

II. LANDASAN TEORI

2.1 Parameter udara dalam ruangan

Kualitas udara di dalam ruangan dapat diukur melalui beberapa parameter yang dipengaruhi oleh tiga aspek utama. Pertama, kualitas fisik, yang meliputi partikulat (seperti *Particulate matter* (PM) 2.5 dan *Particulate matter* (PM) 10), suhu udara, pencahayaan, kelembapan, serta pengaturan dan pertukaran udara. Kedua, kualitas kimia, yang mencakup konsentrasi sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), karbondioksida (CO₂), timbal (Pb), asap rokok atau *Environmental Tobacco Smoke* (ETS), asbes, *formaldehida* (HCHO), dan senyawa organik volatil atau *Volatile Organic Compounds* (VOC). Ketiga, kualitas biologi, yang meliputi keberadaan bakteri dan jamur. Semua aspek ini sangat memengaruhi kesehatan penghuni ruangan, sebagaimana diatur oleh Kementerian Kesehatan (Kencasari, et al, 2020).

Peraturan terkait kualitas udara dalam ruangan tercantum dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (2011) tentang Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. Dalam peraturan tersebut, terdapat persyaratan kualitas udara dalam ruangan yang meliputi suhu udara antara 18-30 °C, kelembapan relatif (RH) sebesar 40-60%, serta konsentrasi bakteri dan jamur yang tidak boleh melebihi 700 CFU/m³. Tingkat pencemaran udara di dalam ruangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti laju ventilasi, jumlah penghuni, serta sifat dan intensitas aktivitas yang dilakukan oleh penghuni ruangan. Selain itu, keberadaan mikroorganisme udara dalam ruangan juga sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan kelembapan udara, yang menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas udara yang sehat (Astuti, et al, 2022).

Salah satu parameter pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 adalah *particulate matter* (PM) atau debu partikulat, yang dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu *Particulate matter* (PM) 2.5 dan *Particulate matter* (PM) 10. *Particulate matter* (PM) merupakan salah satu bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ada di udara dengan ukuran yang sangat kecil. Jenis partikulat yang paling banyak diteliti saat ini adalah *Particulate matter* (PM) 2.5, karena ukurannya yang sangat kecil (<2,5 µm) memungkinkan partikel ini menembus hingga ke bagian terdalam paru-paru, dan beberapa kandungan dalam partikel ini dapat beredar dalam aliran darah, menyebabkan berbagai dampak kesehatan (Sembiring, 2020).

2.2 *Particulat Metter* (PM) 25

Salah satu polutan udara yang berdampak besar terhadap kesehatan adalah *Particulate Matter* (PM). *Particulate Matter* (PM) dianggap lebih berbahaya bagi kesehatan manusia dibandingkan dengan ozon permukaan atau polutan lain seperti karbon monoksida (Akmal dan Carolina, 2023). *Particulate Matter* (PM) 2.5 sangat berbahaya karena apabila terhirup, tidak dapat disaring oleh sistem pernapasan bagian atas dan akan menembus hingga bagian terdalam paru-paru. Perhatian khusus perlu diberikan pada *Particulate Matter* (PM) 2.5, karena selain berdampak pada jarak pandang (visibilitas), partikel ini juga berisiko tinggi terhadap kesehatan manusia, terutama dalam hal gangguan pernapasan dan penyakit paru-paru lainnya (Hutauruk, et, al, 2020).

Kontributor utama konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 berasal dari penggunaan energi dan pembakaran biomassa. Di wilayah perkotaan, sumber utama *Particulate Matter* (PM) 2.5 adalah emisi gas buang kendaraan bermotor, kegiatan industri, dan peningkatan penggunaan energi yang diakibatkan oleh urbanisasi. Menurut laporan WHO (2003), peningkatan konsentrasi PM tidak hanya berdampak negatif pada kondisi lingkungan, tetapi juga memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap kesehatan manusia. Penelitian menunjukkan bahwa paparan *Particulate Matter* (PM) 2.5 berhubungan dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit pernapasan, asma, dan gangguan paru-paru lainnya (Melinda dan Nuryanto, 2023).

Pemerintah Republik Indonesia, melalui Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999, menetapkan nilai ambang batas *Particulate Matter* (PM) 2.5 di udara ambien sebesar $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata per 24 jam)(Arba, 2019). Kondisi lingkungan luar ruangan turut mempengaruhi peningkatan konsentrasi polutan udara di dalam rumah. Kendaraan yang sering melintas di depan rumah atau di sekitar permukiman menjadi salah satu sumber utama polusi udara luar (*outdoor air pollution*), terutama karena polutan yang dihasilkan dari pembakaran mesin kendaraan. Penelitian menunjukkan bahwa jika kadar *Particulate Matter* (PM) 2.5 di udara ambien meningkat sebesar $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maka kadar *Particulate Matter* (PM) 2.5 di dalam ruangan akan meningkat sekitar $0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas lalu lintas kendaraan secara tidak langsung memengaruhi kualitas udara, baik di luar maupun di dalam ruangan, yang pada akhirnya berpotensi membahayakan kesehatan penghuni rumah (Rahim dan Camin, 2018).

2.3 Direct reading

Menurut (Jumingin, et, al, 2022) *Direct Reading* adalah data yang ditampilkan pada alat pengukur dianggap sebagai hasil pengukuran yang sebenarnya. Metode ini memberikan informasi langsung mengenai konsentrasi

polutan atau parameter yang diukur, tanpa perlu proses perhitungan atau estimasi tambahan. Keakuratan dan keandalan data yang dihasilkan bergantung pada kalibrasi dan kondisi alat pada saat pengukuran.

Metode Pembacaan Langsung (*Direct Reading Method*) adalah alat yang sangat berguna untuk mendeteksi dan mengukur paparan pekerja terhadap bahaya inhalasi. Metode ini dapat diterapkan dalam berbagai konteks, termasuk pemantauan area, proses, atau pemantauan pribadi. *Direct Reading Method* dapat bersifat non-spesifik, yang artinya dapat mengukur berbagai kontaminan udara, atau spesifik terhadap kontaminan tertentu, tergantung pada jenis detektor yang digunakan. Keunggulan utama metode pembacaan langsung dibandingkan dengan metode konvensional, seperti penggunaan tabung arang, desorpsi termal, atau pengambilan sampel gravimetrik, adalah kemampuannya untuk memberikan hasil langsung di lokasi. Hal ini memungkinkan pengukuran yang lebih cepat dan lebih efisien, tanpa perlu menyimpan atau mengirimkan sampel untuk dianalisis lebih lanjut. Dengan demikian, DRM mempermudah pemantauan real-time yang penting dalam melindungi kesehatan pekerja dan memastikan kondisi lingkungan kerja yang aman (Coffey dan Pearce, 2010).

2.4 Dust Sampler

Dust sampler adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikulat di udara (seperti *Particulate Matter* (PM) 10 atau *Particulate Matter* (PM) 2.5) berdasarkan metode pengambilan sampel udara melalui filter. *Personal Dust Sampler* adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi *Respirable Dust* (RD) di udara, yaitu partikel debu yang dapat masuk melewati filter bulu hidung manusia saat bernapas. Dengan tingkat aliran udara (*flow rate*) sebesar 2 liter per menit, alat ini mampu menangkap debu berukuran kurang dari 10 mikron. Karena ukurannya yang kecil dan portabel, alat ini biasanya digunakan di lingkungan kerja dan dipasang pada pinggang pekerja untuk memantau kualitas udara secara personal. Udara merupakan kebutuhan vital dalam kehidupan manusia, sehingga menjaga kualitas udara yang baik sangat penting untuk melindungi kesehatan. Ketentuan mengenai kualitas udara telah diatur dalam berbagai undang-undang dan peraturan terkait, untuk memastikan lingkungan yang aman dan sehat (Subarkah et al, 2018).

2.5 Baku Mutu *Particulate Matter* (PM) 2.5 Dalam Ruangan

Pemerintah dalam upaya mencegah pencemaran udara, telah menetapkan peraturan melalui Kementerian Kesehatan yang mengatur pengendalian pencemaran udara di dalam ruangan. Peraturan ini tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 Tahun 2011, yang mengatur

batas-batas konsentrasi zat pencemar yang masih diperbolehkan di dalam ruangan serta jenis-jenis zat pencemar yang diatur. Berikut ini adalah Tabel 1, yang menunjukkan ketetapan pemerintah mengenai baku mutu udara dalam ruangan, sebagai panduan dalam menjaga kualitas udara yang aman dan sehat di dalam ruangan.

Tabel 1. Baku mutu kualitas udara yang aman dalam ruangan

No	Parameter	Waktu Pengukuran (Jam)	Baku Mutu
1	<i>Particulate Matter</i> (PM) 10	24	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	<i>Particulate Matter</i> (PM) 2.5	24	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 Tahun 2011)

Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa batas baku mutu untuk konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dan *Particulate Matter* (PM) 10 telah ditetapkan. Konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 tidak boleh melebihi 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan untuk *Particulate Matter* (PM) 10, batas yang diperbolehkan adalah 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Batasan ini dirancang untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan agar tetap aman dan tidak membahayakan kesehatan manusia (Gunaprawira, et al, 2021).

Penyebab pencemaran udara dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu polutan berbentuk partikel dan polutan berbentuk gas. Partikel pencemar dapat berupa *total suspended particulate* (TSP), yaitu partikel tersuspensi dengan ukuran diameter hingga 100 μm , serta partikel yang lebih kecil, seperti *Particulate Matter* (PM) 10 (partikel dengan diameter kurang dari 10 μm) dan *Particulate Matter* (PM) 2.5 (partikel dengan diameter kurang dari 2.5 μm). Sementara itu, gas pencemar meliputi zat-zat seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), oksidan/ozon permukaan (O_3), dan beberapa gas lainnya yang dapat mencemari udara (Ulaan, et al, 2022).

2.6 Sensor GP2Y1010AU0F

Sensor Debu Optik GP2Y1010AU0F adalah perangkat yang menggunakan teknologi inframerah untuk mendeteksi debu. Sensor ini umumnya digunakan dalam sistem pembersih udara, bertujuan untuk memantau kualitas udara dengan mengukur keberadaan partikel-partikel halus. Cara kerjanya melibatkan deteksi debu atau partikel lain, di mana cahaya dipantulkan ke bagian penerima saat partikel melewati permukaan sensor. Cahaya yang dipantulkan ini kemudian dikonversi menjadi sinyal tegangan oleh photodiode, yang peka terhadap cahaya. Untuk memungkinkan pembacaan perubahan yang terjadi, sinyal tegangan ini perlu diperkuat melalui

rangkaian elektronik. Output dari sensor ini berupa sinyal analog yang berbanding lurus dengan kepadatan debu yang terukur, sehingga sistem dapat memberikan informasi secara real-time mengenai tingkat pencemaran debu di udara. Dengan demikian, sensor ini memainkan peran penting dalam menjaga kualitas udara dan kesehatan lingkungan (Lasmana dan Fitriani, 2020).

Sensor Debu GP2Y1010AU0F memiliki karakteristik yang memungkinkan deteksi debu yang sangat halus serta asap. Sensor ini dirancang untuk mengidentifikasi partikel-partikel kecil, termasuk *Particulate Matter* (PM) 10 dan *Particulate Matter* (PM) 2.5, yang sering kali sulit dideteksi oleh sensor lainnya. Kemampuannya untuk mendeteksi partikel halus dan asap menjadikannya alat yang efektif dalam memantau kualitas udara, terutama di lingkungan dalam ruangan di mana polusi udara dapat menjadi masalah serius (Eteruddin, et, al, 2020).



Gambar 1. Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

(Sumber: Darwis dan Kurniawan, 2021)

Pada Gambar 1. Sensor GP2Y1010AU0F adalah sensor yang banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas udara, khususnya dalam mendeteksi konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5. Sensor ini bekerja dengan mengukur partikel halus di udara menggunakan cahaya inframerah, yang kemudian memberikan keluaran berupa data konsentrasi partikel. Hasil pengukuran ini dimanfaatkan dalam berbagai perangkat pemantau kualitas udara, termasuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang berfokus pada pemantauan kondisi lingkungan dan kesehatan. Sensor GP2Y1010AU0F sangat berguna dalam sistem yang memerlukan informasi real-time terkait kualitas udara, memberikan data yang dapat diakses untuk mendukung upaya menjaga lingkungan yang sehat.

Tabel 2. *Absolute Maximum Rating*

Parameter	Symbol	Rating	Unit
<i>Supply Voltage</i>	V_{CC}	-0.3 to +7	V
<i>Input terminal voltage</i>	V_{LED}	-0.3 to V_{CC}	V

<i>Operating temperature</i>	T_{opr}	-10 to +65	$^{\circ}C$
<i>Soldering temperature</i>	T_{sol}	-20 to +80	$^{\circ}C$

(Sumber: Datasheet GP2Y1010AU0F)

Dari Tabel 2 memiliki *absolute maximum Rating* yang berbeda beda. Dimana terdapat *Supply Voltage*, Input terminal voltage, *operating temperature* dan *Soldering temperature*.

Tabel 3. *Electro-Optical Characteristics*

Parameter	Symbol	Min.	TYP.	Max.	Unit
<i>Sensitivitas</i>	K	0.37	0.5	0.65	$V/(0.1mg/m^3)$
<i>Output Voltage at no dust</i>	V_{OC}	0	0.9	1.5	V
<i>Output Voltage range</i>	V_{OH}	3.4	-	-	V
<i>LED terminal current</i>	I_{LED}	-	10	20	Ma
<i>Consumption current</i>	I_{CC}	-	11	20	mA

(Sumber: Datasheet GP2Y1010AU0F)

Menurut Datasheet GP2Y1010AU0F dimana terdapat beberapa pengaruh terhadap sensor GP2Y1010AU0F sebagai berikut:

1. Pengaruh Kebisingan

Jika sensor ditempatkan dekat sumber kebisingan, seperti pengumpul debu listrik, output sensor dapat terpengaruh oleh interferensi suara yang dihasilkan. Kebisingan pada saluran catu daya juga berpotensi mempengaruhi output sensor. Oleh karena itu, desain sistem harus mempertimbangkan dampak dari kebisingan untuk memastikan akurasi sensor.

2. Pengaruh Getaran

Getaran atau osilasi mekanis dapat mengubah nilai output sensor. Sebelum digunakan, pastikan perangkat diuji dan berfungsi dengan baik dalam kondisi aplikasi yang diinginkan untuk memastikan kestabilan pembacaan sensor.

3. Pengaruh Cahaya Insiden

Paparan cahaya dari luar yang masuk melalui lubang pada bagian cetak sensor dapat memengaruhi outputnya, terutama saat cahaya luar menyusup bersama debu. Untuk menghindari dampak tersebut, pastikan sisi sensor yang terbuka menghadap ke dalam aplikasi, terlindung dari cahaya luar.

2.7 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menetapkan hubungan, dalam kondisi tertentu, antara nilai besaran yang

ditunjukkan oleh alat ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang dipresentasikan oleh bahan ukur atau bahan acuan, dengan nilai terkait yang direalisasikan oleh standar yang sudah ditentukan. Proses kalibrasi ini memastikan bahwa hasil pengukuran yang diperoleh akurat dan konsisten dengan standar yang berlaku. Selain itu, kalibrasi juga bertujuan untuk mengidentifikasi deviasi atau kesalahan dalam pengukuran, sehingga peralatan dapat diatur atau dikoreksi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Hal ini sangat penting untuk menjaga kualitas hasil pengukuran, terutama dalam aplikasi industri, ilmiah, dan lingkungan yang memerlukan tingkat presisi tinggi (Irawan, 2019).

2.8 Karakteristik Statik Sensor

Karakteristik statik menggambarkan sifat-sifat sensor saat efek peralihan (transient effects) telah mencapai kondisi stabil (steady state). Sifat-sifat ini meliputi akurasi, yang menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya; presisi, yang mencerminkan konsistensi pengukuran; resolusi, yang mengukur kemampuan sensor mendeteksi perubahan terkecil; sensitivitas, yang menunjukkan respons output terhadap perubahan input; linearitas, yang menggambarkan hubungan antara input dan output yang mendekati garis lurus; serta histeresis, yang mencerminkan perbedaan respons sensor saat input meningkat dan menurun (Nainggolan, et al, 2024).

Akurasi dalam pengukuran mengacu pada tingkat kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya, menunjukkan seberapa tepat alat atau metode pengukuran tersebut dalam menghasilkan data yang sesuai dengan realitas. Sementara itu, presisi menggambarkan sejauh mana hasil pengukuran dapat diulang dengan konsisten di bawah kondisi yang tidak berubah, yaitu kemampuan menghasilkan hasil yang seragam dalam pengulangan pengukuran (Fitrya, et al, 2017).

Sebuah alat ukur yang baik harus memiliki tingkat akurasi yang tinggi sekaligus menghasilkan presisi yang baik. Hal ini memastikan bahwa hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya sekaligus konsisten saat pengukuran diulang dalam kondisi yang sama. Alat ukur dapat saja menunjukkan presisi yang baik tetapi kurang akurat, atau sebaliknya. Selain akurasi dan presisi, alat ukur juga perlu memiliki sensitivitas yang tinggi. Sensitivitas mengacu pada kemampuan alat untuk merespons perubahan kecil pada sinyal input, sehingga output atau hasil pembacaan alat dapat mengikuti perubahan tersebut secara akurat dan real-time (Pandiagan dan Arkundato, 2018).