

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Udara**

##### **A.1. Pengertian Udara**

Udara adalah campuran beberapa gas yang ada di permukaan bumi dan mengelilingi bumi. Udara merupakan salah satu sumber daya alam yang penting bagi kehidupan makhluk hidup di bumi. Udara terdiri dari beberapa campuran gas seperti oksigen, karbondioksida dan ozon. Udara yang bersih memiliki beberapa ciri seperti tidak berwarna, tidak berbau, tidak dapat dilihat oleh mata serta tidak ada rasa (Yusuf *et al.*, 2023).

Udara merupakan campuran mekanis dari bermacam-macam gas. Komposisi udara normal terdiri atas gas nitrogen 78,1 %, oksigen 20,93 %, dan karbon dioksida 0,03 %, sementara selebihnya berupa gas argon, neon, kripton, xenon dan helium. Udara juga mengandung uap air, debu, bakteri, spora dan sisa tumbuh-tumbuhan (Sebayang, 2017).

##### **A.2. Polusi Udara**

Polusi udara adalah pencemaran lingkungan yang terkontaminasi dengan zat, energi, organisme kehidupan, atau unsur lain yang ada di udara akibat aktivitas manusia atau alami, sehingga kualitas udara memburuk sampai batas tertentu sehingga membuat udara menjadi menurun kualitasnya (Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, 2020).

Polusi udara dapat dihasilkan dari sumber penghasil secara langsung (polutan primer) atau dapat juga merupakan bentuk/ wujud dari reaksi kimia di atmosfer (polutan sekunder). Ketika konsentrasi substansi- substansi kimia ini mencapai level yang kritis di udara, maka akan berbahaya bagi manusia, hewan, tanaman dan ekosistem, mengurangi visibilitas, dan merusak material bangunan dan warisan situs-situs budaya.

### **A.3 Udara Dalam Ruangan (*Indoor Air Quality*)**

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality, IAQ*) adalah kualitas udara di dalam dan di sekitar bangunan yang berkaitan dengan kesehatan dan kenyamanan penghuninya. Merujuk pada kualitas udara yang terdapat di dalam bangunan atau struktur, seperti rumah, kantor, sekolah, dan fasilitas umum lainnya. Kualitas udara dalam ruangan sangat penting karena sebagian besar orang menghabiskan sebagian besar waktu mereka di dalam ruangan. Udara dalam ruangan terdiri dari berbagai komponen seperti oksigen (O<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), uap air dan partikel halus seperti debu.

Sumber penyebab polusi udara dalam ruangan berhubungan dengan bangunan itu sendiri, perlengkapan dalam bangunan (karpas, AC, dan sebagainya), kondisi bangunan, suhu, kelembaban, pertukaran udara, dan hal-hal yang berhubungan dengan perilaku orang-orang yang berada di dalam ruangan, misalnya merokok. (Ditinjau *et al.*, 2008).

### **A.4. Dispersi Polutan**

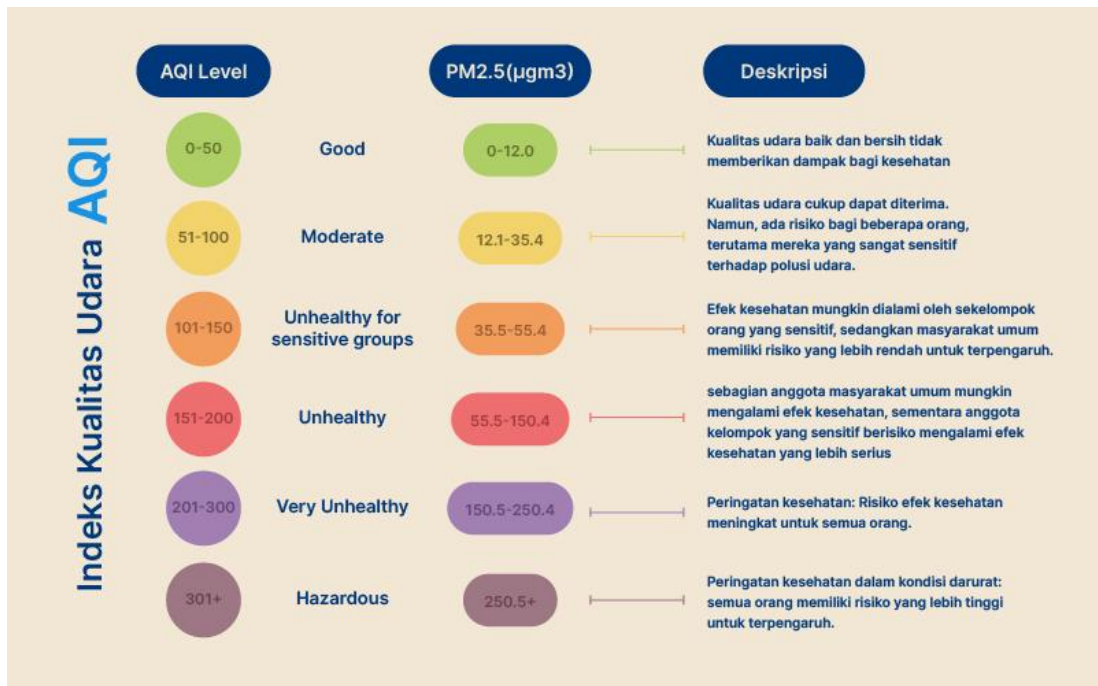
Dispersi adalah salah satu mekanisme yang dapat menyebabkan polutan atau bahan tertentu menyebar. Dispersi atau difusi adalah penyebaran polutan di udara karena adanya perbedaan atau perubahan konsentrasi (Anzira and Ahmad, 2020). Dispersi polutan adalah proses dimana polutan mengalir secara terus menerus terlepas dari sumbernya dan dihembuskan ke atmosfer terbuka oleh angin yang stabil, aliran polutan berputar ke bawah dan terus bergerak sesuai arah rata-rata angin menyebarkan konsentrasi polutan dan membawa polutan jauh dari sumbernya (Abidin & Hasibuan, 2019).

Dispersi polutan dipengaruhi oleh angin (arah dan kecepatan), yang mempengaruhi arah dan tingkat konsentrasi polutan di daerah tersebut. Arah angin menentukan arah area paparan, sedangkan kecepatan angin menentukan seberapa jauh polutan dibawa sepanjang arah angin yang berlaku. Faktor-faktor meteorologi ini saling berhubungan. Temperatur

yang tinggi menyebabkan udara mengembang dengan cepat, menyebabkan ketidakstabilan udara (Ana Turyanti, 2011).

#### **A.5. Indeks Air Quality atau *Air Quality Index (AQI)***

*Indeks Kualitas Udara* atau *Air Quality Index (AQI)* merupakan sistem pengukuran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat pencemaran udara di suatu wilayah dalam bentuk angka yang mudah dipahami oleh masyarakat. Meskipun konsep dasarnya serupa, setiap negara menerapkan standar pengukuran dan klasifikasi indeks yang berbeda sesuai dengan kebijakan lingkungan dan parameter pencemar yang dominan di wilayahnya. Di Indonesia, sistem yang digunakan disebut ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara), yang pengaturannya didasarkan pada Keputusan Kepala Bapedal Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997. Negara lain juga memiliki sistem pengukuran tersendiri, seperti *AQI (Air Quality Index)* di Tiongkok, *PSI (Pollutant Standards Index)* di Singapura, *CSI (Comprehensive Air Quality Index)* di Korea Selatan, *APB (Air Pollutant Banding)* di Inggris, serta *CAQI (Common Air Quality Index)* yang digunakan di sejumlah negara Eropa. Masing-masing sistem tersebut dikelola oleh lembaga atau badan pemerintah yang bertanggung jawab dalam pemantauan dan pengendalian pencemaran udara. Perbedaan standar ini mencerminkan pendekatan lokal dalam menilai dampak kualitas udara terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup.



Gambar 2. 1. Indeks Air Quality atau Air Quality Index (AQI)

## B. Partikulat PM<sub>2,5</sub>

### B.1. Pengertian Partikulat PM<sub>2,5</sub>

PM<sub>2,5</sub> adalah campuran partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara dengan diameter kurang dari 2,5 µm. Konstituen kimia utama PM<sub>2,5</sub> termasuk nitrat (NO<sub>3</sub>), sulfat (SO<sub>4</sub>), amonium (NH<sub>4</sub>), karbon organik (OC), dan karbon hitam (BC). Mereka dapat dipancarkan secara langsung atau diproduksi secara kimiawi di udara oleh reaksi prekursornya seperti nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan amonia (NH<sub>3</sub>), yang dipancarkan dari sumber antropogenik dan alami. PM<sub>2,5</sub> bisa bertahan sehari-hari hingga berminggu-minggu dan bahkan dapat diangkut sejauh lebih dari seratus atau ribuan kilometer, melintasi batas-batas wilayah, negara, dan bahkan benua. (Choi *et al.*, 2019)

### B.2. Dampak Partikulat PM<sub>2,5</sub>

*Partikulat Matter* (PM) partikulat dengan ukuran kurang dari 2,5 mikrometer, yang dikenal sebagai PM<sub>2,5</sub>, adalah salah satu bentuk

pencemar udara yang memiliki urgensi besar dalam konteks kesehatan dan lingkungan.  $PM_{2.5}$  adalah penyebab masalah-masalah kesehatan seperti penyakit kardiovaskular, ISPA, gangguan pada paru-paru dan jantung, dan bahkan kematian. Di banyak negara, termasuk Indonesia, pencemaran udara semakin menjadi masalah yang mendesak, dan pendidikan awal tentang bahaya  $PM_{2.5}$  menjadi langkah krusial untuk melibatkan masyarakat dalam upaya perlindungan lingkungan. (Yuwanda, Budiatama and Yusuf, 2024).

### **B.3. Metodologi Pengukuran $PM_{2.5}$**

#### **C.2.1 Data Real-Time**

Metode data *real-time* adalah proses pemantauan konsentrasi partikel  $PM_{2.5}$  di udara secara langsung dan terus-menerus. Metode ini menggunakan alat pengukur yang dilengkapi dengan teknologi sensor canggih untuk memberikan data yang akurat dan terkini mengenai kualitas udara. Dengan pengukuran *real-time*, informasi tentang tingkat polusi udara dapat diperoleh dengan cepat, memungkinkan individu, pemerintah, dan organisasi untuk mengambil tindakan yang tepat dalam menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan.

*Beta Attenuation Monitor* (BAM) merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengukur konsentrasi partikulat udara (PM), khususnya yang berfokus pada  $PM_{2.5}$  dan  $PM_{10}$ . Metode pengukuran BAM didasarkan pada prinsip *beta attenuation*, yang melibatkan atenuasi (pengurangan) radiasi beta saat melewati filter yang berisi partikulat.

Metode BAM menyediakan pengukuran konsentrasi  $PM_{2.5}$  secara terus-menerus dan *real-time*, sehingga memungkinkan ketersediaan data yang hampir seketika. Metode ini digunakan secara luas dan diakui sebagai metode standar untuk pemantauan kepatuhan regulasi dan tujuan penelitian.

### **C.2.2 Sensor Optik**

Metode optik adalah metode yang memanfaatkan hamburan cahaya sebagai prinsip pengukurannya.. Sejalan ini berbagai penelitian tentang sensor optik telah dikembangkan untuk mendeteksi uap-uap kimia berbahaya, prinsip dan konfigurasinya sangat variatif, diantaranya berbasis serat optik. Pengembangan sensor uap kimia berbasis serat optik memiliki kelebihan diantaranya pengukuran (pendeteksian) dapat dilakukan pada jarak jauh (remote), real-time, in-situ, serta yang paling penting adalah sinyal optik yang digunakan tidak terganggu oleh medan elektromagnet sehingga noise lebih rendah (Maddu, Sardy and Zain, 2008)

### **B.4.1 Gravimetri**

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi PM yaitu metode gravimetri. Metode ini memanfaatkan perubahan berat pada filter sebelum dan sesudah adanya PM yang masuk. (Negoro, Chandra and Handayani, 2020).

Analisis gravimetri adalah proses isolasi dan pengukuran berat suatu unsur atau senyawa tertentu. Bagian terbesar dari penentuan secara analisis gravimetri meliputi transformasi unsur atau radikal ke senyawa murni stabil yang dapat segera diubah menjadi bentuk yang dapat ditimbang dengan teliti. Metode gravimetri memakan waktu cukup lama, adanya pengotor pada zat konstituen dapat diuji dan bila perlu faktor-faktor koreksi dapat digunakan (Amborowati, 2009).

Analisis gravimetri adalah suatu cara analisis kuantitatif dengan penimbangan berat zat setelah diperlukan sedemikian rupa sehingga zat tersebut diketahui beratnya dengan pasti dan berada dalam keadaan stabil. Komponen yang akan ditentukan diubah menjadi suatu endapan yang stabil dan selanjutnya dapat diubah menjadi bentuk senyawa yang mudah untuk ditimbang. Penentuan suatu zat dengan gravimetri umumnya dilakukan dengan reaksi kimia (Nurfiah, 2013).

## **C. Pengendalian dan Manajemen Kualitas Udara**

### **C.1 Alat *Low-Cost Sensor***

*Low Cost Sensor (LCS)* adalah sebuah alat atau sebuah sensor untuk mengukur kualitas udara yang memiliki biaya relatif rendah dibandingkan dengan sensor lainnya tetapi tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari alat atau sensor yang memiliki harga lebih tinggi.

Kesadaran akan masalah terkait AQ telah berkembang seiring dengan kemajuan teknologi yang pesat, yang telah berevolusi untuk menawarkan sensor *Low-cost sensor* dan sistem sensor yang mampu memuaskan minat warga, yang menuntut informasi daring dan waktu nyata mengenai polusi udara, sebagai bagian dari ekosistem digital mereka. Permintaan ini sejalan dengan karakteristik *Low-cost sensor*, yang dapat menyediakan data polusi spasiotemporal dengan kepadatan tinggi, yang memotivasi penyebarannya yang cepat selama beberapa tahun terakhir. Masih belum ada definisi *Low-cost sensor* yang disepakati secara universal. (García *et al.*, 2022)

*Low-cost sensor* biasanya menggunakan komponen yang lebih murah dan teknologi yang lebih sederhana dibandingkan dengan sensor premium. Meskipun murah, sensor ini sering kali mampu menyediakan data yang cukup akurat untuk aplikasi tertentu, tetapi *Low-cost sensor* seringkali menghadapi masalah dalam hal akurasi dan keandalan dibandingkan dengan sensor yang lebih mahal. Akibatnya, aplikasi sensor murah biasanya dirancang untuk lingkungan atau penggunaan di mana beberapa level ketidakakuratan dapat ditoleransi. (Alamsyah *et al.*, 2024)

### **C.2 Ventilasi dan Pembersih Udara**

#### **C.2.1 Ventilasi**

Keberadaan jendela sebagai ventilasi sangat penting untuk mempertahankan kualitas udara di dalam ruangan. Ventilasi sebagai media sirkulasi udara, dalam kondisi ideal ventilasi dapat menjamin kondisi udara bersih dalam ruangan. Polusi udara dalam ruangan dapat berasal

dari polusi luar ruangan, kendaraan bermotor dapat mempengaruhi kualitas udara rumah tinggal yang bermukim di dekat jalan raya. Melalui ventilasi, ruangan dalam rumah bisa menjadi reseptor campuran polutan luar ruangan, terutama berasal dari lalu lintas kendaraan dan aktivitas industri (Mfarrej et al., 2020). Pencemaran udara dalam ruangan juga dapat disebabkan oleh pembakaran kayu, tembakau atau lilin, aktivitas yang dilakukan di rumah seperti merokok, emisi dari perabotan rumah, pemanasan, penggunaan pendingin ruangan, serta produk pembersih rumah (Zenissa et al., 2020). Asap dari pembakaran kegiatan memasak dan merokok memainkan peran penting dalam peningkatan konsentrasi PM dalam rumah (Nagar et al., 2018). Aktivitas memasak menyebabkan kualitas udara ruangan lebih buruk, aktivitas ini dapat meningkatkan konsentrasi semua polutan, meskipun peningkatannya tidak seragam. Peningkatan konsentrasi NO<sub>2</sub> dan PM secara signifikan akibat aktivitas memasak (Syafei et al., 2020).

### **C.2.2 Pembersih Udara**

Kontrol kualitas udara dalam ruangan merupakan metode yang penting dan efektif untuk mengurangi paparan PM<sub>2.5</sub>. Filter udara partikulat efisiensi tinggi (HEPA) adalah jenis filter udara media berserat yang secara efektif menghilangkan  $\geq 99,97\%$  partikel halus 0,3  $\mu\text{m}$  dari udara. Secara teoritis, filter HEPA portabel adalah metode yang ideal dan efektif untuk mengurangi tingkat PM<sub>2.5</sub> dalam ruangan dan meningkatkan kualitas udara. Namun, penelitian sebelumnya telah menunjukkan kemanjuran variabel pembersih udara HEPA portabel dalam mengurangi PM<sub>2.5</sub> dalam ruangan (29–66%) (Barn et al., 2018; Bennett, D.H et al, 2022). Variasi yang cukup besar ini merupakan peringatan bahwa kemanjuran pembersih udara HEPA dapat sangat terganggu oleh faktor-faktor tertentu. Telah dilaporkan bahwa frekuensi pembukaan jendela yang lebih tinggi dikaitkan dengan kemanjuran pembersih udara yang lebih buruk (Barn et al., 2018; Bennett, D.H et al, 2022). Waktu penggunaan pembersih udara (dengan kata lain: kepatuhan) juga merupakan masalah yang jelas mempengaruhi



kemanjuran pembersih udara (Bennett, D.H et al, 2022). Pola penggunaan pembersih udara dan kondisi filter HEPA (baru vs. lama) adalah faktor lain yang memerlukan studi lebih lanjut (Barn et al., 2018; Riederer et al., 2021). Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami bertujuan untuk mengevaluasi kemanjuran dunia nyata dari pembersih udara HEPA portabel dan menganalisis hubungannya dengan faktor-faktor yang mungkin.

### **C.2.3 AC (*Air Conditioner*)**

AC atau Air Conditioner adalah sebuah alat yang dapat berfungsi mengkondisikan udara dengan cara mengontrol temperatur udara dalam ruang tertentu. AC mengubah keadaan suhu udara panas ke udara yang bersuhu dingin dalam sebuah ruangan sehingga ruangan menjadi lebih nyaman. AC berfungsi tidak hanya untuk menstabilkan suhu dan sirkulasi udara, tetapi juga dapat membersihkan udara dalam ruangan. Dengan adanya filter, AC mampu menangkap partikel debu, alergen, dan polutan, sehingga meningkatkan kualitas udara yang dihirup. Kekurangan dari AC terletak pada penggunaan energi yang boros serta AC yang tidak dirawat dan dibersihkan secara berkala menjadi tempat berkembang biaknya bakteri-bakteri dan bertumpuknya polutan yang dapat mengganggu kesehatan (Amri and Aspin, 2019).

### **C.2.4 Kipas Angin (*FUN*)**

Kipas Angin adalah perangkat yang berfungsi untuk menggerakkan udara di dalam ruangan, sehingga menciptakan sirkulasi udara yang lebih baik. Meskipun Kipas Angin tidak secara langsung membersihkan udara seperti alat penyaring atau AC, tetapi membantu mengurangi kelembapan dan meningkatkan ventilasi. Dengan meningkatkan sirkulasi, Kipas Angin dapat membantu menghilangkan udara stale (udara yang tidak segar) dan mendistribusikan udara segar dari luar, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan sehat. Selain itu, penggunaan Kipas Angin dapat membantu mengurangi konsentrasi partikel debu dan alergen di udara dengan mendorongnya keluar dari area yang terperangkap. Akan tetapi apabila suatu ruangan

tidak memiliki sirkulasi ventilasi udara yang baik akan berbahaya untuk kesehatan karena angin dan partikulat akan berputar di tempat itu saja.

### **C.3 Regulasi dan Standar Kualitas Udara**

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No.14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara bahwasannya di tetapkan nilai ambang batas untuk PM<sub>2,5</sub> adalah 50 µg/m<sup>3</sup> selama 24 jam.

Menurut *World Health Organization* (WHO) tingkat polusi partikulat halus atau PM<sub>2,5</sub> yang dianggap aman bagi manusia untuk bernapas yaitu 25 µg/m<sup>3</sup>.

## **D. Gymnasium**

Menurut (Gerung, Tulenan and Paturusi, 2015) Gymnasium secara harfiah diartikan sebagai tempat latihan kebugaran, untuk melakukan berbagai macam aktivitas dan latihan seperti angkat beban, senam, latihan kardio, dan juga kegiatan olahraga lainnya. Gymnasium merupakan tempat olahraga dalam ruangan yang menawarkan beragam program latihan kebugaran dengan fasilitas dan peralatan yang mutakhir. Beberapa peralatan standar Gymnasium adalah sebagai berikut:

1. Freeweight : Dumbell, Barbell, Weight Plattes, Kettle Bells, Tricep Bar, Medicine Ball, Weighted Bar, Curl bar, dan Adjustable Body Weight.
2. Body Weight Training Stasion : Pull Up Bar, Fitness Bench, Hyper Extension Bench, Sit Up Bench, Swiss Ball, Push Up Grid, Matras, Dip Bar.
3. Weight Training Machine : Abs crunch Machine, Leg press Machine, Chest Press Machine, Squat Hack Machine, Barbell Machine, Shoulder Press Machine, Bicep Curl Machine, Tricep Machine

Pada umumnya, semakin lengkap alat-alat olahraga yang dimiliki maka akan semakin baik pula gym tersebut untuk latihan.

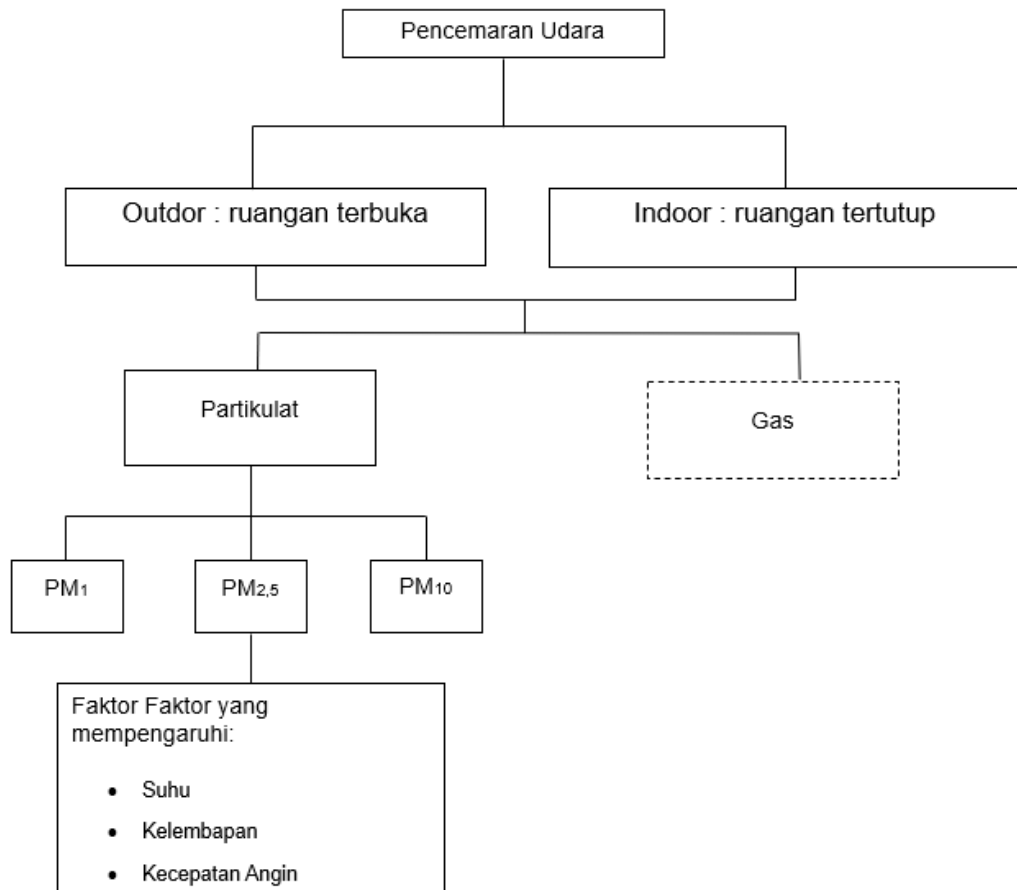
## **E. Faktor faktor yang Mempengaruhi Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> Dalam Ruangan**

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Melinda, 2023), terdapat sejumlah faktor meteorologis yang secara signifikan memengaruhi perubahan kadar PM<sub>2,5</sub> di udara, yaitu suhu, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Ketiga unsur ini memiliki peranan penting dalam menentukan sejauh mana partikel pencemar dapat menyebar atau justru terakumulasi di atmosfer.

Sebagai contoh, ketika suhu udara tercatat sekitar 23,0°C dengan kelembapan relatif mencapai 82%, konsentrasi PM<sub>2,5</sub> mengalami peningkatan hingga 4,5 µg/m<sup>3</sup>. Fenomena ini menunjukkan bahwa kondisi suhu rendah yang disertai kelembapan tinggi dapat menyebabkan partikel halus seperti PM<sub>2,5</sub> bertahan lebih lama di udara, karena udara dingin dan lembap cenderung memperlambat proses peluruhan dan pergerakan polutan.

Sebaliknya, pada suhu yang lebih tinggi yaitu 29,0°C dan kelembapan yang menurun menjadi 70%, kadar PM<sub>2,5</sub> terpantau menurun menjadi 3,5 µg/m<sup>3</sup>. Hal ini mengisyaratkan bahwa suhu panas dan kelembapan rendah menciptakan kondisi atmosfer yang mendukung penguapan dan peningkatan sirkulasi udara. Akibatnya, partikel polutan lebih mudah terdorong keluar dari wilayah tertentu oleh angin atau aliran udara, sehingga konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara cenderung menurun. Dengan demikian, lingkungan yang hangat dan kering secara umum dapat berkontribusi terhadap penurunan jumlah partikel halus di udara ambien.

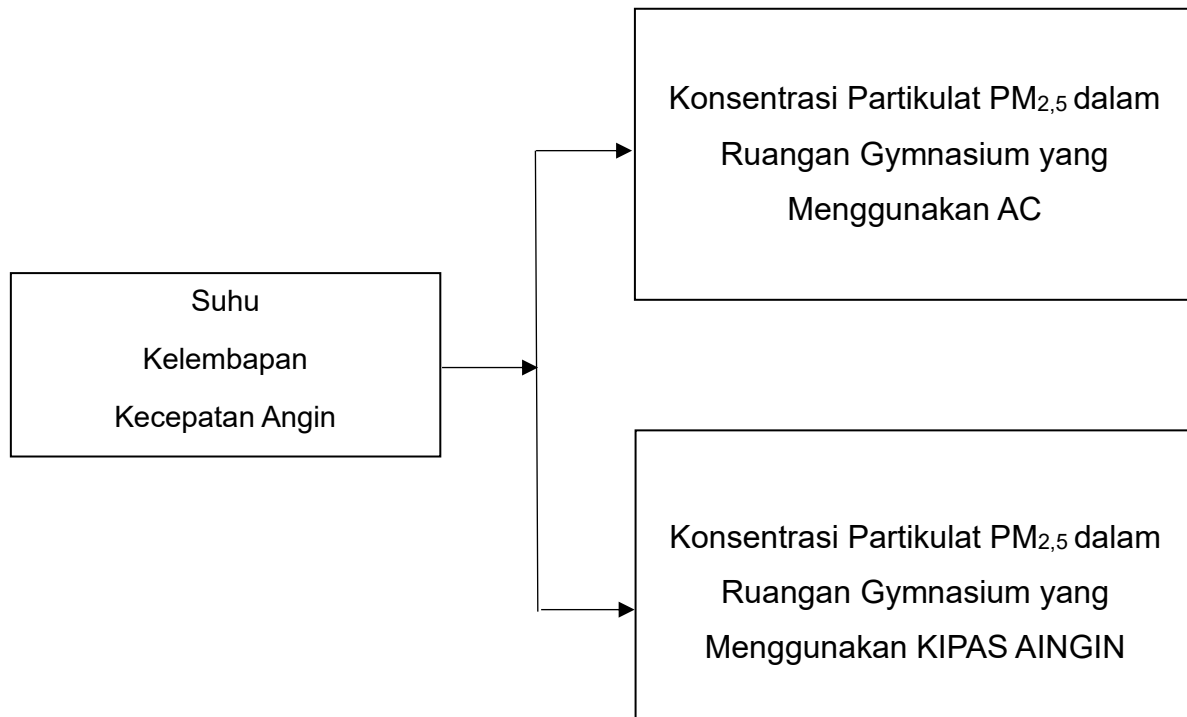
## F. Kerangka Teori



*Sumber: Manisalidis et al.,(2020) dan Zhang et al., (2015)*

**Gambar 2. 2. Kerangka Teori**

## G. Kerangka Konsep



Gambar 2. 3. Kerangka Konsep

## H. Defenisi Operasional

Tabel 2. 1. Defenisi Operasional

No	Variabel	Defenisi Operasional	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
1.	PM <sub>2,5</sub>	Partikel halus yang ada di udara yang berdiameter kurang dari atau sama dengan 2,5 mikrometer	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	Konsentrasi masa 5 µg/m <sup>3</sup> (WHO, 2021)	Ratio
2.	<i>Low-Cost Sensor</i>	Alat pengukuran PM <sub>2,5</sub>	GYM	µg/m <sup>3</sup>	Ratio
3.	Ruang Gymnasium	Ruang olahraga	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	µg/m <sup>3</sup>	Ratio
4.	Waktu Pengukuran	Lamanya waktu yang diperlukan untuk penguku	Stopwatch	Jam	Ratio
5.	Gymnasium memakai AC	Gymnasium yang menggunakan AC	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	µg/m <sup>3</sup>	Ratio
6.	Gymnasium memakai Kipas Angin	Gymnasium yang menggunakan Kipas Angin	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	µg/m <sup>3</sup>	Ratio
7.	Suhu	Derajat panas atau dingin suatu lingkungan	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	%°C	Ratio
8.	Kelembapan	Kandungan uap air di udara	<i>Low-Cost Sensor (PurpleAir)</i>	%	Ratio
9.	Kecepatan Angin	Laju Pergerakan udara	Anemometer	m/s	Ratio

---

10.	Ada Aktivitas	Kegiatan fisik yang dilakukan	Observasi	Ada aktivitas: 1	Nominal
11.	Tidak Ada Aktivitas	Tidak ada kegiatan fisik yang dilakukan	Observasi	Ada aktivitas: 2	Nominal

---