



Analisis Kualitas Udara Parameter Deposisi Basah dan Deposisi Kering di Sorong Tahun 2022

Ayu Diah Syafaati^{1*}, Yuni Kartika^{2*}

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global Puncak Vihara Klademak Sorong

²Laboratorium Pengujian Kualitas Udara BMKG

^{1,2}Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

*Email: ayudiahsyafaati17@gmail.com

Abstract

Acid deposition is a phenomenon of air pollution that is mostly associated with energy activities that emit acidic pollutant compounds into the atmosphere. Acid deposition is one of the effects of air pollution. Observation of air quality in Sorong City is needed to determine the level of air pollution that occurs due to natural factors and anthropogenic activities. Observation of acid deposition in Sorong City was carried out with two parameters, namely wet deposition and dry deposition. Observation of wet deposition using chemical measurements of rainwater in the form of pH, Conductivity, and Mineral Ion Concentration. Observation of dry deposition using SPM Particulate and Passive Gas (SO₂ and NO₂) parameters. The results show that the level of acidity (pH) of rainwater in Sorong City during 2022 is included in pH category of acidic rainwater that tends to be neutral. Meanwhile, the result of conductivity value is 2.2 – 50.9 μS/cm. The chemical composition in rainwater in Sorong City is dominated by chloride ions, sulfate ions, potassium ions and sodium ions, where the number of anions accounts for 59% of the total ions present in rainwater, and cations contribute 41%. During January to December 2022, daily SPM concentrations were in the range of 8.63 - 96.24 μg/m³. Based on the value of the quality standard, both daily and yearly, SPM value is still far below the applicable threshold value. The results of SO₂ and NO₂ measurements in Sorong City also show that concentration values are still below the air quality standard values.

Keywords: Air Quality, Chemical Precipitation, Passive Gas, Rainfall, Suspended Particulate Matter

Abstrak

Deposisi asam merupakan fenomena pencemaran udara yang banyak dikaitkan dengan aktivitas energi yang mengemisikan senyawa polutan bersifat asam ke atmosfer. Deposisi asam adalah salah satu dampak dari pencemaran udara. Pengamatan kualitas udara di Kota Sorong diperlukan untuk mengetahui tingkat pencemaran udara yang terjadi akibat faktor alam dan aktivitas antropogenik. Pengamatan deposisi asam di Kota Sorong dilakukan dengan dua parameter yaitu deposisi basah dan deposisi kering. Pengamatan deposisi basah menggunakan pengukuran kimia air hujan berupa pH, Konduktivitas, dan Konsentrasi Ion Mineral. Pengamatan deposisi kering menggunakan parameter Partikulat SPM dan *Passive Gas* (SO₂ dan NO₂). Hasilnya diperoleh bahwa tingkat keasaman (pH) air hujan di Kota Sorong selama tahun 2022 masuk dalam kategori pH air hujan asam hingga cenderung netral. Sementara nilai konduktivitas terukur sebesar 2,2 – 50,9 μS/cm. Kandungan kimia yang ada pada air hujan di Kota Sorong didominasi oleh Ion Klorida, Ion Sulfat, Ion Kalium dan Ion Natrium, dimana jumlah anion menyumbang 59% dari total ion yang ada dalam air hujan, dan kation menyumbang sebesar 41%. Selama Januari hingga Desember 2022, konsentrasi SPM harian berada pada rentang 8,63 - 96,24 μg/m³. Berdasarkan nilai baku mutunya, baik harian maupun tahunan, nilai SPM masih jauh di bawah nilai ambang batas yang berlaku. Hasil pengukuran SO₂ dan NO₂ di Kota Sorong juga menunjukkan bahwa nilai konsentrasi yang dihasilkan masih berada di bawah nilai baku mutu udaranya.

Kata Kunci: Curah Hujan, Kimia Air Hujan, Kualitas Udara, *Passive Gas*, *Suspended Particulate Matter*



1. Pendahuluan

Faktor alam dan aktivitas manusia dapat mempengaruhi kondisi kualitas udara di suatu wilayah. Perubahan kualitas udara karena pencemaran udara disebabkan oleh masuknya polutan yang berasal dari berbagai sumber ke dalam atmosfer, yang pada konsentrasi tertentu dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan. Salah satu dampak dari pencemaran udara adalah deposisi asam. Deposisi asam merupakan fenomena pencemaran udara yang banyak dikaitkan dengan aktivitas energi yang mengemisikan senyawa polutan bersifat asam ke atmosfer. Komposisi kimia dari partikel yang mengandung unsur asam berpotensi menyebabkan deposisi asam [1]. Turunnya senyawa asam yang ada di atmosfer ke permukaan bumi dapat melalui dua jalan, yaitu deposisi basah (*Wet Deposition*) dan deposisi kering (*Dry Deposition*) [2].

Deposisi basah terjadi apabila partikel asam dari polutan dibawa oleh awan dan turun ke bumi dalam bentuk air hujan, salju atau kabut. Bentuk deposisi ini juga dikenal dengan istilah hujan asam [3]. Hujan memiliki tingkat keasaman (pH) normal sebesar 5,6. Nilai pH 5,6 merupakan batas normal dari keasaman air hujan, dimana air murni berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi CO₂ global (350 ppm) di atmosfer [4]. pH 5,6 digunakan sebagai garis batas keasaman air hujan. Keasaman air hujan selain dipengaruhi oleh unsur asam (SO₄²⁻, NO₃⁻ dan Cl⁻), juga dipengaruhi oleh unsur basa seperti NH₃ dan CaCO₃ [1]. Emisi alkali berupa partikel debu dan gas NH₃ akan mempengaruhi keasaman air hujan secara signifikan, dengan menetralkan beberapa faktor asam [5]. Pengukuran deposisi basah pada penelitian ini berupa pengamatan kimia air hujan. Pengukuran kimia air hujan dapat memberikan informasi pertukaran polutan di atmosfer dengan permukaan bumi. Selain itu, data kimia air hujan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi model perpindahan polutan dari satu daerah ke daerah yang lain, serta sebagai bahan penilaian dampak deposisi asam terhadap ekosistem [6].

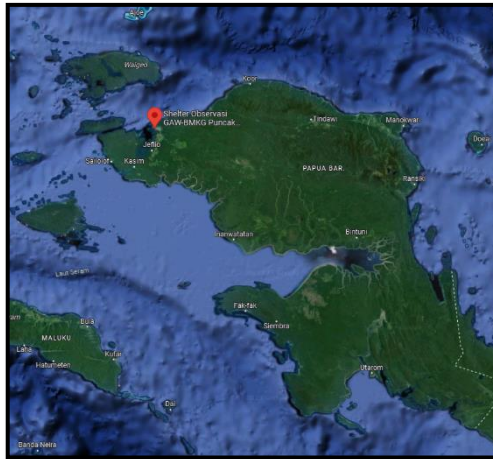
Deposisi kering adalah terendapkannya asam-asam yang ada di udara dan mengenai tanah, benda, atau makhluk hidup tanpa melalui air hujan [6]. Deposisi kering terjadi apabila partikel yang bersifat asam turun ke permukaan bumi dalam bentuk aerosol atau partikel-partikel mikro [3]. Material asam ini dibawa ke atmosfer yang jauh melalui proses difusi dan *disperse*, serta dapat jatuh ke tempat yang jaraknya ribuan kilometer dari sumber asalnya. Biasanya deposisi kering ini terjadi di area perkotaan dengan tingkat pencemaran udara yang cukup tinggi yang diakibatkan oleh kepadatan lalu lintas di daerah tersebut maupun sekitarnya.

Kota Sorong merupakan salah satu kota berkembang, dimana menjadi pusat kegiatan perekonomian di Wilayah Papua Barat dan Papua Barat Daya. Kota Sorong merupakan wilayah terpadat penduduknya di Wilayah Papua Barat dan Papua Barat Daya, meskipun memiliki luas wilayah terkecil yaitu seluas 1.105 Km² [7]. Sebagai Ibu Kota Provinsi Papua Barat Daya, Kota Sorong menjadi tempat strategis bagi bermacamnya kegiatan ekonomi masyarakat. Kota Sorong memiliki pelabuhan laut utama dan bandar udara yang menjadi pintu gerbang bagi kegiatan masyarakat baik di bidang perdagangan, pariwisata, konstruksi, transportasi, dan perikanan. Beragamnya aktivitas masyarakat tentu dapat mempengaruhi kondisi kualitas udara, mengingat kegiatan transportasi di wilayah ini menjadi mobilitas utama masyarakat. Maka diperlukan pengukuran kualitas udara di Wilayah Kota Sorong untuk melihat bagaimana kondisi kualitas udaranya menggunakan parameter deposisi basah dan deposisi kering selama tahun 2022. Tahun 2022 menjadi tahun bangkitnya kembali kegiatan perekonomian masyarakat di Kota Sorong, setelah didera pandemi Covid-19 yang melanda seluruh Indonesia sejak tahun 2020.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kualitas udara di Kota Sorong menggunakan parameter deposisi basah dan deposisi kering selama Januari hingga Desember 2022. Parameter Deposisi Basah berupa pH, Konduktivitas, serta Konsentrasi Kation dan Anion. Sementara, parameter Deposisi Kering diantaranya Suspended Particulate Matter (SPM), Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂). Korelasi dengan faktor curah hujan juga dilakukan terhadap parameter deposisi basah dan kering untuk melihat pengaruhnya.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Shelter Pengamatan Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Puncak Vihara Klademak Sorong yang berlokasi di Kawasan Hutan Lindung Klademak Kota Sorong, Papua Barat Daya. Secara geografis, daerah penelitian terletak antara -0,88 LS – 131.30 BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Shelter Stasiun GAW Sorong (Sumber: Google Maps)

Penelitian ini menggunakan data deposisi basah berupa data kimia air hujan dengan parameter pH, konduktivitas, serta konsentrasi anion dan kation selama tahun 2022. Data konsentrasi kation berupa NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} , serta anion berupa SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^- . Data Kimia Air Hujan diperoleh dengan pengambilan sampel air hujan setiap minggu sekali menggunakan instrumen *Automatic Rain Water System* (ARWS) di Shelter Pengamatan Stasiun Stasiun Pemantau Atmosfer Global Puncak Vihara Klademak Sorong dan dianalisis di Laboratorium Kualitas Udara BMKG Pusat. Data deposisi basah dan deposisi kering diperoleh dengan mengakses laman Database Kualitas Udara BMKG.

Tabel 1. Metode Analisis Kimia Air Hujan [6]

Parameter	Metode	Instrumen Analisis
PH	Elektroda Gelas	PH meter
Konduktivitas	Sel Konduktivitas	Conductivity meter
SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-	Kromatografi	Kromatografi Ion
NH_4^+	Spektrofotometri	Spektrofotometer
Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}	Kromatografi	Kromatografi Ion

Data deposisi kering berupa data *passive gas*, yaitu SO_2 dan NO_2 selama tahun 2022. Data tersebut diperoleh menggunakan metode *sampling passive gas*. Metode *passive gas sampler* adalah suatu metode yang menggunakan sistem penyerapan gas secara difusi melalui media yang dipaparkan dalam waktu tertentu tanpa menggunakan pompa penghisap dengan memanfaatkan sifat fisis gas yang berdifusi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah [8]. *Sampler* pasif yang digunakan didasarkan pada difusi molekul gas melalui lapisan udara statis dan terdiri dari tabung polietilen silindris (diameter dalam 21 mm, panjang 12 mm) yang disegel di bagian bawah. Membran Teflon (pori 0,5 mm, diameter 25 mm, hidrofobik) dan saringan baja tahan karat untuk perlindungan membran (diameter ulir 0,08 mm dan ukuran jaring 0,125 mm) digunakan pada saluran masuk udara. Setelah lapisan difusi terdapat filter selulosa yang diresapi dengan reagen khusus untuk menjebak gas yang terdifusi [9].

Data *Suspended Particulate Matter* (SPM) selama tahun 2022 diperoleh menggunakan instrumen *High Volume Sampler* (HVS) dengan metode gravimetri, yang terpasang di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Puncak Vihara Klademak Sorong. Prinsip kerja dari *High Volume Sampler* dengan metode gravimetri adalah menentukan konsentrasi debu yang ada di udara dengan menggunakan pompa hisap. Udara yang terhisap disaring dengan filter, sehingga debu yang ada di udara akan menempel pada filter tersebut. Berdasarkan jumlah udara yang terhisap dan berat debu yang menempel pada filter, akan diketahui konsentrasi debu yang ada di udara [10]. Pengambilan sampel SPM dilakukan setiap enam hari sekali untuk selanjutnya dianalisis di Laboratorium Penguji Kualitas Udara BMKG. Adapun data

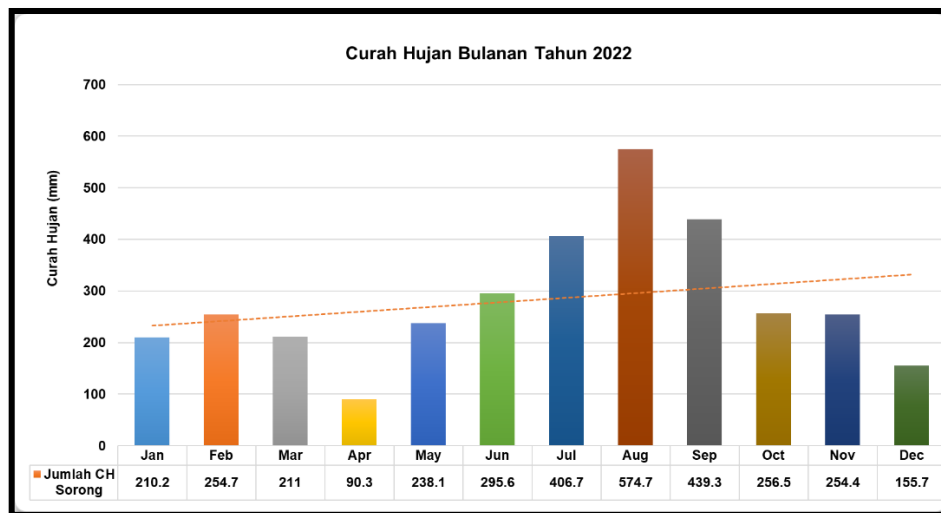


Parameter Meteorologi yang digunakan berupa data curah hujan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Sorong selama tahun 2022 yang diperoleh dengan menggunakan instrumen Penakar Hujan Obs.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, yaitu hasil dari suatu kegiatan yang mendeskripsikan sesuatu yang mengacu pada referensi dan data dari lapangan [11]. Alat analisis yang digunakan terdiri dari *mean* (rata-rata), maksimum, dan minimum. Dalam penelitian ini juga digunakan Koefisien Korelasi Pearson (r). Korelasi Pearson menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel [12]. Koefisien korelasi adalah ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel-variabel [13]. Nilai koefisien korelasi berada di antara $-1 < 0 < 1$ yaitu apabila $r = -1$ korelasi negatif sempurna, artinya taraf signifikansi dari pengaruh variabel X terhadap variabel Y sangat lemah dan apabila $r = 1$ korelasi positif sempurna, artinya taraf signifikansi dari pengaruh variabel X terhadap variabel Y sangat kuat [14].

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Curah Hujan Periode Januari – Desember 2022



Gambar 2. Curah Hujan Bulanan di Kota Sorong Tahun 2022

Indonesia terbagi menjadi tiga pola iklim utama yaitu Curah Hujan Pola Monsunal, Curah Hujan Pola Ekuatorial dan Curah Hujan Pola Lokal [15]. Wilayah Sorong memiliki pola hujan tipe lokal atau anti monsun [16]. Pola hujan lokal atau anti monsun merupakan pola hujan yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulannya tidak memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau. Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodal (satu puncak hujan) [17].

Keadaan topografi Kota Sorong sebagian besar wilayahnya merupakan daerah pegunungan dan perbukitan, sisanya berupa dataran rendah [7], sebelah timur hutan lebat yang merupakan hutan lindung dan hutan wisata. Wilayah Kota Sorong umumnya merupakan daerah pesisir, sehingga kondisi cuacanya sangat dipengaruhi oleh faktor lokal, yaitu interaksi yang kuat antara daratan dan lautan.

Berdasarkan gambar 2 di atas menunjukkan curah hujan kumulatif bulanan selama tahun 2022 di Kota Sorong. Kota Sorong mengalami curah hujan tertinggi pada bulan Agustus dengan jumlah curah hujan bulanan sebesar 574,7 mm dan jumlah hari hujan sebanyak 23 hari. Serta curah hujan bulanan terendah di bulan April sebesar 211 mm, dengan 15 hari hujan. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) membagi curah hujan bulanan menjadi empat kategori yaitu rendah (0-100 mm/bulan), sedang (101-300 mm/bulan), tinggi (301-400 mm/bulan) dan sangat tinggi (> 400 mm/bulan) [18]. Diagram batang distribusi curah hujan bulanan Kota Sorong (gambar 2) menunjukkan



bahwa pada periode Januari hingga Desember 2022, curah hujan di Kota Sorong berada pada kategori rendah, sedang, dan sangat tinggi.

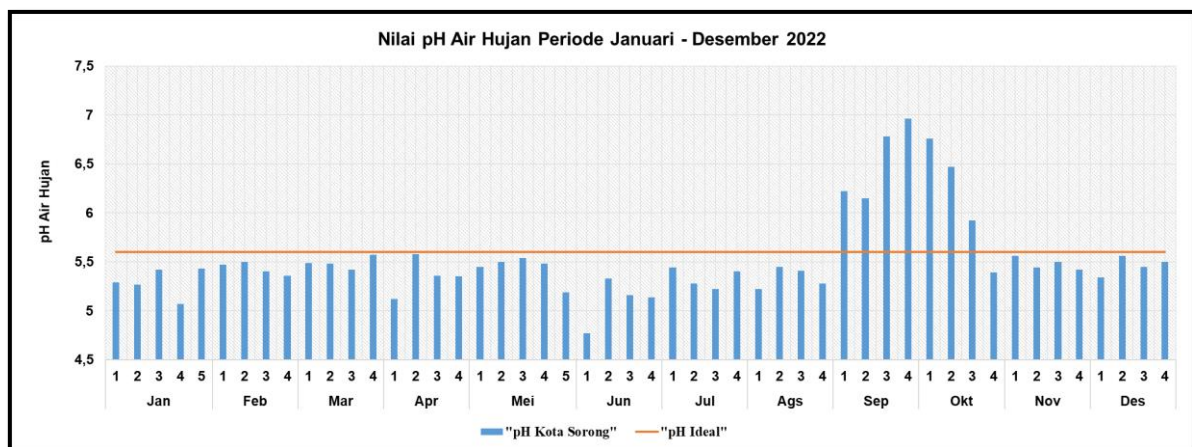
Tabel 2. Kategori Curah Hujan Bulanan [18]

Nilai CH	Kategori	Periode Bulan (2022)
0– 100 mm	Rendah	April
101– 300 mm	Sedang	Januari, Februari, Maret, Mei, Juni, Oktober, November, Desember
301– 400 mm	Tinggi	-
>400 mm	Sangat Tinggi	Juli, Agustus, September

Analisis Deposisi Basah Periode Januari – Desember 2022 Tingkat Keasaman (pH) dan Konduktivitas Air Hujan

Pengamatan deposisi basah pada penelitian ini menggunakan parameter kimia air hujan. Pengukuran kimia air hujan digunakan untuk mengetahui kandungan bahan-bahan pencemar udara yang terkandung dalam proses pengendapan basah (*wet deposition*). Parameter kimia air hujan yang diukur antara lain pH, Konduktivitas dan Konsentrasi Ion Mineral. pH atau derajat keasaman merupakan salah satu parameter pengukuran kualitas air hujan. Derajat keasaman atau pH (*Potential of Hydrogen*) air hujan digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman (asam dan basa) suatu sampel air hujan. Sementara itu, konduktivitas menunjukkan kemampuan dari suatu larutan dalam menghantarkan listrik.

Konduktivitas air murni berkisar antara 0-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*low conductivity*), konduktivitas sungai sungai besar/major berkisar antara 200-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*midrange conductivity*), dan air saline adalah 1000-10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*high conductivity*) [19]. Konduktivitas dipengaruhi oleh muatan-muatan ion yang terkandung dalam suatu larutan. Semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi nilai konduktivitasnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai konduktivitas air hujan adalah kadar polutan di udara. Pengukuran konduktivitas sebagai salah satu parameter kualitas udara, selain untuk mengukur kemampuan ion-ion dalam menghantarkan listrik, juga untuk memprediksi kandungan mineral dalam air hujan.



Gambar 3. Grafik pH Air Hujan di Kota Sorong Selama Tahun 2022

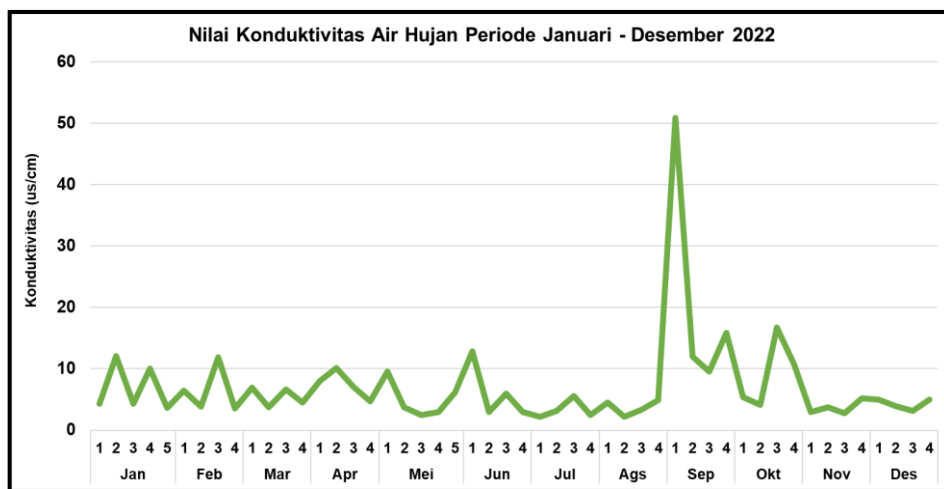
Berdasarkan gambar 3 menunjukkan bahwa nilai pH air hujan di Sorong selama tahun 2022 berada pada range 4,77 – 6,96, dengan nilai pH rata-rata sebesar 5,53. Tingkat keasaman air hujan tertinggi (pH maksimum) terjadi pada minggu keempat bulan September 2022, dan tingkat keasaman air hujan terendah (pH minimum) terjadi pada minggu pertama bulan Juni 2022. Kecenderungan nilai pH air hujan selama tahun 2022 mengalami kenaikan menuju pH air hujan ideal hingga netral.



Tabel 3. Kategori Nilai pH Air Hujan [20]

Nilai pH	Keterangan
>7	pH basa
6,1- 7	Air hujan sangat baik, cenderung netral seperti air permukaan
5,6 – 6	pH air hujan ideal
4,1 – 5,5	Hujan asam
3 - 4	Hujan asam (tinggi)
<3	Hujan asam (ekstrem)

Berdasarkan kategori nilai pH air hujan yang merujuk pada ketentuan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) (Tabel 3), variasi nilai pH air hujan bergantung pada kadar zat kimia yang terlarut. Adapun berdasarkan data pH air hujan di Sorong terbagi menjadi 3 kategori nilai pH: kategori cenderung netral (6,1-7), pH air hujan ideal (5,6-6) dan hujan asam (4,1-5,5). Persentase nilai pH air hujan pada range pH air hujan ideal (5,6-6) sebesar 1% % dari total data, dan pH air hujan dengan kategori cenderung netral (air hujan sangat baik, 6,1-7) sebesar 12 % dari total data. Persentase nilai pH dengan kategori hujan asam (4,1-5,5) sebesar 78% dari total data. Sementara itu, pH air hujan di Sorong dengan kategori basa, hujan asam tinggi dan ekstrem tidak terjadi. Secara alami keberadaan senyawa CO₂, NO_x dan SO₂ dapat larut di dalam awan dan tetesan air hujan, sehingga nilai pH air hujan pada kondisi udara yang bersih berada pada range 5 – 5,6. Air hujan dengan nilai pH dibawah 5 disebabkan oleh adanya senyawa asam sulfat dan senyawa asam organik lainnya, serta emisi antropogenik. Sementara air hujan dengan nilai pH di atas 6 berasal dari senyawa yang bersifat alkali (basa).



Gambar 4. Grafik Konduktivitas Air Hujan di Kota Sorong Selama Tahun 2022

Parameter pengukuran kimia air hujan yang lain adalah konduktivitas. Berdasarkan gambar 4 menunjukkan nilai konduktivitas air hujan di Sorong selama tahun 2022 mengalami fluktuasi, dengan nilai rata-rata konduktivitas air hujan sebesar 6,9 µS/cm. Nilai konduktivitas minimum terjadi pada minggu pertama bulan Juli 2022 sebesar 2,2 µS/cm dan nilai konduktivitas air hujan maksimum sebesar 50,9 µS/cm terjadi pada minggu pertama bulan September 2022. Konduktivitas dipengaruhi oleh muatan-muatan ion yang terkandung dalam suatu larutan. Semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi nilai konduktivitasnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai konduktivitas air hujan adalah kadar polutan di udara. Pengukuran konduktivitas sebagai salah satu



parameter kualitas udara, selain untuk mengukur kemampuan ion-ion dalam menghantarkan listrik, juga untuk memprediksi kandungan mineral dalam air hujan.

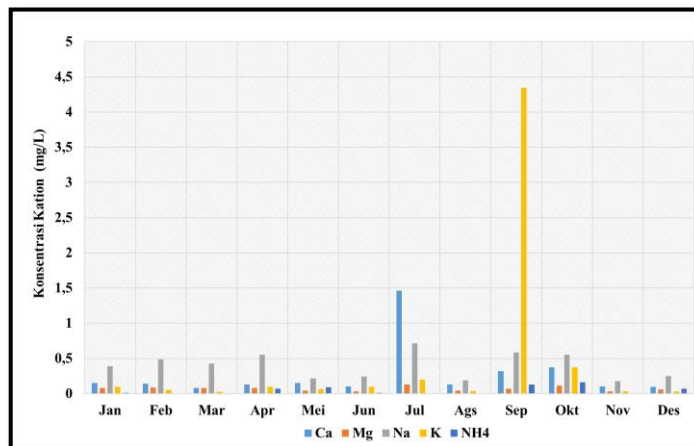
Tabel 4. Korelasi pH, Konduktivitas dan Curah Hujan

Parameter	Korelasi Pearson (r)
pH x Curah Hujan	0,25
Konduktivitas x Curah Hujan	0,29
pH x Konduktivitas	0,33

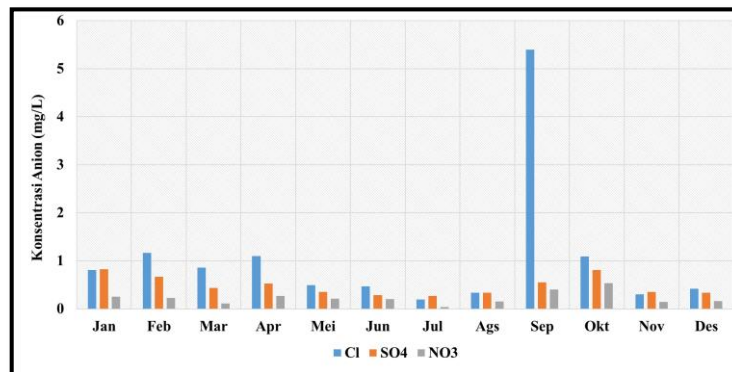
Korelasi antara Curah Hujan dengan pH dan Konduktivitasnya dilakukan pada penelitian ini untuk melihat pengaruh faktor meteorologi terhadap nilai keduanya. Hubungan antara Curah Hujan dengan pH dan Konduktivitas memiliki nilai korelasi (r) yang lemah (tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa faktor curah hujan tidak memiliki pengaruh yang cukup kuat terhadap tingkat keasaman dan konduktivitas air hujan di Kota Sorong. Sementara korelasi pH dengan konduktivitasnya memiliki nilai korelasi yang sedang ($r = 0,33$), dimana semakin tinggi tingkat keasaman air hujan, semakin besar nilai konduktivitasnya.

Konsentrasi Kation dan Anion

Konsentrasi Ion Mineral (Kation dan Anion) air hujan di Kota Sorong selama tahun 2022 disajikan pada gambar 5 dan 6 berikut.



Gambar 5. Konsentrasi Ion Mineral Positif (Kation) Air Hujan di Kota Sorong selama 2022



Gambar 6. Konsentrasi Ion Mineral Negatif (Anion) Air Hujan di Kota Sorong selama 2022



Berdasarkan data diperoleh konsentrasi ion mineral paling tinggi secara berurutan yaitu $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$. Ion mineral yang paling banyak ditemukan pada air hujan di Sorong adalah Ion Klorida (Cl^-) dan paling sedikit ditemukan adalah Ion Magnesium (Mg^{2+}). Konsentrasi Ion Mineral tersebut menunjukkan kandungan kimia yang ada pada air hujan di Kota Sorong yang didominasi oleh Ion Klorida, Ion Sulfat, Ion Kalium dan Ion Natrium. Dimana jumlah anion (SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^-) menyumbang 59% dari total ion yang ada dalam air hujan, dan kation (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+}) menyumbang sebesar 41%.

Pada bulan September 2022 menunjukkan peningkatan Ion Klorida (Cl^-) dan Kalium (K^+) yang signifikan, dimana nilai pH dan Konduktivitas di bulan tersebut juga mengalami kenaikan. Korelasi yang sangat kuat ditunjukkan pada nilai korelasi konduktivitas dengan konsentrasi Ion Cl^- dan K^+ sebesar $r = 0,9$, sementara hubungan curah hujan dengan kedua ion tersebut juga dihasilkan korelasi yang cukup kuat sebesar $r = 0,47$ (K^+) dan $r = 0,38$ (Cl^-). Hal ini menunjukkan bahwa tingginya curah hujan yang terjadi, meningkatkan nilai konduktivitasnya, sehingga kandungan ion mineralnya juga semakin besar.

Konsentrasi Ion SO_4^{2-} dan NO_3^- mempunyai nilai korelasi sebesar $r = -0,26$ (SO_4^{2-}) dan $r = -0,08$ (NO_3^-) dan memiliki hubungan yang negatif dengan curah hujan, dimana konsentrasi SO_4^{2-} dan NO_3^- tinggi bila curah hujan rendah. Hal ini berkaitan dengan proses deposisi senyawa tersebut, karena konsentrasi SO_4^{2-} dan NO_3^- diperoleh dari analisa deposisi basah (konsentrasi sulfur dan nitrogen yang terlarut dalam air hujan) sehingga sangat dipengaruhi oleh curah hujan [21].

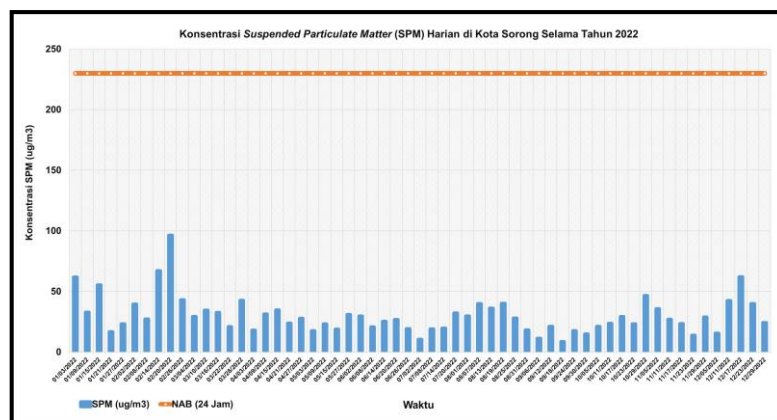
Analisis Deposisi Kering Periode Januari – Desember 2022

Analisis Suspended Particulate Matter (SPM)

Suspended Particulate Matter (SPM) merupakan salah satu unsur partikel pencemar udara yang memiliki diameter mulai rentang <1 mikrometer hingga 100 mikrometer [22]. SPM terbentuk dari berbagai sumber, baik secara alami maupun diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti transportasi, pembakaran, sektor industri dan konstruksi. SPM memiliki nilai baku yang telah diatur dalam PP No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, dimana konsentrasi SPM yang melebihi ambang batasnya memiliki dampak yang cukup serius terhadap kesehatan manusia. Berikut merupakan Baku Mutu Udara Ambien untuk Parameter SPM.

Tabel 5. Baku Mutu Udara Ambien Nasional [23]

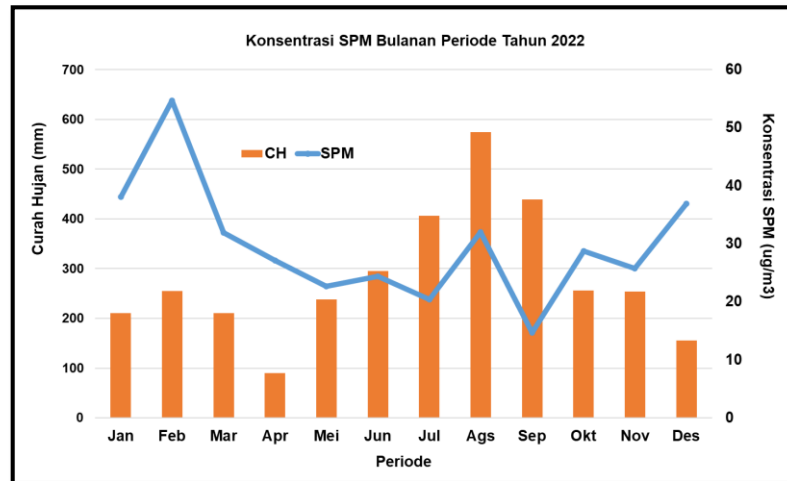
No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	TSP/SPM/Debu	1 Jam	-
		24 Jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		1 Tahun	90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Gambar 7. Konsentrasi SPM Harian dibandingkan dengan NAB-nya (24 Jam)



Berdasarkan pengukuran SPM di Kota Sorong selama Januari hingga Desember 2022, konsentrasi SPM harian berada pada rentang 8,63 - 96,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi SPM harian tertinggi terjadi pada tanggal 20 Februari 2022 dan konsentrasi terendah terjadi pada tanggal 18 September 2022. Apabila dibandingkan dengan baku mutu udara ambien, konsentrasi SPM harian selama tahun 2022 berada dibawah nilai ambang batasnya yaitu sebesar 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pengukuran 24 jam). Adapun konsentrasi rata-rata tahunan SPM selama tahun 2022 terukur sebesar 30,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jika dibandingkan dengan baku mutu udaranya, nilai tersebut masih dibawah nilai ambang batasnya yaitu sebesar 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pengukuran 1 tahun). Sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pengukuran konsentrasi partikulat SPM selama tahun 2022, kondisi kualitas udara di Kota Sorong masih dalam kategori baik dimana nilai yang terukur masih berada jauh dibawah baku mutu udaranya.



Gambar 8. Konsentrasi *Suspended Particulate Matter* (SPM) Bulanan di Kota Sorong Tahun 2022

Korelasi antar polutan udara di atmosfer dengan parameter meteorologi dapat memberikan informasi penting terkait mekanisme penyebaran, pembentukan maupun deposisi polutan. Menurut Shukla et al., 2008 [24], parameter hujan dapat mempengaruhi konsentrasi polutan udara karena dapat menghilangkan polusi gas dan pengendapan partikulat melalui proses kimia atmosfer. Pengaruh curah hujan terhadap konsentrasi SPM dilakukan dengan melihat hubungan menggunakan korelasi pearson (r). Berdasarkan perhitungan dihasilkan nilai korelasi sebesar $r = -0,34$. Nilai tersebut menjelaskan bahwa pengaruh curah hujan terhadap konsentrasi SPM lemah dengan korelasi negatif. Sibarani, 2021 juga melakukan penelitian tentang pengaruh curah hujan terhadap partikulat $\text{PM}_{2.5}$. Hasil korelasi antara parameter cuaca dan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ tersebut tidak terlalu besar. Nilai korelasi parameter curah hujan sebesar -0,29.

3.2. Analisis *Passive Gas* (SO_2 dan NO_2)

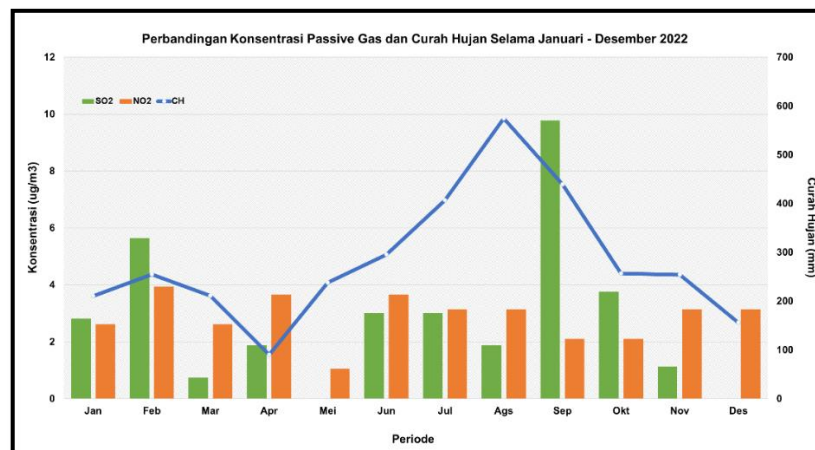
Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) merupakan polutan udara konvensional, dimana sumber utama keduanya di atmosfer berasal dari transportasi atau lalu lintas jalan raya, pemanas rumah tangga, dan emisi industri. Dampak Nitrogen Oksida (NO_x) dalam bentuk Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Sulfur Oksida (SO_x) dalam bentuk Sulfur Dioksida (SO_2) terhadap manusia dapat menyebabkan gangguan berupa sesak nafas, batuk-batuk, kelelahan, sakit kepala, mual dan muntah, kerusakan paru-paru, keracunan hingga menyebabkan kematian. Bahkan dalam level nilai yang rendah sekalipun kemungkinan gangguan dapat terjadi baik secara kronis maupun akut [25].

Pada penelitian ini untuk mengetahui dampak pencemaran udara parameter *passive gas* di Kota Sorong digunakan perbandingan dengan nilai Baku Mutu udara ambien nasional disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Baku Mutu Udara Ambien Nasional [26]

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 Jam	400 µg/m ³
		24 Jam	150 µg/m ³
		1 Tahun	100 µg/m ³
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 Jam	900 µg/m ³
		24 Jam	365 µg/m ³
		1 Tahun	60 µg/m ³

Selama tahun 2022, konsentrasi rata-rata Sulfur Dioksida (SO₂) yang terukur di Kota Sorong sebesar 2,27 µg/m³. Nilai tersebut jika dibandingkan dengan baku mutu udaranya masih berada jauh dibawah nilai ambang batasnya yaitu sebesar 60 µg/m³ (pengukuran 1 tahun), hal ini menunjukkan kondisi kualitas udara Kota Sorong dalam keadaan baik. Sementara itu konsentrasi SO₂ selama Januari hingga Desember 2022 berada pada rentang 0 – 39,48 µg/m³. Sementara itu, konsentrasi rata-rata Nitrogen Dioksida (NO₂) sebesar 2,84 µg/m³. Nilai tersebut dibandingkan dengan baku mutu udaranya masih berada jauh dibawah nilai ambang batasnya yaitu sebesar 100 µg/m³ (pengukuran 1 tahun), hal ini menunjukkan kondisi kualitas udara berdasarkan parameter Nitrogen Dioksida (NO₂), dalam kategori baik.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Curah hujan Terhadap Konsentrasi *Passive Gas*

Hubungan antara curah hujan dengan konsentrasi SO₂ dan NO₂ ditunjukkan pada gambar 8. Nilai korelasi yang dihasilkan sebesar $r = 0,4$ (SO₂) dan $r = 0,07$ (NO₂). Pada pengukuran deposisi basah, konsentrasi sulfur dan nitrogen memiliki korelasi yang negatif, sedangkan untuk SO₂ dan NO₂ meskipun mempunyai hubungan yang positif, keduanya terdeposisi ke permukaan bumi dengan proses deposisi kering. Besar kecilnya konsentrasinya tidak terkait langsung dengan curah hujan [21].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan deposisi basah dan deposisi kering selama Januari hingga Desember 2022, secara umum kualitas udara di Wilayah Kota Sorong masih dalam kategori baik. Pengamatan deposisi basah berupa pengukuran kimia air hujan di Kota Sorong menunjukkan bahwa tingkat keasaman (pH) air hujan di Kota Sorong berada pada rentang nilai 4,77 – 6,96, dengan nilai pH rata-rata selama 2022 sebesar 5,53. Berdasarkan kategori nilai pH yang merujuk pada BMKG, pH air hujan di Sorong masuk dalam kategori hujan asam hingga cenderung netral, itu berarti air hujan dengan kategori basa, hujan asam tinggi dan ekstrem tidak terjadi. Sementara itu, nilai konduktivitas air hujan di Sorong selama tahun 2022 mengalami fluktuasi, dengan nilai rata-rata konduktivitas air hujan sebesar 6,9 µS/cm. Kemudian analisis konsentrasi Ion Mineral menunjukkan kandungan kimia yang ada pada air hujan di Kota Sorong yang didominasi oleh Ion Klorida, Ion Sulfat, Ion Kalium dan Ion Natrium, dimana jumlah anion (SO₄²⁻, NO₃⁻ dan Cl⁻) menyumbang 59% dari total ion yang ada dalam air hujan, dan kation (NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, dan Ca²⁺) menyumbang sebesar 41%.



Pengamatan deposisi kering berupa pengukuran SPM di Kota Sorong selama Januari hingga Desember 2022 menunjukkan konsentrasi SPM harian berada pada rentang 8,63 - 96,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serta konsentrasi rata-rata tahunan SPM selama tahun 2022 terukur sebesar 30,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jika dibandingkan dengan baku mutu udara ambiennya, nilai tersebut masih dibawah nilai ambang batasnya. Selama tahun 2022, konsentrasi rata-rata Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) yang terukur di Kota Sorong sebesar 2,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 2,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kedua nilai tersebut jika dibandingkan dengan baku mutu udaranya masih berada jauh dibawah nilai ambang batasnya.

Hubungan antara parameter curah hujan dengan pH dan konduktivitas menunjukkan korelasi yang lemah dan positif. Begitupun korelasi antara pH dengan konduktivitas tidak memiliki hubungan yang cukup kuat. Sementara itu, pengaruh curah hujan terhadap konsentrasi SPM juga lemah dengan korelasi negatif. Hasil korelasi antara curah hujan dengan SO_2 dan NO_2 menunjukkan korelasi lemah dan positif.

Namun demikian untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh parameter meteorologis terhadap kondisi kualitas udara diperlukan analisis parameter meteorologis lainnya seperti suhu dan kelembaban, arah dan kecepatan angin, serta radiasi matahari.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kepala Lab Penguji KU BMKG Pusat, Bapak Eka Suharguniawan dan Tim Analis Lab di Laboratorium Penguji Kualitas Udara Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika; Ibu Suryanti, Ibu Siti Wulan Khodijah, Bapak M. Syam Nugraha, Yuni Kartika dan M. Rafly.

References

- [1] T. Budiwati, A. Budiyo, W. Setyawati, A. Indrawati, 2010, "Analisis Korelasi Pearson untuk Unsur-Unsur Kimia Air Hujan di Bandung", *Jurnal Sains Dirgantara* Vol.7 No.2 Juni 2010:100-112.
- [2] S. Hastutiningrum, S. Sunarsih, and Imelda, "Biofuel Production from Candlenut Oil Using Catalytic Cracking Process with Zn / H₂Sm-5 Catalyst," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.
- [3] Kementerian Negara Lingkungan Hidup & EANET, 2009, "Deposisi Asam: Apakah Itu, dan Apa Yang Bisa Kita Lakukan Untuk Mengurangnya?"
- [4] S. N. Pandis, and J. H. Seinfeld, 1998, "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change", *A Wiley-Interscience Publication Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc.
- [5] P. C. Mouli. S. V. Mohan, and S. J. reddy, 2004, "Rainwater Chemistry at A Regional Representative Urban Site: Influence of terrestrial Sources on Ionic Composition", *Elsevier: Atmospheric Environment* 39 (2005) 999 – 1008.
- [6] E. Adrian, E. Kurniawan, and S.D.A. Kusumaningtyas, 2014, "Layanan Kualitas Udara dari Hujan Asam Hingga Gas Rumah Kaca", *Penerbit Puslitbang*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- [7] Badan Pusat Statistik, 2023, "Statistik Daerah Kota Sorong Dalam Angka", BPS Kota Sorong.
- [8] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020, "Pemantauan Mutu Udara Ambien Dengan Metode Passive Sampler", <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/pemantauan-mutu-udara-ambien-dengan-metode-passive-sampler/diakses-pada-tanggal-20-Agustus-2023>.
- [9] V. P. Campos, L.P.S. Cruz, R.H.M. Godoi, A.F.L. Godoi, and T.M. Tavares, 2010, "Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO_2 , NO_2 , O_3 and H_2S in tropical areas", *Microchemical Journal* 96 (2010) 132–138.
- [10] F. A. Qosthalani, 2014, "Metode Gravimetri dalam Alat High Volume Air Sampler (HVAS) Sebagai Cara Kuantitatif Mengukur Kualitas Debu dalam Udara", Paper Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- [11] I. Pabalik, N. Ihsan, and M. Arsyad, 2015, "Analisis Fenomena Perubahan Iklim dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrem di Kota Makassar", *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 11(1)



- [12] W. R. Safitri, 2016, “Analisis Korelasi Pearson dalam menentukan Hubungan Antara Kejadian Demam Berdarah Dengue dengan kepadatan Penduduk di Kota Surabaya pada Tahun 2012-2014”, *Journal STIKES Pemkab Jombang*
- [13] S. Siregar, 2013, “Statistik Parametrik untuk Penelitian Kualitatif”, *Bumi Aksara*: Jakarta.
- [14] Sudjana, 2005, “Metoda Statistika”, *Tarsito*, Bandung.
- [15] E. Adrian, and R. D. Susanto, 2003, “Identification of Three Dominant Rainfall Regions Within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature”, *International Journal of Climatology* 23: 1435-1452.
- [16] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2023, “Informasi Meteorologi dan Klimatologi Stasiun Meteorologi Kelas I DEO Sorong”, *Buletin Maladum Meteomaps* Edisi Bulan Juni 2023, BMKG Sorong
- [17] E. Hermawan, 2010, “Pengelompokan pola curah hujan yang terjadi di beberapa kawasan pulau Sumatera berbasis hasil analisis teknik spectral”, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 11(2): 75 – 85.
- [18] R. Muharsyah, 2017, “Kajian Verifikasi Produk Prakiraan Curah Hujan Bulanan (2003-2012)”, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 18(1), 33–44.
- [19] Khairunnas and M. Gusman, 2018, “Analisis Pengaruh Parameter Konduktivitas, Resistivitas dan TDS Terhadap Salinitas Air Tanah Dangkal pada Kondisi Air Laut Pasang dan Air Laut Surut di Daerah Pesisir Pantai Kota Padang”, *Jurnal Bina Tambang*, Vol.3, No.4.
- [20] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, 2023, “Informasi Kimia Air Hujan”, <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-kimia-air-hujan.bmkg/diakses> pada 21 Agustus 2023
- [21] A. Indrawati, D. A. Tanti, Mulyono, and T. Budiwato, 2017, “Pengaruh Parameter Meteorologi Terhadap Deposisi Sulfur Dan Nitrogen”, *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer – PSTA, LAPAN*.
- [22] E. Nurmala, Budiyono, and Suhartono, 2018, “Hubungan Konsentrasi Suspended Particulate Matter (Spm) Udara Ambien Dan Kondisi Cuaca Dengan Angka Kejadian Asma Di Kecamatan Semarang Barat Tahun 2015-2017”, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 6, No. 6.
- [23] Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1999, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara”.
- [24] J. B. Shukla, A. K. Misra, S. Sundar, and R. Naresh, 2008, “Effect of rain on removal of a gaseous pollutant and two different particulate matters from the atmosphere of a city”, *Math. Comput. Model*, 48(5-6): 832- 844.
- [25] K. Belanger, J.F. Gent, E.W. Triche, M.B. Bracken, and B.P. Leaderer, 2006, “Association of Indoor Nitrogen Dioxide Exposure with Respiratory Symptoms in Children with Asthma”, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 173, pp. 297-303.