

Hubungan Kondisi Curah Hujan dan Kualitas Udara Ambien terhadap Kejadian Penyakit ISPA di Sorowako Provinsi Sulawesi Selatan

Correlation of Rainfall Conditions and Ambient Air Quality with The Incidence of Acute Respiratory Infections (ARI) In Sorowako, South Sulawesi

Siti Halimah Tusaddiah^{1*)}, Radjali Amin², Rukmini², Chafid Fandeli², Nasirudin²

¹Environmental Department, PT. Vale Indonesia Tbk., Sorowako, South Sulawesi, Indonesia

²Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Pascasarjana, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

^{*)}Corresponding author: imhakhay@gmail.com

ABSTRAK

Article history:

Received: 20 March 2025

Revised: 16 May 2025

Accepted: 30 July 2025

Kata kunci:

Curah hujan

Kualitas udara

ISPA

Pencemar udara

ISPA sering menjadi penyakit dengan jumlah penderita tertinggi. Pada tahun 2022, Puskesmas Nuha mencatat 3759 kasus ISPA, menempatkannya sebagai penyakit terbanyak. Kualitas udara dan kondisi curah hujan, dapat mempengaruhi kesehatan dan jumlah kasus ISPA. Curah hujan membantu menurunkan konsentrasi polutan udara melalui deposisi basah. Penelitian ini mengkaji korelasi antara curah hujan, kualitas udara, dan tingginya penderita ISPA di Sorowako. Penelitian ini menggunakan metode potong lintang, yaitu suatu penelitian yang bertujuan untuk mempelajari dinamika hubungan antara faktor risiko dengan efek. Kualitas udara dinilai berdasarkan konsentrasi SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} dan tingkat curah hujan yang kemudian dihubungkan dengan penyakit ISPA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan di Sorowako pada tahun 2022 hingga 2023 adalah sebesar 247,30 mm per bulan. Sedangkan rata-rata konsentrasi PM_{2,5} adalah 19,48 µg/m³, PM₁₀ adalah 22,18 µg/m³ dan SO₂ sebesar 8,99 µg/m³. Rata-rata penderita penyakit ISPA per bulan di Sorowako pada rentang tersebut adalah sebanyak 292 orang. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara beberapa parameter kualitas udara dengan kejadian penyakit ISPA. Pengaruh curah hujan juga tidak secara signifikan menjelaskan variabilitas dalam kejadian ISPA. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat faktor lain yang dapat berkontribusi pada kejadian ISPA.

ABSTRACT

Keywords:

Rainfall

Air quality

ARI

Air pollutants

Acute Respiratory Infections (ARI) often had the highest number of cases in a region. In 2022, the Nuha Health Center recorded 3,759 ARI cases, making it the most prevalent disease. Air quality and meteorological conditions, such as rainfall, could impact health and ARI incidence. Rainfall helped reduce air pollutant concentrations through wet deposition, affected air quality in Sorowako. This study examined the correlation between rainfall, air quality, and the high incidence of ARI in Sorowako. The research employed a cross-sectional method, which aimed to explore the dynamics between risk factors and effects. Air quality was assessed based on SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} concentrations, and rainfall levels, which were then correlated to ARI cases. The results indicated that the average rainfall in Sorowako from 2022 to 2023 was 247.30 mm per month. The average concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, and SO₂ were 19.48 µg/m³, 22.18 µg/m³, and 8.99 µg/m³, respectively. The average monthly ARI cases were 292. The analysis showed no significant relationship between air quality parameters (SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) and ARI incidence. Rainfall also did not significantly explain the variability in ARI cases, indicating other factors may contribute to ARI occurrence.

PENDAHULUAN

Komponen yang ada di udara memiliki fungsi yang berbeda. Apabila susunan udara mengalami perubahan dari kondisi normal, hal ini akan mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan, sehingga udara tersebut dianggap telah tercemar (Mulyono, 2008). Pencemaran udara adalah masuknya substansi atau kombinasi berbagai substansi ke dalam udara sehingga menciptakan gangguan, kerugian, atau memiliki potensi merugikan terhadap kesehatan dan kehidupan manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, atau benda, serta menciptakan ketidaknyamanan (Nurmayanti dan Purwoko, 2017). Zat-zat pencemar atau polutan yang terdapat di udara bebas dapat berasal dari alam maupun dari aktivitas manusia.

Sorowako merupakan sebuah daerah yang terletak di ujung utara Provinsi Sulawesi Selatan, Kabupaten Luwu Timur, Kecamatan Nuha. Berdasarkan data Disdukcapil Kabupaten Luwu Timur tahun 2022, kabupaten ini memiliki luas wilayah 6.944,98 km² dengan jumlah penduduk sebanyak 306.072 jiwa. Mengingat jumlah penduduk yang banyak dan akan terus bertambah, kebutuhan pemantauan kualitas udara akan menjadi semakin penting untuk memastikan bahwa udara tetap sehat dan aman bagi masyarakat.

Salah satu dampak signifikan yang timbul akibat aktivitas manusia adalah terbentuknya gas-gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO₂). Gas ini terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur (Sudrajat, 2012). Dampak selanjutnya adalah potensi terbentuknya partikulat di udara dalam bentuk PM₁₀ dan PM_{2.5} yang dapat mempengaruhi tingkat kesehatan udara di lingkungan sekitar.

Berdasarkan data dari Puskesmas Kecamatan Nuha Sorowako, tercatat bahwa penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) merupakan kasus penyakit terbanyak pada tahun 2022. ISPA merupakan salah satu dampak dari adanya

pencemaran udara (Situmorang, 2017). ISPA menyerang bagian pernapasan atas, di antaranya hidung, tenggorokan, hingga paru-paru. Penyakit ini termasuk dalam golongan *air borne disease*, yaitu penyakit yang ditularkan melalui udara (Lalu et al., 2020). ISPA dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk pencemaran udara. Udara merupakan komponen yang secara tidak langsung membawa partikel debu dan tetesan cairan yang mengandung mikroorganisme berbahaya yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia (Sudarmo, 2015).

Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kelembaban udara, menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, genangan air yang muncul akibat curah hujan berpotensi menjadi tempat berkembang biaknya mikroorganisme patogen. Mikroorganisme ini kemudian dapat tersebar melalui udara saat air menguap atau diserap oleh tanah. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko penyakit yang ditularkan melalui udara, terutama dalam lingkungan yang tidak optimal (Fadilah & Priyono, 2020). Oleh karena itu, melihat tingginya angka kejadian penyakit ISPA di Sorowako, maka dirasa perlu untuk dilakukan kajian lebih lanjut mengenai hubungan kondisi curah hujan dan kualitas udara ambien terhadap kejadian penyakit ISPA di Sorowako.

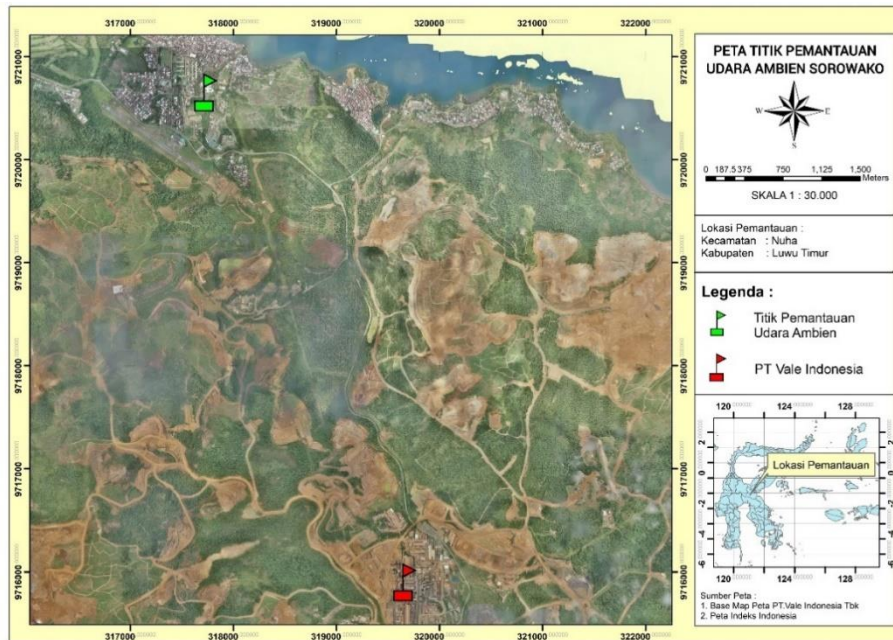
BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, tepatnya di Sorowako. Gambar 1 menunjukkan Citra Satelit Daerah Sorowako. Titik Pemantauan Udara Ambien Sorowako merupakan wilayah konsesi PT. Vale Indonesia Tbk., yang menjadi pusat utama operasi penambangan dan pengelolaan nikel. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data kondisi curah hujan, data parameter pencemar udara yaitu SO₂, PM₁₀ dan PM_{2,5}, dan data kejadian penyakit ISPA dari tahun 2022 dan 2023, dengan waktu penelitian berlangsung mulai pertengahan tahun 2023 hingga tahun 2024.

Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang terdiri dari data curah hujan yang berasal dari Laporan Klimatologi Bulanan PT. Vale Indonesia Tbk., kemudian data konsentrasi udara ambien untuk parameter SO₂, PM₁₀ dan PM_{2,5} yang berasal dari Laporan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan (RKL/RPL) PT. Vale Indonesia Tbk., dan data kejadian penyakit ISPA dari laporan kegiatan program ISPA UPTD Puskesmas Nuha. Seluruh data bersifat kuantitatif yang merupakan data dari bulan Januari hingga Desember tahun 2022 dan 2023. Data yang terkumpul dikelompokkan dan dirata-ratakan menjadi data per bulan dan diolah dengan menggunakan perangkat pengolah data SPSS.



Gambar 1. Citra Satelit Daerah Sorowako: Titik Pemantauan Udara Ambien

Uji Statistik

Prosedur atau tahap analisis data penelitian terbagi menjadi tiga tahap yaitu analisis deskriptif, analisis korelasi, dan analisis regresi. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik utama dari data tanpa membuat kesimpulan yang lebih luas. Data curah hujan, kualitas udara, dan kejadian ISPA akan dianalisis secara deskriptif untuk memahami tren dan pola data selama periode penelitian. Uji normalitas digunakan untuk menentukan apakah data sampel mengikuti distribusi normal. Uji normalitas dilakukan dengan metode Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Nilai p yang dihasilkan dari uji ini menunjukkan sejauh mana data menyimpang dari distribusi normal. Nilai p lebih besar dari 0,05 mengindikasikan bahwa data tidak secara signifikan berbeda dari distribusi normal.

Analisis korelasi untuk mengukur dan menentukan kekuatan serta arah hubungan antara dua atau lebih variabel. Uji korelasi Pearson atau Spearman akan digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara kondisi curah hujan, konsentrasi polutan udara (SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) dengan kejadian ISPA. Untuk data yang normal akan dianalisis dengan metode Pearson Product Moment (PPM), sedangkan untuk data yang tidak normal akan dianalisis dengan metode uji statistik non parametrik Spearman Rank (ρ). Korelasi PPM dilambangkan dengan ketentuan bahwa nilai r tidak lebih dari harga ($-1 \leq r \leq 1$). Apabila nilai $r = -1$ artinya korelasinya negatif sempurna, $r = 0$ artinya tidak ada korelasi, dan $r = 1$ berarti korelasinya sangat kuat.

Analisis regresi untuk memahami hubungan antara satu variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen. Regresi linier berganda digunakan untuk memodelkan pengaruh curah hujan dan kualitas udara secara simultan terhadap kejadian ISPA. Model ini akan membantu mengidentifikasi seberapa besar kontribusi masing-masing variabel independen terhadap peningkatan atau penurunan kejadian ISPA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data dari stasiun pemantauan curah hujan PT. Vale Indonesia Tbk., kondisi curah hujan di Sorowako pada tahun 2022 hingga 2023 digambarkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Curah Hujan Sorowako menurut Bulan Periode 2022-2023

Bulan	Curah Hujan Tahun 2022 (mm)	Curah Hujan Tahun 2023 (mm)
Januari	194,6	97,4
Februari	450,8	117,5
Maret	330,2	291,4
April	186	400
Mei	304,6	732,1
Juni	219,9	222,2
Juli	247	123,8
Agustus	284,6	121
September	43,6	113,8
Oktober	117	52,5
November	188,6	409,4
Desember	167,2	520

Tabel 1 menunjukkan perbedaan variasi curah hujan antara periode 2022 dengan 2023. Pada tahun 2022, secara umum curah hujan relatif konsisten dengan beberapa bulan menunjukkan tingkat curah hujan sedang hingga tinggi, terutama di awal tahun. Namun curah hujan tahun 2023 menunjukkan variasi yang lebih ekstrim. Pada awal tahun, curah hujan di tahun 2023 lebih rendah dibandingkan dengan tahun 2022 untuk bulan Januari hingga Maret, tetapi mulai meningkat tajam pada bulan April dan Mei. Pada pertengahan tahun, tepatnya bulan Mei 2023, terjadi peningkatan curah hujan yang sangat signifikan yaitu 732,1 mm, jauh lebih tinggi daripada bulan Mei 2022 yang sebesar 304,6 mm. Hal ini menunjukkan adanya anomali cuaca atau perubahan pola hujan (BMKG, 2023). Menariknya, pada bulan September hingga Desember 2023, curah hujan cenderung lebih tinggi daripada tahun 2022, dengan Desember 2023 mencapai 520 mm, lebih dari tiga kali lipat curah hujan di Desember 2022 yang sebesar 167,2 mm.

Hasil pengukuran parameter pencemar udara ambien Sorowako yang dilakukan oleh PT. Vale Indonesia Tbk. pada tahun 2022 dan 2023 untuk parameter SO₂, PM₁₀ dan PM_{2,5}, menunjukkan nilai rata-rata bulanan berada di bawah baku mutu. Standar baku mutu yang digunakan adalah berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021, lampiran VII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bagian Baku Mutu Udara Ambien.

Tabel 2. Data Pengukuran Parameter Pencemar menurut Bulan Periode 2022-2023

Bulan	Tahun 2022			Tahun 2023		
	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)
Januari	13,82	26,94	26,06	9,71	25,38	21,50

Bulan	Tahun 2022			Tahun 2023		
	SO ₂ (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	PM2,5 (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	PM2,5 (µg/m ³)
Februari	12,10	15,90	15,69	5,57	17,70	15,06
Maret	10,90	15,14	15,03	8,05	19,01	17,09
April	5,64	15,80	15,56	10,27	23,06	20,66
Mei	8,28	16,55	16,36	8,76	22,85	18,32
Juni	9,40	20,90	20,06	3,38	23,80	19,45
Juli	12,67	29,20	28,27	4,82	25,13	22,21
Agustus	14,74	19,12	16,14	2,00	11,20	4,10
September	13,53	32,52	28,29	2,30	20,25	18,11
Oktober	16,17	27,25	23,42	5,34	22,75	23,16
November	11,92	32,75	29,17	6,41	21,90	9,50
Desember	12,80	25,18	21,79	7,23	22,14	22,40
Baku Mutu	150	75	50	150	75	50

Tabel 2 menunjukkan konsentrasi SO₂ tahun 2022 berfluktuasi antara 5,64 µg/m³ pada bulan April hingga 16,17 µg/m³ pada bulan Oktober. Semua nilai berada jauh di bawah baku mutu yang ditetapkan yaitu 150 µg/m³, menunjukkan bahwa tingkat SO₂ relatif aman sepanjang tahun. Sedangkan pada tahun 2023, konsentrasi SO₂ menurun dibandingkan tahun 2022, dengan nilai terendah terjadi pada bulan Agustus sebesar 2,00 µg/m³ dan tertinggi pada bulan April sebesar 10,27 µg/m³. Penurunan ini dapat disebabkan oleh perubahan aktivitas mobilisasi, industri, atau kondisi cuaca yang mempengaruhi dispersinya.

Tahun 2022, nilai PM10 bervariasi dari 15,14 µg/m³ pada bulan Maret hingga 32,75 µg/m³ pada bulan November. Semua nilai berada di bawah baku mutu 75 µg/m³, menunjukkan kondisi udara yang relatif bersih untuk partikulat kasar. Sedangkan pada tahun 2023, konsentrasi PM10 cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan tahun sebelumnya, dengan nilai tertinggi pada bulan Januari sebesar 25,38 µg/m³ dan terendah pada bulan Agustus sebesar 11,20 µg/m³. Seperti SO₂, penurunan ini dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan kontrol emisi yang lebih baik.

Konsentrasi PM2,5 pada tahun 2022, berada di kisaran 15,03 µg/m³ pada bulan Maret hingga 29,17 µg/m³ pada bulan November. Semua nilai berada di bawah baku mutu 50 µg/m³, namun konsentrasi PM2,5 lebih mengkhawatirkan karena ukurannya yang lebih kecil dan lebih mudah masuk ke sistem pernapasan manusia. Sedangkan pada tahun 2023, konsentrasi PM2,5 cenderung lebih rendah dibandingkan tahun 2022, dengan nilai tertinggi pada bulan Oktober sebesar 23,16 µg/m³ dan terendah pada bulan Agustus sebesar 4,10 µg/m³. Penurunan signifikan ini dapat mengindikasikan adanya pengurangan sumber emisi atau peningkatan kualitas udara.

Secara keseluruhan, terjadi penurunan konsentrasi untuk ketiga parameter pencemar udara ini pada tahun 2023 dibandingkan dengan tahun 2022. Meskipun konsentrasi polutan berada di bawah baku mutu, pemantauan rutin tetap diperlukan, terutama mengingat dampak kesehatan jangka panjang dari paparan SO₂ dan partikel halus seperti PM2,5 yang bisa berkontribusi terhadap penyakit pernapasan.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) berkomitmen untuk memberikan informasi mutu udara yang tepat dan akurat kepada masyarakat dalam

rangka upaya pengendalian pencemaran udara. Berikut hasil perhitungan ISPU yang telah diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara.

Tabel 3. Hasil Perhitungan ISPU di Sorowako Periode 2022-2023

Bulan	Tahun 2022		Tahun 2023	
	ISPU	Kategori	ISPU	Kategori
Januari	63	Sedang	58	Sedang
Februari	50	Baik	49	Baik
Maret	48	Baik	52	Sedang
April	50	Baik	56	Sedang
Mei	51	Sedang	54	Sedang
Juni	56	Sedang	55	Sedang
Juli	66	Sedang	58	Sedang
Agustus	51	Sedang	13	Baik
September	66	Sedang	53	Sedang
Oktober	60	Sedang	60	Sedang
November	67	Sedang	31	Baik
Desember	58	Sedang	59	Sedang

Tabel 3 menunjukkan, pada tahun 2022 kualitas udara dalam kategori "Sedang" mendominasi sepanjang tahun, dengan ISPU berkisar antara 48 hingga 67. Bulan dengan ISPU tertinggi adalah November sebesar 67 dan bulan dengan ISPU terendah adalah Maret sebesar 48, yang termasuk dalam kategori "Baik". Tahun 2023 sama seperti tahun 2022, kategori "Sedang" juga mendominasi, namun terdapat beberapa bulan dengan kategori "Baik", seperti Februari, Agustus, dan November. ISPU tertinggi terjadi pada bulan Juli sebesar 66, sedangkan ISPU terendah tercatat di bulan Agustus sebesar 13, yang menunjukkan kualitas udara yang sangat baik pada bulan tersebut.

Bulan Maret dan April 2022, terdapat peningkatan ISPU yang menyebabkan peralihan kategori dari "Baik" menjadi "Sedang". Ini menunjukkan adanya penurunan kualitas udara. Sebaliknya, di bulan Agustus dan November 2023, ISPU menunjukkan perbaikan yang cukup signifikan dibandingkan tahun sebelumnya. Terutama di bulan Agustus, dimana ISPU turun dari 51 (Sedang) pada 2022 menjadi 13 (Baik) pada 2023. Ini mungkin disebabkan oleh faktor cuaca yang lebih bersih atau intervensi lingkungan yang efektif.

Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) merupakan penyakit yang sering terjadi pada anak, yaitu berupa penyakit batuk pilek pada balita. Namun pada rentang usia lebih tinggi juga menunjukkan jumlah penderita yang cukup tinggi.

Tabel 4. Cakupan Pasien ISPA di Puskesmas Nuha Sepanjang Periode 2022-2023

Bulan	Tahun 2022			Tahun 2023		
	Usia 0-5 Tahun	Usia > 5 Tahun	Jumlah Penderita	Usia 0-5 Tahun	Usia > 5 Tahun	Jumlah Penderita
Januari	69	168	237	62	133	195
Februari	78	190	268	85	160	245
Maret	76	223	299	62	163	225
April	62	89	151	58	141	199

Bulan	Tahun 2022			Tahun 2023		
	Usia 0-5 Tahun	Usia > 5 Tahun	Jumlah Penderita	Usia 0-5 Tahun	Usia > 5 Tahun	Jumlah Penderita
Mei	82	129	211	55	96	151
Juni	110	212	322	76	158	234
Juli	76	196	272	129	228	357
Agustus	154	397	551	156	275	431
September	90	246	336	121	186	307
Oktober	117	336	453	103	214	317
November	128	265	393	78	203	281
Desember	119	146	265	110	192	302

Secara umum dapat terlihat pada Tabel 4, jumlah penderita ISPA menunjukkan variasi sepanjang tahun baik pada tahun 2022 maupun 2023. Pada tahun 2022, puncak jumlah penderita terjadi pada bulan Agustus dengan 551 kasus, juga pada tahun 2023, puncaknya terjadi pada bulan Agustus dengan 431 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa pada kedua tahun tersebut, terdapat peningkatan signifikan dalam jumlah kasus pada bulan yang sama.

Data menunjukkan adanya pola musiman dalam kejadian ISPA, dengan jumlah penderita cenderung meningkat selama bulan-bulan tertentu, seperti bulan Agustus. Pada tahun 2022, terdapat peningkatan tajam di bulan tersebut, yang terkait dengan perubahan cuaca dan kondisi lingkungan yang mempengaruhi kesehatan pernapasan. Sebaliknya, bulan-bulan seperti April dan Mei menunjukkan penurunan jumlah kasus yang signifikan.

Analisis Deskriptif

Penelitian ini menyajikan analisis deskriptif untuk konsentrasi polutan udara seperti SO_2 , PM_{10} , dan $PM_{2,5}$ beserta Indeks Kualitas Udara, jumlah kasus Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), dan kondisi curah hujan selama periode pengamatan.

Tabel 5. Data Statistik Deskriptif

Parameter	N	Minimum	Maksimum	Mean	Std. Dev
SO_2	24	2,00	16,17	8,99	4,01
PM_{10}	24	11,20	32,75	22,18	5,42
$PM_{2,5}$	24	4,10	29,17	19,48	5,84
ISPU	24	13,23	67,13	53,48	11,43
ISPA	24	151	551	291,79	95,52
Curah Hujan	24	43,6	732,1	247,30	163,71

Pada Tabel 5, diperoleh data SO_2 rata-rata sebesar $8,99 \mu g/m^3$, menunjukkan konsentrasi rata-rata SO_2 di udara selama periode pengamatan, standar deviasi sebesar $4,01 \mu g/m^3$, mengindikasikan seberapa besar variasi atau penyebaran konsentrasi SO_2 dari rata-rata. Rentang nilai: $2,00 - 16,17 \mu g/m^3$, menggambarkan kisaran konsentrasi SO_2 yang terukur dari yang terendah hingga tertinggi.

PM_{10} diperoleh rata-rata sebesar $22,18 \mu g/m^3$, standar deviasi $5,42 \mu g/m^3$, rentang nilai: $11,20 - 32,75 \mu g/m^3$. $PM_{2,5}$ diperoleh nilai rata-rata sebesar $19,48 \mu g/m^3$, standar deviasi $5,84 \mu g/m^3$, rentang nilai: $4,10 - 29,17 \mu g/m^3$. Indeks Kualitas Udara

diperoleh rata-rata sebesar 53,48, standar deviasi 11,43, rentang nilai: 13,23 – 67,13. Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) diperoleh rata-rata sebesar 291,79 kasus, standar deviasi 95,52 kasus, dan rentang kasus: 151 – 551 kasus. Curah hujan diperoleh rata-rata sebesar 247,30 mm, standar deviasi 163,71 mm, rentang nilai: 43,6 – 732,1 mm.

Uji Normalitas

Berdasarkan hasil uji normalitas selanjutnya dapat dianalisis distribusi normal dari masing-masing parameter menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk.

Tabel 6. Data Hasil Uji Normalitas

Parameter	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
SO ₂	0,100	24	0,200	0,973	24	0,735
PM10	0,069	24	0,200	0,983	24	0,943
PM2,5	0,140	24	0,200	0,956	24	0,369
ISPU	0,248	24	0,001	0,782	24	0,000
ISPA	0,126	24	0,200	0,944	24	0,205
Curah Hujan	0,144	24	0,200	0,899	24	0,020

Berdasarkan Tabel 6, pada data SO₂, nilai p (Sig.) untuk uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa distribusi data SO₂ tidak signifikan berbeda dari distribusi normal. Dengan kata lain, data SO₂ mengikuti distribusi normal.

Nilai p PM10 untuk kedua uji normalitas (Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk) lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data PM10 tidak signifikan berbeda dari distribusi normal. Data PM10 mengikuti distribusi normal. PM2,5 memiliki nilai p untuk uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data PM2,5 tidak signifikan berbeda dari distribusi normal. Data PM2,5 mengikuti distribusi normal.

Indeks Kualitas Udara memiliki nilai p untuk kedua uji normalitas (Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk) kurang dari 0,05, menunjukkan bahwa data Indeks Kualitas Udara tidak mengikuti distribusi normal. Data ini tidak terdistribusi normal.

Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) memiliki nilai p untuk uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data ISPA tidak signifikan berbeda dari distribusi normal. Data ISPA mengikuti distribusi normal.

Curah Hujan memiliki nilai p untuk uji Kolmogorov-Smirnov lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data Curah Hujan tidak signifikan berbeda dari distribusi normal menurut uji ini. Namun, nilai p untuk uji Shapiro-Wilk kurang dari 0,05, menunjukkan bahwa data Curah Hujan tidak mengikuti distribusi normal menurut uji ini. Hasil ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian dengan distribusi normal pada data Curah Hujan.

Analisis Korelasi

Dalam analisis korelasi Pearson, dilakukan pengujian terhadap hubungan antar beberapa parameter lingkungan seperti SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, Indeks Kualitas Udara, dan curah hujan dengan kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA). Hasil uji ini memberikan gambaran mengenai kekuatan dan arah hubungan antara parameter-parameter tersebut, serta tingkat signifikansi statistik yang menunjukkan sejauh mana hubungan tersebut dapat dianggap bermakna.

Tabel 7. Data Statistik Uji Korelasi

		SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	ISPU	ISPA	Curah Hujan
SO ₂	Pearson	1	0,474	0,518	0,510	0,244	0,079
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)		0,019	0,010	0,011	0,250	0,715
	N	24	24	24	24	24	24
PM ₁₀	Pearson	0,474	1	0,879	0,745	0,083	-0,209
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0,019		0,000	0,000	0,701	0,328
	N	24	24	24	24	24	24
PM _{2,5}	Pearson	0,518	0,879	1	0,947	-0,007	-0,209
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0,010	0,000		0,000	0,972	0,327
	N	24	24	24	24	24	24
ISPU	Pearson	0,510	0,745	0,947	1	-0,123	-0,112
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0,011	0,000	0,000		0,567	0,604
	N	24	24	24	24	24	24
ISPA	Pearson	0,244	0,083	-0,007	-0,123	1	-0,326
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0,250	0,701	0,972	0,567		0,120
	N	24	24	24	24	24	24
Curah Hujan	Pearson	0,079	-0,209	-0,209	-0,112	-0,326	1
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0,715	0,328	0,327	0,604	0,120	
	N	24	24	24	24	24	24

Korelasi antara SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} dengan Indeks Kualitas Udara

Hasil analisis uji korelasi pada Tabel 7 menunjukkan bahwa PM_{2,5} memiliki korelasi yang sangat kuat dengan Indeks Kualitas Udara ($r = 0,947$), menunjukkan bahwa peningkatan PM_{2,5} secara signifikan mempengaruhi penurunan kualitas udara. Ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa PM_{2,5} adalah indikator utama dari kualitas udara yang buruk dan berhubungan dengan berbagai masalah kesehatan (HEI, 2015). SO₂ dan PM₁₀ juga memiliki korelasi signifikan dengan Indeks Kualitas Udara, tetapi dengan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan PM_{2,5}.

SO₂ adalah gas polutan utama yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas industri. Paparan SO₂ dapat mengiritasi saluran pernapasan dan mempengaruhi fungsi paru-paru, serta dapat berkontribusi terhadap pembentukan partikel halus (PM) di atmosfer (World Health Organization, 2006).

Partikel-partikel ini adalah komponen utama polusi udara. PM10 termasuk partikel dengan diameter kurang dari 10 mikrometer, sedangkan PM2,5 memiliki diameter kurang dari 2,5 mikrometer. Partikel-partikel ini dapat menembus saluran pernapasan dan mencapai paru-paru, serta dapat mempengaruhi kesehatan secara serius (Pope et al., 2006).

Korelasi antara Curah Hujan dan Konsentrasi Polutan Udara

Hasil analisis korelasi pada Tabel 7 tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara curah hujan dan konsentrasi SO₂ ($r = 0,079$, $p = 0,715$). Ini menunjukkan bahwa SO₂ tidak terpengaruh secara langsung oleh curah hujan, atau bahwa faktor-faktor lain seperti sumber emisi lebih berperan dalam menentukan konsentrasi SO₂ di Sorowako.

Terdapat korelasi negatif antara curah hujan dan PM10 ($r = -0,209$, $p = 0,328$), namun tidak signifikan. Ini mengindikasikan bahwa walaupun curah hujan bisa menurunkan konsentrasi PM10, efeknya mungkin tidak konsisten atau dipengaruhi oleh faktor lain seperti aktivitas industri atau kondisi meteorologi lainnya.

Korelasi antara curah hujan dan PM2,5 juga negatif dan tidak signifikan ($r = -0,209$, $p = 0,327$). Ini menunjukkan bahwa curah hujan tidak secara signifikan mempengaruhi konsentrasi PM2,5, mungkin karena PM2,5 lebih stabil di udara atau pengaruh curah hujan tidak cukup besar untuk mempengaruhi konsentrasi secara signifikan.

Korelasi antara Kualitas Udara dan ISPA

Berdasarkan hasil analisis Tabel 7, tidak ditemukan korelasi signifikan antara SO₂ dan kejadian ISPA ($r = 0,244$, $p = 0,250$). Ini menunjukkan bahwa meskipun SO₂ merupakan polutan berbahaya, efeknya terhadap ISPA mungkin tidak terlalu kuat di wilayah ini, atau mungkin ada faktor lain yang mempengaruhi kejadian ISPA.

Korelasi antara PM10 dan ISPA adalah positif ($r = 0,083$, $p = 0,701$) dan tidak signifikan. Ini menunjukkan bahwa PM10 tidak memiliki pengaruh langsung yang kuat terhadap kejadian ISPA dalam data ini.

Korelasi antara PM2,5 dan ISPA adalah negatif ($r = -0,007$, $p = 0,972$), menunjukkan tidak ada hubungan signifikan. Ini bisa berarti bahwa faktor lain selain PM2,5 lebih berpengaruh terhadap ISPA, atau bahwa data tidak menunjukkan efek langsung yang kuat.

Secara keseluruhan, hasil uji korelasi menunjukkan bahwa tidak ada korelasi signifikan antara SO₂, PM10, dan PM2,5 dengan kejadian ISPA, meskipun terdapat hubungan negatif lemah dengan PM2,5. Ini menunjukkan bahwa faktor-faktor lain, seperti infeksi musiman atau variabilitas lokal dalam kesehatan populasi, berperan lebih besar dalam menentukan tingkat ISPA daripada polusi udara secara langsung.

ISPA termasuk berbagai infeksi yang mempengaruhi saluran pernapasan, dari infeksi virus seperti flu hingga infeksi bakteri yang lebih serius. Paparan terhadap polusi udara, khususnya PM2,5, SO₂, dan PM10, juga dapat memperburuk kondisi ini dengan mengiritasi saluran pernapasan dan menurunkan sistem kekebalan tubuh jika konsentrasinya melebihi kapasitas perlindungan sistem imun (Dockery & Pope, 1996).

Menurut WHO, efek kesehatan dari paparan PM10 dalam waktu singkat dapat mempengaruhi radang paru-paru, ISPA, gangguan pada sistem kardiovaskuler,

bahkan hingga mengalami kematian. Sementara dalam jangka panjang PM10 dapat meningkatkan gejala gangguan saluran pernapasan bawah, eksaserbasi asma, penurunan fungsi paru pada anak-anak, peningkatan obstruktif paru-paru kronis, penurunan fungsi paru-paru pada orang dewasa, penurunan rata-rata tingkat harapan hidup terutama kematian yang diakibatkan oleh penyakit cardiopulmonary dan probabilitas kejadian kanker paru-paru (Hadi, 2021).

Particulate Matter (PM) salah satu bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ditemukan di udara dengan ukuran kecil, sehingga sering tidak kasad mata namun dalam ketebalan atau tingkat tertentu maka akan sangat mudah terlihat atau tercium. Jenis partikulat PM2,5 banyak diteliti karena efeknya yang dapat menembus hingga ke bagian paru-paru paling dalam dan kandungannya dapat beredar dalam aliran darah (Azizah, 2019; Indiana Department of Environmental Management, 2014).

Berbagai material yang terkandung dalam PM2,5 ini dapat menyebabkan berbagai gangguan saluran pernafasan seperti ISPA, kanker paru-paru, kardiovaskular, kematian dini, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (Novirsa et al., 2012; WHO, 2006). PM2,5 dapat menembus pertahanan sistem saluran pernapasan manusia sehingga dapat terikat oleh darah manusia melalui pertukaran udara pada alveolus di paru-paru. Partikulat dapat mengendap dalam saluran pernafasan melalui beragam mekanisme fisik antara lain sedimentasi, impaksi, difusi, intersepsi, dan elektronik presipitasi (Brown, 2004).

Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh beberapa variabel independen, yaitu konsentrasi SO₂, PM10, PM2,5, dan curah hujan, terhadap kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) di Sorowako. Berikut data regresi linier berganda disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Regresi Linier Berganda

Parameter	Sig.
ANOVA	0,173
SO ₂	0,078
PM10	0,463
PM2,5	0,179
Curah Hujan	0,055

Keterangan: Sig. = Signifikan

Hasil regresi menunjukkan bahwa model regresi secara keseluruhan tidak signifikan, yang ditunjukkan oleh nilai p sebesar 0,173. Hal ini berarti bahwa variabel-variabel tersebut secara kolektif tidak dapat memprediksi secara signifikan kejadian ISPA di wilayah ini.

Variabel curah hujan hampir mencapai signifikansi dengan nilai p sebesar 0,055, menunjukkan adanya pengaruh negatif terhadap kejadian ISPA. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan dapat berkontribusi pada penurunan kasus ISPA, kemungkinan melalui mekanisme pengendalian atau pembersihan polutan udara oleh hujan. Temuan ini konsisten dengan beberapa studi sebelumnya

yang menyatakan bahwa curah hujan dapat mempengaruhi konsentrasi polutan udara, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan pernapasan masyarakat setempat (Duan et al., 2010).

Parameter SO₂, PM₁₀, dan PM_{2,5} berhubungan signifikan dengan kualitas udara, namun hubungan langsung dengan kejadian ISPA tidak ditemukan signifikan dalam model regresi. Ini mungkin menunjukkan bahwa polusi udara adalah salah satu faktor penyebab penyakit tetapi tidak satu-satunya penentu kejadian ISPA, atau mungkin variabilitas lokal dan faktor lain yang lebih mempengaruhi hasil tersebut.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis yang telah dilakukan, hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada hubungan signifikan antara konsentrasi SO₂, PM₁₀, atau PM_{2,5} dengan kejadian ISPA. Ini mungkin menunjukkan bahwa udara polutan ini tidak secara langsung mempengaruhi kejadian ISPA di wilayah Sorowako. Hasil regresi juga menunjukkan bahwa model yang menggabungkan curah hujan dan konsentrasi udara polutan tidak secara signifikan menjelaskan variabilitas dalam kejadian ISPA. Ini mengindikasikan bahwa kemungkinan ada faktor lain selain udara polutan yang diukur, dapat berkontribusi pada kejadian penyakit ISPA. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan kajian lanjutan yang mencakup evaluasi sistem pengendalian emisi di PT. Vale Indonesia Tbk. untuk menilai efektivitasnya dalam menjaga kualitas udara ambien dan kajian lanjut terhadap variabel lain seperti kepadatan hunian, tingkat kebersihan lingkungan, kebiasaan merokok, status gizi, dan ventilasi rumah, guna mengidentifikasi faktor lain yang mungkin lebih berperan dalam kejadian penyakit ISPA.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, I. T. N. 2019. Analysis The Level of PM_{2.5} And Lung Function of Organic Fertilizer Industry Workers in Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 141. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i2.2019.141-149>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). 2023. *Perspektif BMKG Terhadap Analisis Pola Musim dan Antisipasi Dampak Musim Hujan 2023/2024*. BMKG.
- Brown, D. M., Donaldson, K., Borm, P. J., Schins, R. P., Dehnhardt, M., Gilmour, P., Jimenez, L. A., & Stone, V. 2004. Calcium and ROS-Mediated Activation of Transcription Factors and TNF- α Cytokine Gene Expression in Macrophages Exposed to Ultrafine Particles. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 286(2 30-2), 344–353. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00139.2003>
- Dockery, D. W., & Pope, C. A., III. 1996. Epidemiology of Acute Health Effects: Summary of The 1995 HEI Health Effects of Outdoor Air Pollution Workshop. *Environmental Health Perspectives*, 104 (Suppl 8), 181-184.

- Duan, J., et al. 2010. The Effect of Precipitation on Air Pollution: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 22(3), 410-419.
- Fadilah, R., & Priyono, A. 2020. Dampak Kondisi Lingkungan terhadap Penyebaran Mikroorganisme. Surabaya: Pustaka Ilmu.
- Hadi, Bagas Satya. 2021. Pemantauan Kualitas Udara Ambien PM10 dan Resiko Kesehatan terhadap Masyarakat di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia.
- Health Effects Institute. 2015. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review Of The Literature On Exposures And Health Effects.
- Indiana Department of Environmental Management. 2014. Criteria Pollutants: Particulate Matter (PM2.5/PM10). In.Gov. https://www.in.gov/idem/files/factsheet_oaq_criteria_pm.pdf
- Lalu, S.T., Akili, R.H., & Maddusa, S.S. 2020. Gambaran Faktor Kesehatan Lingkungan Pada Balita 12 - 59 Bulan Dengan Penyakit ISPA di Wilayah Kerja Puskesmas Kema Tahun 2020. *Kesmas*, 9 (7), 190–199.
- Mulyono. (2008). Kamus Kimia. Jakarta: Bumi Aksara.
- Novirsa, R., Achmadi, U., & Fahmi. 2012. Analisis Risiko Paparan PM2,5 di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 7(4), 173–179.
- Nurmayanti, D. dan Purwoko, D. 2017. Kimia Lingkungan. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Pope, C. A., III, & Dockery, D. W. 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742.
- Situmorang, R. 2017. Hubungan Antara Pencemaran Udara dengan Kejadian ISPA di Kota Jakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 12(1), 45-53.
- Sudarmo, S. 2015. Polusi Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 112-120.
- Sudrajat, D. 2012. Dampak Pembakaran Bahan Bakar Fosil terhadap Pembentukan Gas Sulfur Dioksida (SO₂). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(2), 145-152.
- World Health Organization. (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005. WHO Regional Office for Europe.
- Xie, W., Zhang, Y., Li, R., Yang, H., Wu, T., Zhao, L., & Lu, Z. 2017. The Responses Of Two Native Plant Species to Soil Petroleum Contamination in The Yellow River

Delta, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(31), 24438-24446. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0085-0>