dan ekosistem. Perubahan dalam intensitas dan waktu hujan dapat mengganggu siklus pertanian, mengurangi keandalan pasokan air, serta meningkatkan risiko terjadinya cuaca ekstrem seperti banjir dan kekeringan (Trenberth, 2011). Di Manado, fenomena ini menjadi semakin nyata, karena terdapat beberapa sungai yang cukup besar yang bermuara di kota ini yang menjadikan kawasan ini rentan terhadap peningkatan intensitas curah hujan, terutama di bulan-bulan tertentu. Upaya-upaya mitigasi telah dilakukan terutama terkait penyiapan infrastruktur terkait penanggulangan banjir serta penyiapan masyarakat yang sadar bencana, tetapi upaya untuk memahami perubahan pola curah hujan sebagai dampak dari perubahan iklim masih kurang

mendapat perhatian. Oleh karena itu, analisis pola perubahan curah hujan selama kurun waktu 50 tahun terakhir menjadi krusial dan penting untuk memahami dampaknya secara lebih mendalam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tren perubahan pola curah hujan di Manado dan sekitarnya dengan menggunakan data dari tiga stasiun, yaitu Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi, Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara, dan Stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Variabel yang dianalisis meliputi curah hujan rata-rata tahunan, curah hujan harian maksimum, jumlah hari hujan dalam setahun, distribusi curah hujan harian maksimum, serta curah hujan rata-rata bulanan. Analisis ini dilakukan dengan metode statistik sederhana dan regresi linier untuk menggambarkan tren data yang terjadi dalam jangka panjang.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tren perubahan pola curah hujan di Manado. Pemahaman ini penting untuk merumuskan strategi mitigasi bencana banjir, pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif, serta desain teknis infrastruktur yang adaptif terhadap perubahan iklim. Lebih jauh lagi, penelitian ini juga berkontribusi pada literatur ilmiah mengenai hubungan antara perubahan iklim dan dinamika presipitasi di tingkat regional, yang relevan dengan tantangan global saat ini.

Beberapa penelitian sebelumnya yang terkait telah dilakukan misalnya yang dilakukan oleh Fadholi (2013), yang menganalisis perubahan suhu dan curah hujan di Pangkalpinang (1981–2011) menggunakan data meteorologi dan metode statistik seperti regresi linier dan uji *Kruskal-Wallis*. Hasil menunjukkan curah hujan cenderung menurun dimana curah hujan tahunan rata-rata 2,450.5 mm, dengan tren suhu berkisar 26°C–29°C. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemantauan iklim jangka panjang untuk strategi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Penelitian lain oleh Susilokarti et al. (2015) menganalisis perubahan iklim melalui pola curah hujan di daerah irigasi selatan Jatiluhur (1975–2012) menggunakan metode statistik, seperti regresi linier dan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil menunjukkan perubahan signifikan dalam distribusi curah hujan antara musim kemarau dan normal, dengan korelasi siklus kemarau-hujan kuat ($R=0.969$; $R=0.912$). Temuan ini relevan untuk pengelolaan air dan pertanian, serta mitigasi dampak perubahan iklim pada produksi pangan. Sementara itu Pattipeilohy et al. (2022) menganalisis tren perubahan curah hujan di Pulau Seram (1959–2018) menggunakan data dari berbagai stasiun iklim untuk memperbarui klasifikasi iklim *Schmidt-Ferguson* dan menilai kesesuaian iklim bagi tanaman pala (*Myristica fragrans*), dimana hasilnya menunjukkan variasi curah hujan yang signifikan dan mengindikasikan pentingnya data terkini untuk mendukung kebijakan pertanian berkelanjutan, serta potensi pengembangan pala yang

lebih efektif di wilayah tersebut. Ginting, (2021) menganalisis perubahan pola curah hujan akibat fenomena *La Nina* di Indonesia selama periode 1998–2018 menggunakan data satelit *PERSIANN*. *La Nina* meningkatkan kedalaman hujan dan memengaruhi kondisi hidrologi, dengan puncak hujan tertinggi terjadi pada tahun 2010, melampaui rata-rata 10 kali lipat. Bulan November menunjukkan frekuensi hujan ekstrem tertinggi (12 kali), dengan kedalaman maksimum 1,104.84 mm dan rata-rata 841.99 mm. Temuan ini menekankan pentingnya pemantauan cuaca dan mitigasi risiko bencana akibat *La Nina*.

Penelitian ini secara spesifik meninjau lokasi di kota Manado dan sekitarnya yang berbeda dari penelitian-penelitian yang diuraikan sebelumnya disamping itu penelitian ini juga menganalisis variable curah hujan harian maksimum yang biasanya digunakan dalam bidang teknik sipil sumber daya air yang tidak diamati dalam penelitian-penelitian yang diuraikan tersebut.

2. METODOLOGI

Penelitian ini berlokasi di Sulawesi Utara, khususnya di Kota Manado dan sekitarnya, dengan tujuan menganalisis tren perubahan pola curah hujan selama 50 tahun terakhir. Data yang digunakan berupa data curah hujan harian yang diperoleh dari tiga stasiun pengamatan: Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi kota Manado (Stasiun 1), Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara kabupaten Minahasa Utara (Stasiun 2) dan Stasiun Meteorologi Maritim Bitung, kota Bitung (Stasiun 3) (Badan Meteorology, Klimatologi, 2024). Lokasi ketiga stasiun tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Stasiun Sam Ratulangi memiliki data dari 1974–2023, kecuali tahun 1979, sedangkan Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara mencakup periode 1974–2023, dengan kekosongan data pada 1978–1979. Stasiun Maritim Bitung hanya memiliki data dari 1981–2023.

Analisis dilakukan menggunakan metode statistik sederhana untuk menghitung rata-rata, nilai maksimum, minimum, serta tren pola curah hujan melalui regresi linier yang dibantu aplikasi *Microsoft Excel* dan analisis tren dengan metode *Mann-Kendall*. Kategori analisis mencakup: (a) curah hujan rata-rata tahunan, (b) curah hujan harian maksimum, (c) jumlah hari hujan per tahun, (d) bulan dengan curah hujan maksimum, dan (e) rata-rata curah hujan bulanan. Data dikelompokkan berdasarkan kebutuhan analisis, seperti data bulanan dan tahunan, untuk melihat pola dan tren perubahan selama periode pengamatan.

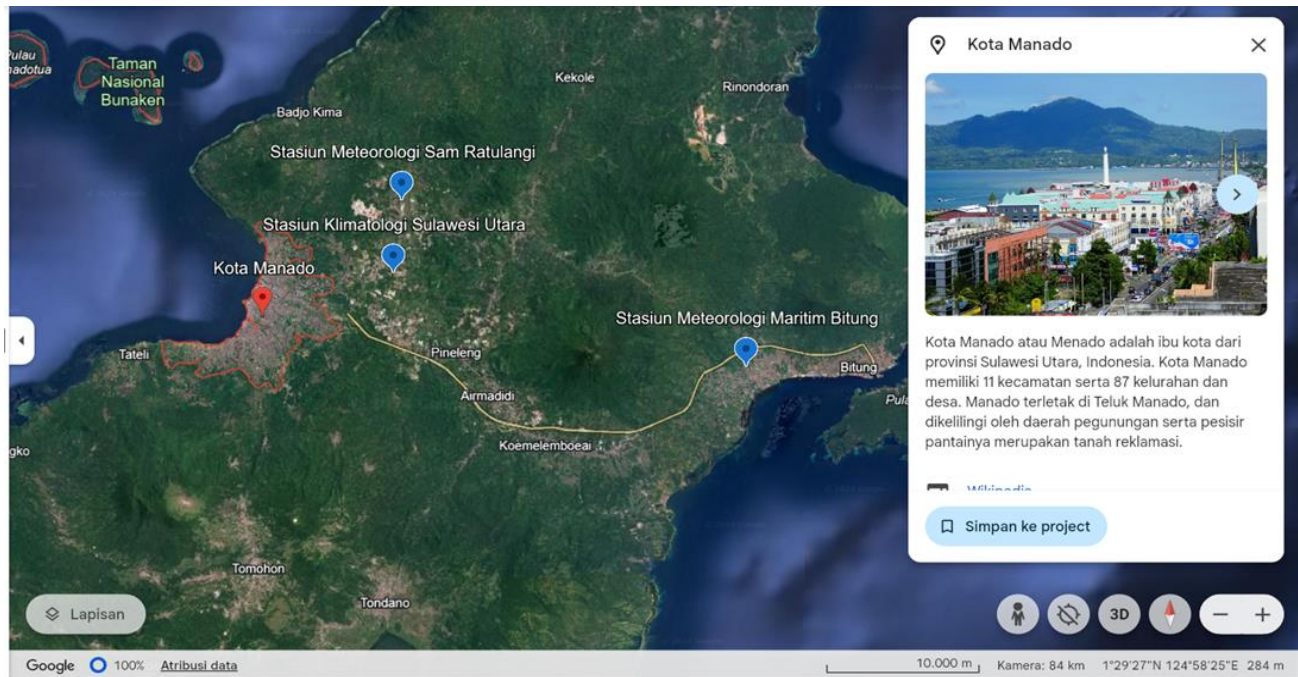
Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengidentifikasi tren perubahan dalam berbagai kategori curah hujan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

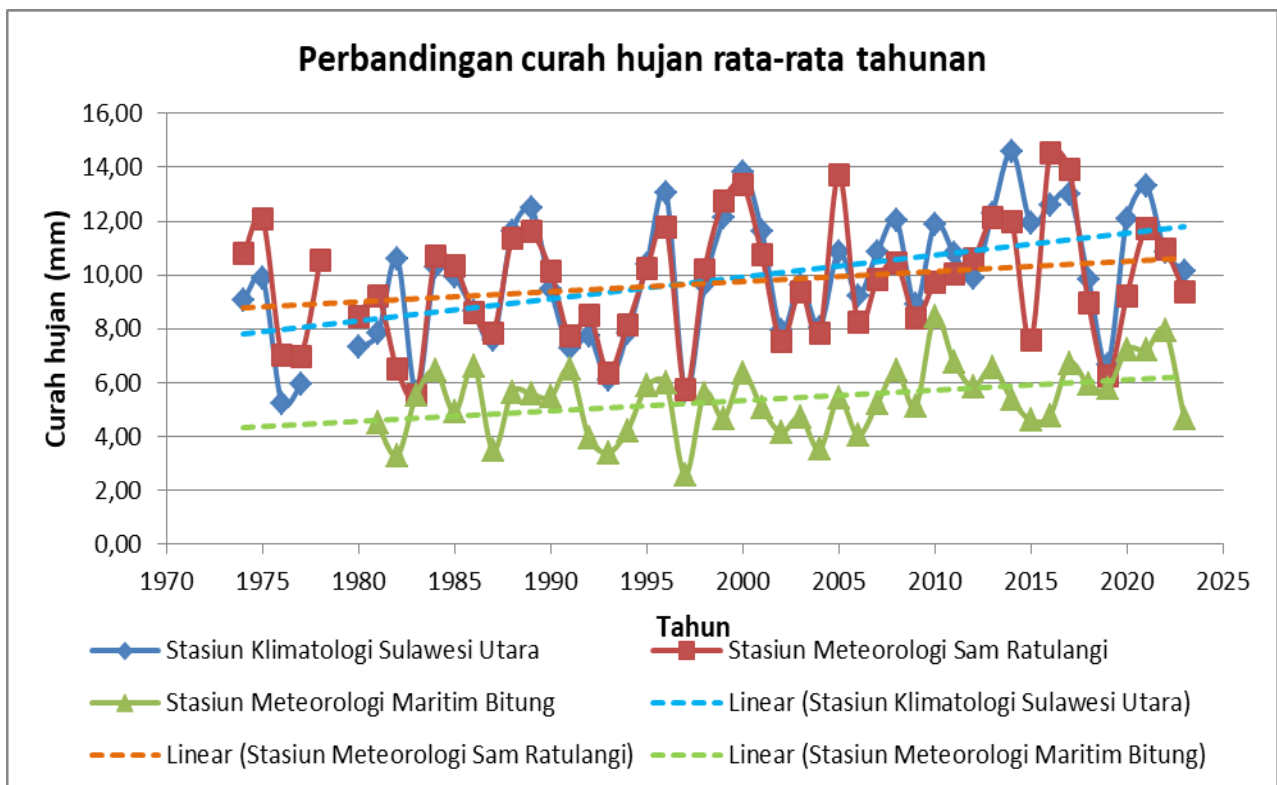
Gambar 2 menunjukkan perbandingan curah hujan rata-rata tahunan untuk ketiga stasiun tersebut dalam 40 sampai 50 tahun terakhir yang menunjukkan bahwa data curah hujan pada tiga stasiun tersebut menunjukkan tren linier yang meningkat atau naik walaupun dengan besaran yang berbeda. Tren linier peningkatan curah hujan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara adalah yang tertinggi dibandingkan dua stasiun lainnya yaitu sebesar 4.00 mm dibandingkan dengan stasiun Meteorologi Sam Ratulangi (1.82 mm) dan stasiun Meteorologi Maritim Bitung (1.61 mm). Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa curah hujan rata-rata tahunan untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara memiliki pola yang hampir sama baik besarnya termasuk nilai-nilai maksimum serta minimumnya maupun pola perubahannya. Sedangkan curah hujan rata-rata tahunan menurut data dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung menunjukkan besaran yang lebih rendah dibandingkan dua stasiun lainnya dimana rata-rata dari curah hujan rata-rata tahunan untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih tinggi 82.91% dibandingkan stasiun Meteorologi Bitung. Demikian juga untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi lebih tinggi 79.68% dibandingkan stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Sedangkan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih tinggi 1.80% dari stasiun Meteorologi Sam Ratulangi.

Kemiripan curah hujan rata-rata tahunan antara stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara kemungkinan besar karena lokasi dari dua stasiun tersebut relatif tidak terlalu jauh (sekitar 4 km) dibandingkan dengan stasiun Meteorologi Maritim Bitung yang berjarak sekitar 25 km dari kedua stasiun tersebut. Demikian juga secara geografis stasiun Meteorologi Maritim Bitung lebih dekat ke laut (sekitar 2 km) dibandingkan dengan dua stasiun lainnya (sekitar 8-9 km). Namun demikian ada tahun-tahun tertentu data ketiga stasiun tersebut sama-sama menunjukkan curah hujan rata-rata tahunan terendah yaitu tahun 1993 dan 1997.

Analisis tren dengan metode *Mann-Kendal* menunjukkan tren naik untuk ketiga stasiun dengan nilai *Kendal Tau* (τ) positif masing-masing 0.144, 0.359 dan 0.177 berturut-turut untuk stasiun 1, 2 dan 3 seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Walaupun demikian hanya stasiun 2 yang memiliki tren naik yang signifikan dengan $p\text{-value} = 0.00032$ ($< \alpha = 0.05$) sedangkan untuk stasiun 1 dan 3 tren naiknya tidak signifikan dengan $p\text{-value}$ berturut-turut = 0.15 dan $0.10 > \alpha = 0.05$.



Gambar 1. Lokasi stasiun pengambilan data curah hujan



Gambar 2. Perbandingan curah hujan rata-rata

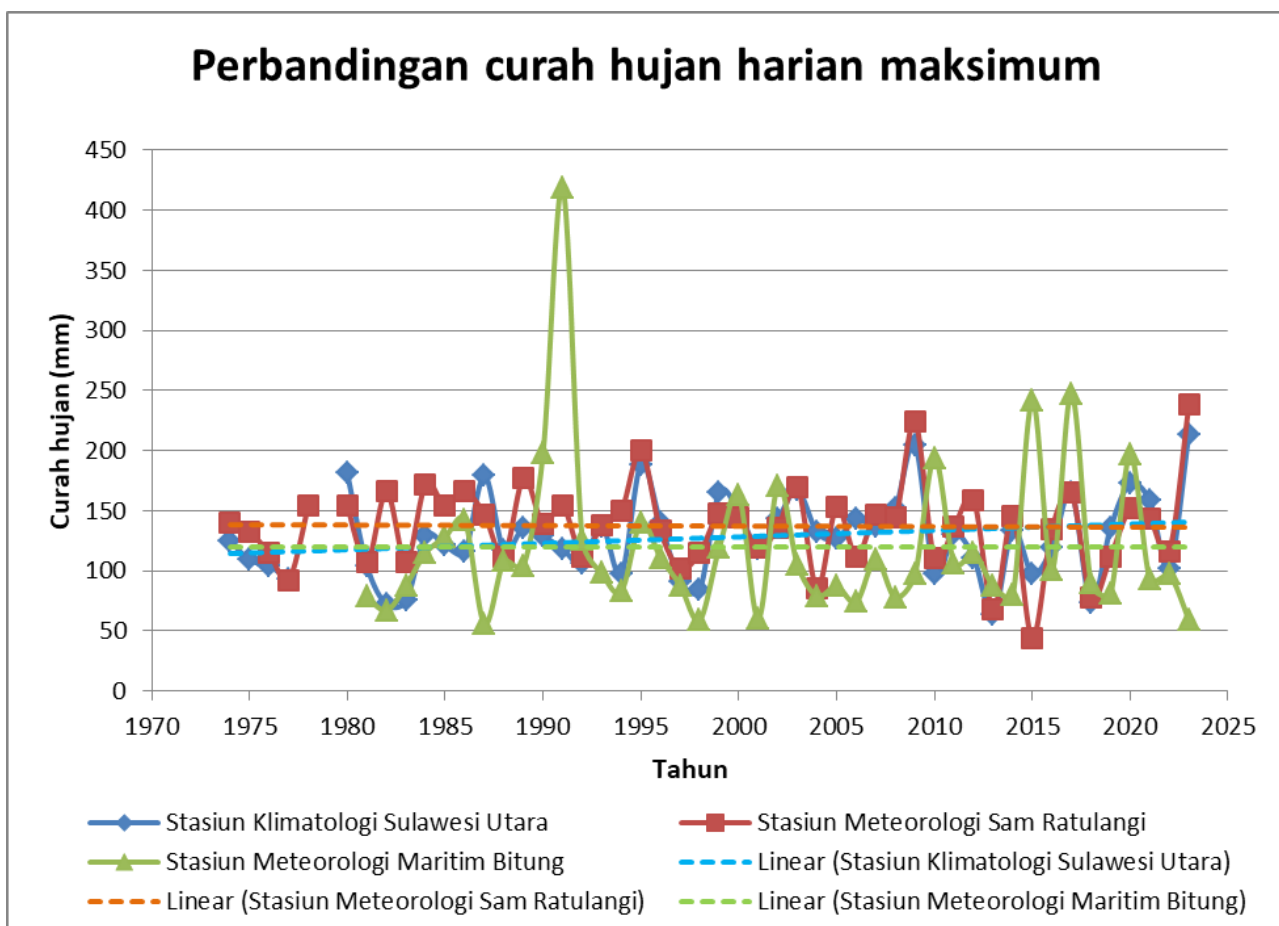
Tabel 1. Tren curah hujan rata-rata tahunan

Curah hujan rata-rata tahunan					
Metode Mann-Kendall Trend					
Stasiun	Kendall Tau (τ)	p-value	Tren	Signifikan/tidak	Tren linier
1	0.144	0.15000	Naik	Tidak signifikan	Naik
2	0.359	0.00032	Naik	Signifikan	Naik
3	0.177	0.10000	Naik	Tidak signifikan	Naik

Perbandingan curah hujan harian maksimum untuk 3 stasiun ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk curah hujan ekstrim (sekitar 200 mm atau lebih besar), stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara menunjukkan data yang hampir serupa yaitu terjadi pada tahun 1995, 2009 dan 2023, berulang dalam selang 14 tahun. Tidak ada curah hujan yang sangat ekstrim seperti pada stasiun Meteorologi Maritim Bitung pada tahun 1991 untuk 2 stasiun lainnya.

Curah hujan untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara menunjukkan tren linier naik dengan peningkatan sebesar 26.21 mm dalam selang 50 tahun, sedangkan untuk 2 stasiun lainnya mengalami sedikit penurunan yaitu -2.62 mm untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan -0.55 untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Sementara untuk rata-rata curah hujan harian maksimum secara keseluruhan, stasiun Meteorologi Sam Ratulangi lebih tinggi 14.78% dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara juga lebih tinggi 7.40% dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Sementara stasiun Meteorologi Sam Ratulangi masih lebih tinggi 6.87% dari stasiun Klimatologi Sulawesi Utara.

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis tren curah hujan harian maksimum dengan Metode *Mann-Kendall* dimana stasiun 2 menunjukkan tren naik yang signifikan sedangkan stasiun 1 dan 3 menunjukkan tren naik yang tidak signifikan. Sementara hasil analisis tren linier untuk stasiun 1 dan 3 menunjukkan tren turun.

**Gambar 3.** Perbandingan curah hujan harian maksimum

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa jumlah hari hujan dalam setahun untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi memiliki tren linier yang meningkat walaupun secara umum berfluktuasi dengan jumlah hari hujan tertinggi terjadi pada tahun 2022 (254 hari) dan yang terendah pada tahun 1982 (122 hari).

Untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara (Gambar 4), jumlah hari hujan dalam setahun berfluktuasi dengan tren linier yang meningkat selang 50 tahun terakhir dengan jumlah maksimum hari hujan adalah 256 hari (tahun 2017 dan 2022) dan yang terendah adalah 119 hari (tahun 2015).

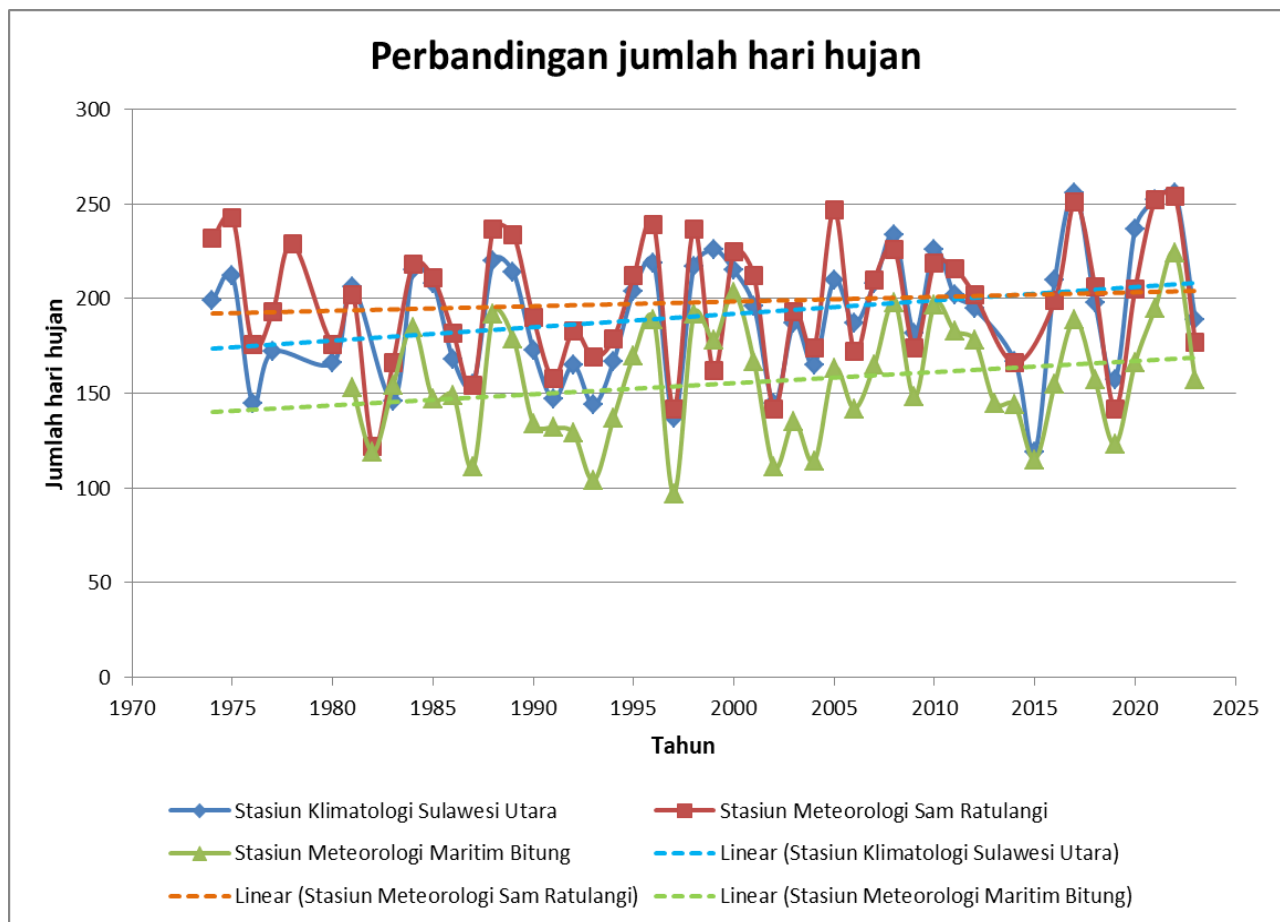
Tabel 2. Tren curah hujan harian maksimum

Curah hujan harian maksimum					
Stasiun	Metode <i>Mann-Kendall Trend</i>				Tren linier
	<i>Kendall Tau</i> (τ)	<i>p-value</i>	Tren	Siignifikan/ tidak	
1	0.150	0.13000	Naik	Tidak signifikan	Turun
2	0.291	0.00370	Naik	Signifikan	Naik
3	-0.051	0.64000	Naik	Tidak signifikan	Turun

Untuk Stasiun Meteorologi Maritim Bitung (Gambar 4), jumlah hari hujan dari tahun ke tahun bervariasi dengan tren linier yang meningkat. Jumlah hari hujan tertinggi terjadi pada tahun 2022 (224 hari) sedangkan yang terendah pada tahun 1997 (97 hari).

Analisis tren *Mann-Kendall* untuk jumlah hari hujan dalam setahun (Tabel 3) menunjukkan tren naik untuk ketiga stasiun walaupun semuanya tidak signifikan.

Dari Gambar 4 juga bisa dilihat perbandingan jumlah hari hujan dalam setahun untuk ketiga stasiun. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pola variasi dan banyaknya jumlah hari hujan dari tahun ke tahun, data dari stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih menunjukkan kesamaan dibandingkan stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Untuk jumlah hari hujan yang tertinggi berada pada selang 10 tahun terakhir untuk ketiga stasiun.



Gambar 4. Perbandingan jumlah hari hujan dalam setahun

Secara keseluruhan, rata-rata jumlah hari hujan dalam setahun menunjukkan bahwa untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi lebih tinggi 22.82% dibandingkan stasiun Meteorologi Maritim Bitung dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara juga lebih tinggi 18.49% dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Sementara itu stasiun Meteorologi Sam Ratulangi juga masih lebih tinggi 3.65% dari stasiun Klimatologi Sulawesi Utara.

Dari Gambar 4 juga bisa dilihat bahwa secara umum rata-rata jumlah hari hujan dalam setahun untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih tinggi dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Hal ini dipengaruhi juga oleh faktor topografis dimana dua stasiun pertama terletak pada elevasi sekitar 70-80 m dari permukaan laut dengan jarak ke terdekat ke pantai sekitar 8-9 km, sedangkan stasiun yang ketiga terletak pada elevasi sekitar 30-40 m dari permukaan laut dengan jarak terdekat ke pantai sekitar 2 km.

Tabel 3. Tren jumlah hari hujan dalam setahun

Curah hujan harian maksimum					
Metode Mann-Kendall Trend					
Stasiun	Kendall Tau (τ)	<i>p-value</i>	Tren	Signifikan/tidak	Tren linier
1	0.097	0.34000	Naik	Tidak signifikan	Naik
2	0.127	0.22000	Naik	Tidak signifikan	Naik
3	0.177	0.09600	Naik	Tidak signifikan	Naik

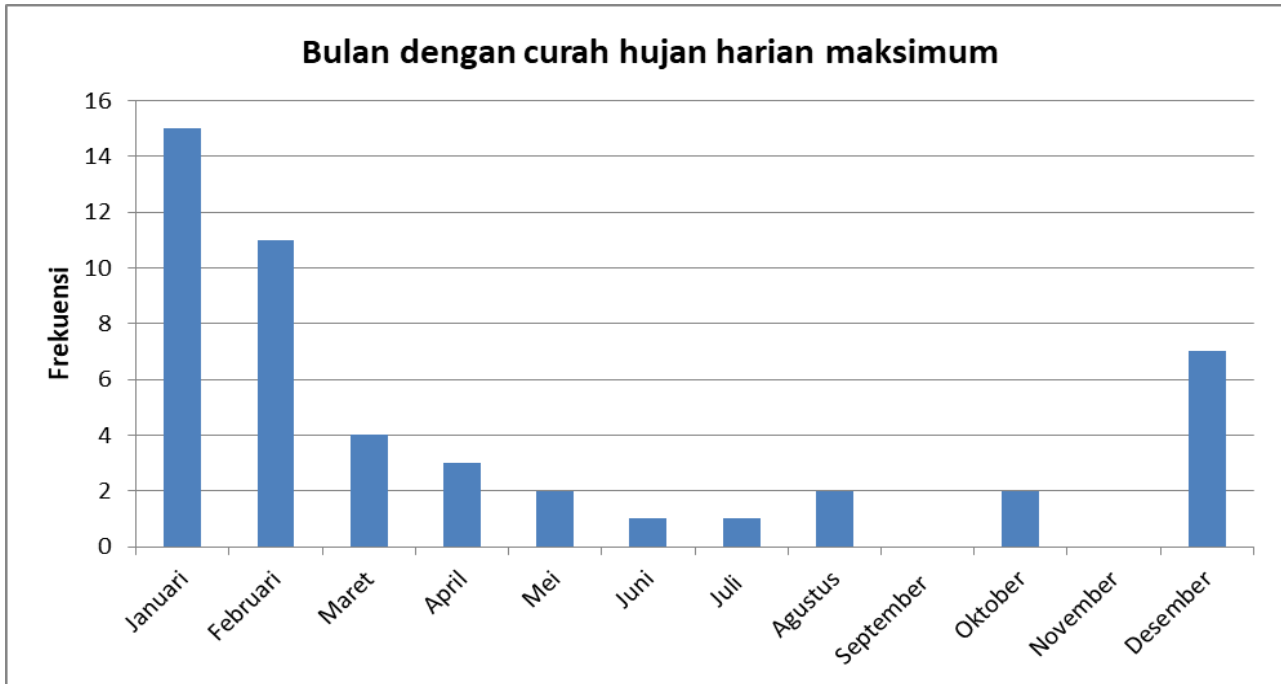
Gambar 5 menunjukkan frekuensi bulan dengan kejadian curah hujan harian maksimum untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi, dimana curah hujan harian maksimum kebanyakan terjadi di bulan Januari diikuti bulan Desember. Tidak pernah terjadi curah hujan harian maksimum pada bulan April, Juli, Agustus dan September. Curah hujan harian maksimum kebanyakan (sekitar 82%) terjadi di awal tahun dan di akhir tahun (sekitar bulan November sampai Maret).

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa pola distribusi frekuensi untuk bulan dengan curah hujan harian maksimum dalam 50 tahun terakhir cenderung membentuk pola “U” atau “V”, dimana bulan Januari memiliki frekuensi tertinggi di bagian paling kiri gambar dan demikian juga dengan bulan Desember di bagian paling kanan gambar. Bulan-bulan sesudah Januari sampai ke pertengahan tahun dan juga bulan-bulan sebelum Desember sampai ke pertengahan tahun frekuensinya cenderung menurun dan bulan-bulan di pertengahan tahun memiliki frekuensi yang terendah.

Frekuensi bulan dengan curah hujan harian maksimum dan fluktuasinya dari tahun ke tahun untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara di presentasikan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa curah hujan harian maksimum dalam 50 tahun terakhir lebih banyak terjadi pada bulan Januari dan sekitar 77% terjadi pada selang bulan Desember - Maret. Sementara di bulan September dan November tidak pernah terjadi curah hujan harian maksimum dalam setahun. Pola distribusi frekuensinya juga cenderung membentuk pola “U” atau “V”.



Gambar 5. Frekuensi bulan dengan curah hujan harian maksimum stasiun Meteorologi Sam Ratulangi



Gambar 6. Frekuensi bulan dengan curah hujan harian maksimum stasiun Klimatologi Sulawesi Utara



Gambar 7. Frekuensi bulan dengan curah hujan harian maksimum stasiun Meteorologi Maritim Bitung

Gambar 7 menunjukkan frekuensi bulan dengan curah hujan harian maksimum dan fluktuasinya dari tahun ke tahun dalam 42 tahun terakhir untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung dimana curah hujan harian maksimum kebanyakan terjadi pada bulan Februari.

Berbeda dengan dua stasiun sebelumnya, kejadian curah hujan harian maksimum selang bulan

November sampai Maret hanya sekitar 56%. Hanya bulan Oktober yang tidak pernah terjadi curah hujan harian maksimum. Berbeda dengan dua stasiun sebelumnya, distribusi frekuensi untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung lebih merata terdistribusi ke hampir semua bulan.

Gambar 8 menunjukkan curah hujan rata-rata di bulan Januari dengan tren linier yang meningkat untuk ketiga stasiun. Untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi, curah hujan rata-rata berfluktuasi antara 3.48-28.39 mm, stasiun Klimatologi Sulawesi Utara antara 5.48-28.87 mm dan stasiun Meteorologi Maritim Bitung antara 2.13-15.29 mm. Pola perubahan curah hujan rata-rata dari tahun ketahun untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih memiliki kesamaan serta memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun Meteorologi Maritim Bitung.

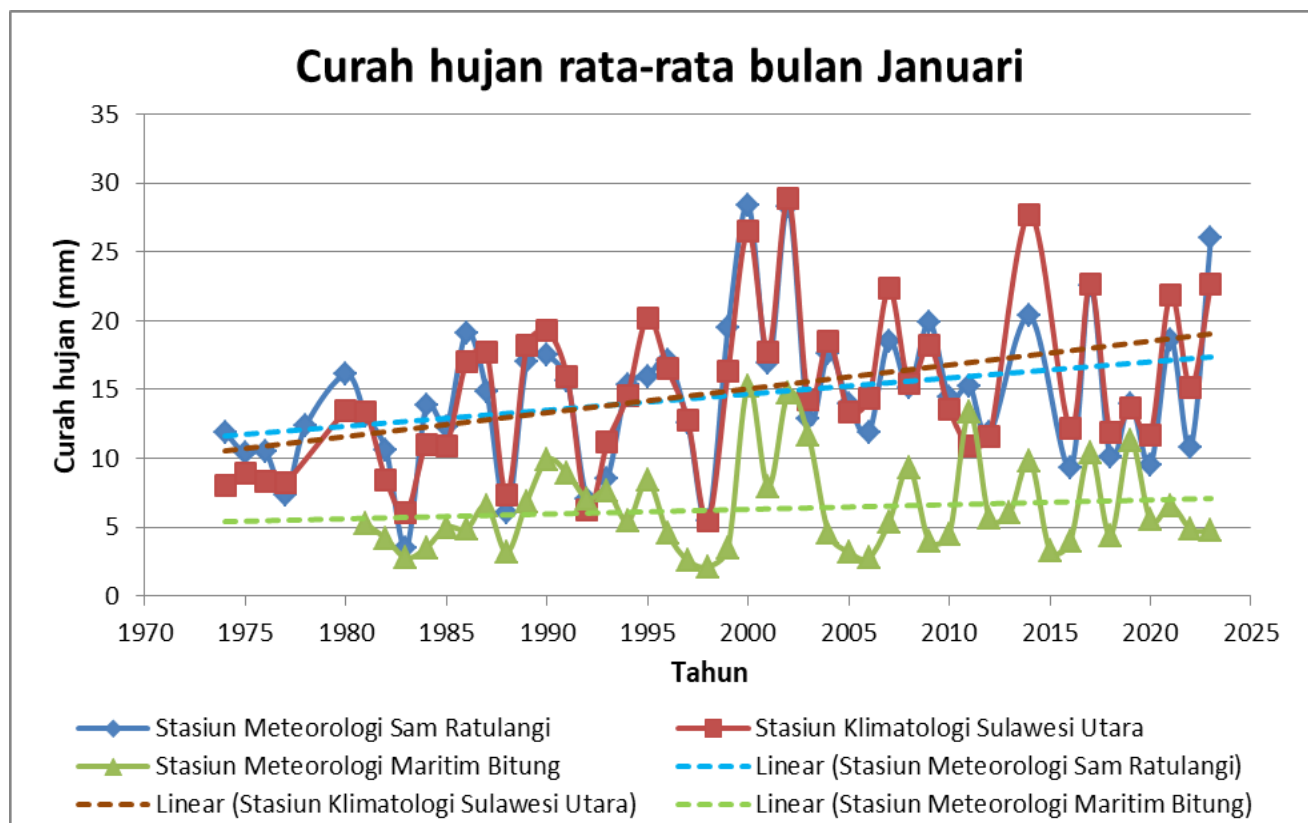
Tabel 4 sampai Tabel 6 mempresentasikan resume dari curah hujan rata-rata bulanan selang periode 50 tahun terakhir terkait nilai minimum, maksimum, tren linier dengan kemiringannya serta kenaikan ataupun penurunan menurut tren linier dalam 50 tahun terakhir untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara serta selang 42 tahun terakhir untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung. Untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi (Tabel 4), hampir semua bulan memiliki tren linier yang meningkat kecuali pada bulan Februari dan Mei dengan tren penurunan yang relatif kecil. Tingkat kenaikan tertinggi adalah pada bulan Januari dengan *slope* 0.1183 dengan peningkatan sebesar 5.80 mm dalam 50 tahun terakhir.

Untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara (Tabel 5), semua bulan memiliki tren yang meningkat dimana kenaikan tertinggi pada bulan Januari dengan *slope* sebesar 0.1736 dengan peningkatan sebesar 8.51 mm.

Untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung (Tabel 6) juga sebagian besar bulan memiliki tren yang meningkat kecuali pada bulan Maret dan Mei. Peningkatan tertinggi terjadi pada bulan November dengan *slope* 0.0975 dengan peningkatan 4.10 mm dalam 42 tahun terakhir.

Tabel 4. Resume curah hujan rata-rata bulanan stasiun Meteorologi Sam Ratulangi

Bulan	Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi		Tren linier		
	Min. (mm)	Maks. (mm)	Naik/turun	<i>Slope</i>	Peningkatan/ Penurunan 50 tahun
Januari	3.48	28.39	Naik	0.1183	5.80
Februari	0.79	32.68	Turun	0.0012	-0.06
Maret	1.16	224.9	Naik	0.0067	0.33
April	2.53	17.77	Naik	0.0457	2.24
Mei	2.65	17.39	Turun	0.0060	-0.29
Juni	0.57	20.30	Naik	0.0447	2.19
Juli	0.00	13.52	Naik	0.0508	2.49
Agustus	0.00	18.36	Naik	0.0182	0.89
September	0.00	51.73	Naik	0.0755	3.70
Oktober	0.58	19.97	Naik	0.0063	0.31
November	1.06	21.23	Naik	0.0402	1.97
Desember	3.52	26.07	Naik	0.0007	0.03



Gambar 8. Curah hujan rata-rata bulan Januari

Tabel 5. Resume curah hujan rata-rata bulanan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara

Bulan	Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara				
	Min. (mm)	Maks. (mm).	Tren linier Naik/ turun	<i>Slope</i>	Peningkatan/ Penurunan 50 tahun
Januari	5.48	28.87	Naik	0.1736	8.51
Februari	0.95	38.36	Naik	0.0292	1.43
Maret	0.97	28.04	Naik	0.1071	5.25
April	2.80	18.46	Naik	0.0431	2.11
Mei	2.65	20.96	Naik	0.0366	1.79
Juni	0.10	17.36	Naik	0.1005	4.92
Juli	0.00	15.64	Naik	0.0872	4.27
Agustus	0.00	10.56	Naik	0.0239	1.17
September	0.20	19.73	Naik	0.1184	5.80
Oktober	1.21	19.20	Naik	0.0296	1.45
November	2.30	22.40	Naik	0.0586	2.87
Desember	4.79	23.46	Naik	0.0917	4.49

Tabel 6. Resume curah hujan rata-rata bulanan stasiun Meteorologi Maritim Bitung

Bulan	Stasiun Meteorologi Maritim Bitung				
	Min. (mm)	Maks. (mm).	Tren linier Naik/ turun	<i>Slope</i>	Peningkatan/ Penurunan 50 tahun
Januari	2.13	15.29	Naik	0.0342	1.44
Februari	0.82	21.25	Naik	0.0318	1.34
Maret	0.92	18.68	Turun	0.0292	-1.23
April	1.13	17.20	Naik	0.0351	1.47
Mei	2.29	14.63	Turun	0.0093	-0.39
Juni	0.00	16.36	Naik	0.0574	2.41
Juli	0.01	12.26	Naik	0.0645	2.71
Agustus	0.00	13.98	Naik	0.0484	2.03
September	0.00	22.90	Naik	0.0637	2.68
Oktober	0.00	10.76	Naik	0.0539	2.26
November	1.17	12.57	Naik	0.0975	4.10
Desember	1.90	11.36	Naik	0.0278	1.17

4. KESIMPULAN

Curah hujan rata-rata tahunan menunjukkan tren linier yang meningkat dalam kurun waktu 50 tahun terakhir untuk ketiga stasiun yang diamati hal ini juga dikonfirmasi oleh hasil analisis tren dengan metode *Mann-Kendall* walaupun hanya pada stasiun Klimatologi Sulawesi Utara yang trennya signifikan. Pada semua tahun, curah hujan rata-rata tahunan pada stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara lebih besar dari stasiun Meteorologi Maritim Bitung.

Untuk curah hujan harian maksimum, stasiun Klimatologi Sulawesi Utara menunjukkan tren linier yang meningkat cukup besar sedangkan dua stasiun lainnya menunjukkan tren linier yang sedikit menurun. *Mann-Kendall trend* juga menunjukkan tren naik yang signifikan untuk stasiun Klimatologi Sulawesi Utara, sementara dua stasiun lain trennya tidak signifikan. Terdapat curah hujan harian maksimum yang sangat ekstrim pada tahun 1991 pada stasiun Meteorologi Maritim Bitung tetapi tidak terjadi pada dua stasiun lainnya.

Jumlah hari hujan dalam setahun untuk ketiga stasiun menunjukkan tren linier yang meningkat *Mann-Kendall trend* juga meningkat untuk ketiga

stasiun walaupun trennya tidak signifikan. Jumlah hari hujan terbanyak dalam satu tahun untuk ketiga stasiun pengamatan terjadi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir.

Curah hujan harian maksimum lebih sering terjadi di awal tahun (Januari-Maret) dan di akhir tahun (Oktober-Desember). Distribusi frekuensi bulan terjadinya curah hujan harian maksimum untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi dan stasiun Klimatologi Sulawesi Utara cenderung membentuk pola “U” atau “V”, sedangkan untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung distribusi frekuensinya lebih berfluktuasi dan cenderung tersebar lebih merata di banyak bulan.

Curah hujan rata-rata bulanan hampir semuanya memiliki tren yang meningkat untuk semua bulan dan stasiun kecuali pada bulan Februari dan Mei untuk stasiun Meteorologi Sam Ratulangi serta bulan Maret dan Mei untuk stasiun Meteorologi Maritim Bitung.

Pengaruh perubahan iklim terhadap perubahan pola curah hujan perlu mendapat perhatian serius, dimana adanya tren peningkatan pada kebanyakan variabel-variabel curah hujan yang dianalisis dapat menjadi masukan yang penting yang memberikan kontribusi dalam merumuskan kebijakan dalam mendukung perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta desain teknis infrastruktur yang adaptif terhadap perubahan iklim di kawasan perkotaan seperti Manado.

Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mengambil data dari lebih banyak stasiun yang tersedia serta membandingkannya dengan hasil analisis untuk kawasan lain baik dari kota-kota atau provinsi-provinsi lainnya sehingga didapat gambaran yang lebih komprehensif terkait tren perubahan pola curah hujan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Allan, R., & Soden, B. (2008). Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes. *Science (New York, N.Y.)*, 321, 1481–1484. <https://doi.org/10.1126/science.1160787>
- Badan Meteorology, Klimatologi, dan G. (BMKG). (2024). *Data Iklim (Curah hujan)*. Data Iklim (Curah Hujan). <https://dataonline.bmkg.go.id/home>
- Balahanti, R., Mononimbar, W., & Gosal, P. H. (2023). Analisis Tingkat Kerentanan Banjir Di Kecamatan Singkil Kota Manado. *Jurnal Spasial*, 11, 69–79. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/spasial/article/download/51447/44169/121650>
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Inc.
- Fadholi, A. (2013). Uji Perubahan Rata-Rata Suhu Udara dan Curah Hujan di Kota Pangkalpinang. *Jurnal Matematika, Sains Dan Teknologi*, 14(1), 11–25.
- Ginting, J. (2021). Perubahan Pola Dan Kedalaman Curah Hujan Kejadian La Nina Tahun 1998-2018 Di Indonesia Menggunakan Data Satelit Persiann. *Jurnal Rekayasa*, 11(2), 145–152. <https://doi.org/10.37037/jrftsp.v11i2.90>
- Ho, M., Wasko, C., O'Shea, D., Nathan, R., Vogel, E., & Sharma, A. (2023). Changes in flood-associated rainfall losses under climate change. *Journal of Hydrology*, 625,

129950.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129950>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (J. B. R. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy & and B. Z. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Li, S., Chen, Y., Wei, W., Fang, G., & Duan, W. (2024). The increase in extreme precipitation and its proportion over global land. *Journal of Hydrology*, 628, 130456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130456>
- Pattipeilohy, W. J., Beis, D. S., & Hadi, A. S. (2022). Kajian Identifikasi Penurunan Tren Curah Hujan, CDD dan CWD di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Buletin GAW Bariri*, 3(1), 8–16. <https://doi.org/10.31172/bgb.v3i1.62>
- Pujiastuti, I., & Nurjani, E. (2018). Rainfall pattern variability as climate change impact in the Wallacea Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 148(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/148/1/012023>
- Raghunath, H. M. (2006). *Hydrology (Principles, Analysis, Design)* (2nd ed.). New Age International Publishers.
- Susilokarti, D., Arif, S. S., Susanto, S., & Sutiarto, L. (2015). Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan di Wilayah Selatan Jatiluhur Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Agritech*, 35(01), 98. <https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/13038/15155>
- Syohiroh, Kumalawati, R., Nurlina, Danarto, W. P., & Hadi, I. K. (2024). Analisis Penginderaan Jauh Terhadap Bencana Banjir Di Kota Manado. *Scientica*, 2(8), 216–220.
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1/2), 123–138. <http://www.jstor.org/stable/24872346>