

PENYEHATAN UDARA



**Deli Syaputri Risnawati Tanjung, Tiwi Yuniastuti,
Rahmawati, Andi Zulfikar Syaiful, Hairudin La Patilaiaya,
Samuel Marganda Halomoan Manalu, Th Teddy Bambang S,
Sri Ayu M.U Buamona, Bambang Suhartawan**

PENYEKATAN UDARA

**Deli Syaputri
Risnawati Tanjung
Tiwi Yuniastuti
Rahmawati
Andi Zulfikar Syaiful
Hairudin La Patilaiaya
Samuel Marganda Halomoan Manalu
Th Teddy Bambang S
Sri Ayu M.U Buamona
Bambang Suhartawan**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

PENYEHDATAN UDARA

Penulis :

Deli Syaputri
Risnawati Tanjung
Tiwi Yuniastuti
Rahmawati
Andi Zulfikar Syaiful
Hairudin La Patilaiaya
Samuel Marganda Halomoan Manalu
Th Teddy Bambang S
Sri Ayu M.U Buamona
Bambang Suhartawan

ISBN : 978-623-198-095-3

Editor : Mila Sari, S.Tr.Kes

Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes.

Penyunting : Aulia Syaharani, S.Tr.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tangah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Februari 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Penyehatan Udara ini.

Buku ini membahas Konsep Dasar Udara, Parameter Fisik Udara, Mikroba Udara, Standar Kualitas Udara, Teknik Pengendalian Kualitas Udara, Penyakit Yang Berhubungan Dengan Udara, Parameter Fisik Udara, Pengukuran Dan Penentuan Kualitas Kimia Udara, Penggunaan Alat Pelindung Diri Untuk Proteksi Cemaran Udara, Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 KONSEP DASAR UDARA	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Konsep Dasar Udara.....	2
1.2.1 Biosfer	2
1.2.2 Atmosfer	3
1.3 Peranan Udara Bagi Kehidupan	8
1.3.1 Manfaat dan Fungsi Udara	9
1.3.2 Sifat – Sifat Udara.....	10
DAFTAR PUSTAKA.....	13
BAB 2 PARAMETER FISIK UDARA.....	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Parameter Fisik.....	16
2.3 Prinsip Pengendalian Pencemaran	28
DAFTAR PUSTAKA.....	30
BAB 3 MIKROBA UDARA.....	31
3.1 Pendahuluan.....	31
3.2 Mikroba udara	32
3.3 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba udara	33
3.4 Parameter mikroba udara	36
3.5 Pengambilan sampel mikroba udara	36
3.5.1 Teknik pengambilan sampel mikroba udara	36
3.5.2 Penentuan lokasi pengambilan sampel udara ambien	37
3.5.3 Titik pengambilan contoh uji (<i>sampling point</i>)	39
3.6 Metode penghitungan mikroba udara.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	43

BAB 4 STANDAR KUALITAS UDARA.....	45
4.1 Pendahuluan.....	45
4.2 Kualitas Udara Ambien.....	47
4.3 Baku Mutu Udara Ambien	50
4.4 Indeks Standar Pencemar Udara	51
4.5 Baku Mutu Udara Emisi	58
4.6 Parameter Kualitas Udara.....	64
4.7 Kualitas Udara Dalam Ruangan.....	70
4.8 Pencemaran Kualitas Udara Ambien	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
BAB 5 TEKNIK PENGENDALIAN KUALITAS UDARA	79
5.1 Pendahuluan.....	79
5.2 Teknik Pengendalian Partikulat.....	81
5.2.1 Siklon (<i>Cyclone</i>)	82
5.2.2 Wet Scrubber	84
5.2.3 Presipitasi Elektrostatis (<i>Elektrostatic Presipitation</i>).....	86
5.2.4 Fabric Filter.....	89
5.3 Teknik Pengendalian Gas	91
5.3.1 Absorpsi (Absorption).....	92
5.3.2 Desulfurisasi Gas Buang	95
5.3.3 Adsorpsi (<i>Adsorption</i>).....	97
5.3.4 Insenerasi (<i>Inceneration</i>).....	99
5.3.5 Kondensasi (<i>Condensation</i>)	100
5.3.6 Penyerapan Karbon (<i>Carbon Sequestration</i>).....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105
BAB 6 PENYAKIT YANG BERHUBUNGAN DENGAN UDARA	107
6.1 Pendahuluan.....	107
6.2 Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan.....	108
6.3 Sumber Pencemaran Udara.....	112
6.4 Penyebab Polusi Udara.....	112
6.5 Penyebab Penyakit Akibat Polusi Udara	114
6.6 Penyakit Yang Disebabkan Oleh Polusi udara	114

6.7 Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran udara	118
DAFTAR PUSTAKA.....	120
BAB 7 PARAMETER FISIK UDARA.....	121
7.1 Suhu.....	121
7.1.1 Definisi.....	121
7.1.2 Dampak	121
7.1.3 Cara Pengukuran	123
7.1.4 Nilai Ambang Batas	123
7.1.5 Indeks Standar Basah dan Bola (ISBB)	126
7.2 Kelembapan	129
7.2.1 Definisi.....	129
7.2.2 Dampak	129
7.2.3 Cara pengukuran	130
7.2.4 Nilai Ambang Batas	131
7.3 Pecahayaaa.....	132
7.3.1 Definisi.....	132
7.3.2 Dampak	133
7.3.3 Cara pengukuran	133
7.3.4 Nilai Ambang Batas	134
7.4 Kebisingan	136
7.4.1 Pemahaman	136
7.4.2 Dampak	137
7.4.3 Cara Pengukuran	139
7.4.4 Nilai Ambang Batas	141
7.5 Kecepatan Angin/Laju Ventilasi.....	144
7.5.1 Definisi.....	144
7.5.2 Dampak	145
7.5.3 Cara Pengukuran	146
7.5.4 Nilai Ambang Batas	147
DAFTAR PUSTAKA.....	148
BAB 8 PENGUKURAN DAN PENENTUAN KUALITAS KIMIA UDARA.....	149
8.1 Definisi Kualitas Udara	149

8.2 Karakteristik Kimia Udara Bersih	149
8.3 Pencemaran Udara	151
8.4 Sumber Pencemar Udara	152
8.5 Jenis Bahan Pencemar Udara.....	155
8.6 Pengukuran Kualitas Kimia Udara.....	156
8.6.1 Konsep Pengambilan Sampel	156
8.6.2 Teknik Pengambilan Sampel	160
DAFTAR PUSTAKA.....	165
BAB 9 PENGGUNAAN ALAT PELINDUNG	
DIRI UNTUK PROTEKSI CEMARAN UDARA	167
9.1 Pendahuluan.....	167
9.2 Proteksi Cemaran Udara	171
9.2.1 Alat Pelindung Diri untuk Proteksi Cemaran Udara.....	173
9.2.2 Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan	176
DAFTAR PUSTAKA.....	178
BAB 10 INDEKS STANDAR PENCEMARAN	
UDARA (ISPU)	180
10.1 Pendahuluan.....	180
10.2 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).....	181
10.2.1 Pengertian Indeks Standar Pencemaran Udara.....	181
10.2.2 Parameter dasar Indeks Standar Pencemaran Udara	181
10.2.3 Rentang nilai, kategori dan simbol warna ISPU.....	182
10.2.4 Batas Indeks Standar Pencemaran Udara	184
10.2.6 Perhitungan Indeks Standar Pencemaran Udara	188
DAFTAR PUSTAKA.....	193
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Lapisan Atmosfer Bumi	4
Gambar 5.1 : Siklon.....	83
Gambar 5.2 : <i>Wet Scrubber</i>	85
Gambar 5.3 : Presipitator Elektrostatis.....	88
Gambar 5.4 : Fabric Filter Baghouse	90
Gambar 5.4 : Fabric Filter Baghouse	93
Gambar 5.6 : <i>Flue Gas Desulfurization (FGD)</i>	96
Gambar 5.7 : <i>Fixed Bed Adsorber</i>	98
Gambar 5.8 : <i>Spray Condenser</i>	102
Gambar 5.9 : <i>Shell and Tube Condenser</i>	103
Gambar 6.1 : Pencemaran Udara	108
Gambar 6.2: Dampak Pencemaran Udara.....	109
Gambar 7.1 : Termometer	123
Gambar 7.2 : Peralatan untuk Pengukuran ISBB	125
Gambar 7.3 : Psychrometer	130
Gambar 7.4 : luxmeter	133
Gambar 7.5 : Sound Level Meter	140
Gambar 7.6 : Anemometer	145
Gambar 9.1 : Peralatan untuk Perlindungan Pernapasan.....	175

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 : Komposisi gas –gas di Udara Kering dan Bersih	8
Tabel 4.1 : Parameer Baku Mutu Udara Ambien	51
Tabel 4.2 Kategori Angka Rentang ISPU	52
Tabel 4.3 : Periode Pengukuran Rerata Parameter ISPU	55
Tabel 4.4 : Pengaruh ISPU untuk Setiap Parameter Pencemar	56
Tabel 4.5 : Batas Indeks standar pencemar Udara dalam Satun SI	57
Tabel 4.6 : Baku Mutu Emisi untuk Industri Besi dan Baja	59
Tabel 4.7 : Baku Mutu Emisi Industri Pulp dan Kertas...	60
Tabel 4.8 : Baku Mutu Emisi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Baltubalral.....	62
Tabel 4.9 : Baku Mutu Emisi untuk Industri Semen	62
Tabel 4.10 : Baku Mutu Emisi untuk Jenis Kegiatan Lain	64
Tabel 4.11 : Komposisi Udara Bersih	65
Tabel 4.12 : Persyaratan Minimum Kualitas Udara dan Ruangn Perkantoran.....	71
Tabel 7.1 : Nilai Ambang Batas Suhu Ruangn	124
Tabel 7.2 : Standar Suhu Menurut Fungsi Ruang atau Unit Pada Rumah sakit	124
Tabel 7.3 : ISBB.....	127
Tabel 7.4 : Nilai Ambang Batas Kelembapan Udar Ruangn	130
Tabel 7.5 : Kelembapan Udara Menurut Fungsi Ruangn atau Unit Pada Rumah Sakit.....	131
Tabel 7.6 : panjang gelombang	132
Tabel 7.7 : Nilai Ambang Batas Pencahayaann Ruangn.....	133

Tabel 7.8 : Nilai Ambang Batas Pencahayaan Ruangan atau unit pada Rumah Sakit.....	133
Tabel 7.9 : pencahayaan Zona lalu lintas dan Area Umum dalam Gedung Industri	134
Tabel 7.10 : Nilai Ambang Batas Kebisingan	140
Tabel 7.11 : Standard Kebisingan Ruang Perkantoran.....	141
Tabel 7.12 : Indeks Kebisingan Menurut Ruangan atau Unit Rumah Sakit.....	141
Tabel 7.13 : Nilai Ambang Batas Kebisingan di Tempat Kerja.....	142
Tabel 7.14 : Baku Tingkat Kebisingan	143
Tabel 8.1 : Komposisi gas-gas di Atmosfer	150
Tabel 10.1 : Katagori dan simbol warna ISPU	182
Tabel 10.2 : Katagori ISPU dan tindakan yang dianjurkan.....	183
Tabel 10.3 : Tabel Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU.....	185

BAB 1

KONSEP DASAR UDARA

Oleh Deli Syaputri

1.1 Pendahuluan

Kualitas lingkungan yang sehat merupakan bagian dari kesehatan. Udara merupakan salah satu komponen lingkungan kehidupan yang sangat penting, yang merupakan kebutuhan pokok bagi manusia dan makhluk hidup lainnya untuk mempertahankan kehidupan. Oleh karena itu, kualitasnya harus ditingkatkan untuk menyediakan daya dukung bagi makhluk hidup lebih optimal dan juga meningkatkan derajat kesehatan masyarakat.

Udara memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Untuk bertahan hidup, manusia sangat membutuhkan udara, proses metabolisme dalam tubuh manusia juga tidak dapat berlangsung tanpa oksigen dari udara, tanpa oksigen pada waktu tertentu, sel-sel tubuh dapat mengalami kerusakan permanen, seperti misalnya organ otak hanya bisa bertahan 3 -5 menit kekurangan oksigen, jika lebih dari 5 menit menyebabkan kerusakan sel otak permanen. Normalnya, seseorang membutuhkan 7,5 liter udara per menit saat istirahat, 15 liter per menit saat bekerja normal, dan 45 liter per menit saat bekerja berat. Sehubungan dengan kebutuhan udara, ini berarti 1,57 liter oksigen dikonsumsi per menit selama istirahat dan 3,14 liter selama kerja normal. Udara juga merupakan bagian yang sangat penting dari sistem atmosfer yang mengelilingi bumi, yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di bumi.

Baru-baru ini, kualitas udara seperti yang kita ketahui telah memburuk, sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia (selain aktivitas alam). Ada beberapa kegiatan manusia yang menyebabkan penurunan kualitas udara seperti transportasi,

merokok, kegiatan industri, pembakaran lahan dan lain-lain. Karena itu, sirkulasi udara harus dijaga. Peran kita sebagai manusia disini dituntut untuk mengembalikan komposisi udara sesuai kebutuhan. Teknologi yang dimiliki manusia untuk mencegah dan memerangi polusi udara telah berkembang pesat. Model teknologi yang diperlukan untuk aplikasi tergantung pada jenis polusi, mis. B. mengurangi pembakaran lahan, produk bersih tanpa polutan di industri, memantau emisi lalu lintas dan lain-lain.

1.2 Konsep Dasar Udara

1.2.1 Biosfer

Kita harus tahu bahwa makhluk hidup memiliki lingkungannya sendiri, misalnya gajah di hutan (daratan) atau ikan di air. Nah, habitat ini disebut biosfer. Biosfer adalah tempat hidup makhluk, tumbuhan, hewan termasuk manusia. Biosfer terdiri dari litosfer, hidrosfer, dan atmosfer (Cahyono,2017).

1. Litosfer (batuan /daratan/tanah)

Tempat untuk makhluk hidup di bumi. Ketebalan litosfer bervariasi selama pembentukan dasar laut, pulau-pulau terestrial dan bukit-bukit pegunungan. Pembentukan litosfer merupakan unsur mineral penyusun kerak bumi. Kandungannya meliputi unsur oksigen, aluminium, besi, kalsium, natrium, magnesium, titanium, hidrogen dan unsur lainnya.

2. Hidrosfer

Lingkungan akuatik di permukaan bumi, termasuk sungai, danau, waduk, samudra, dan es di udara dan di wilayah Antartika. Kondisi di hidrosfer mempengaruhi litosfer dan atmosfer karena air menguap dari waktu ke waktu untuk membentuk siklus hidrologi.

3. Atmosfer (udara)

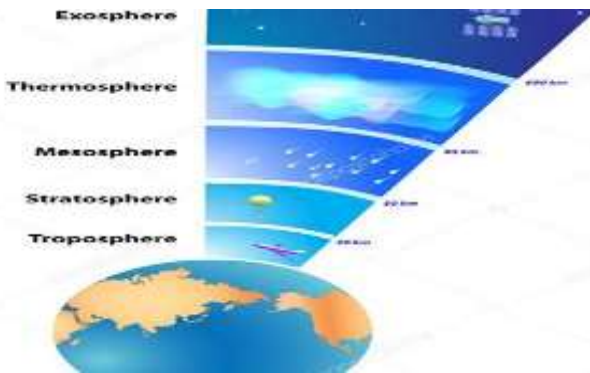
Lingkungan udara di sekitar kita mengandung gas-gas dari permukaan bumi, dari laut hingga luar angkasa.

Litosfer, hidrosfer, dan atmosfer terkait erat dengan bahan atau komposisi yang dikandungnya, serta kualitas dan jenis bahan. Meski jelas terpisah satu sama lain, litosfer, hidrosfer, dan atmosfer bercampur dalam partikel-partikel kecil tanpa batas yang jelas. Butiran air tanah mengalir di dalam litosfer. Hidrosfer juga mengandung batuan lapuk serta udara terlarut dalam air, dan atmosfer juga mengandung uap air dan partikel mineral padat. Keberadaan partikel gas, cair, dan padat terhubung dalam satu siklus karena kondisi litosfer, hidrosfer, dan atmosfer saling mempengaruhi.

1.2.2 Atmosfer

Bumi adalah salah satu planet di tata surya dengan mantel berlapis-lapis. Bumi tempat makhluk hidup hidup terdiri dari campuran tiga unsur, yaitu padat, cair, dan gas, yang terkait erat dan saling mempengaruhi proses yang terjadi di seluruh bumi. Lapisan udara yang melindungi bumi disebut atmosfer. Misalnya, atmosfer yang membuat suhu bumi cocok untuk kehidupan manusia, melindungi dari suhu es di luar angkasa, membantu menjaga suhu udara tetap stabil siang dan malam, melindungi bumi dari meteorit dan benda langit lainnya serta menyerap radiasi ultraviolet matahari

Di permukaan bumi, ketinggian atmosfer dimulai dari 0 kilometer hingga sekitar 560 kilometer di atas permukaan bumi. Terdapat lapisan atmosfer yang mengelilingi bumi dan dipisahkan oleh titik-titik tertentu yang berbeda sifat dan karakteristik suhunya, terdiri dari troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer, dan eksosfer (Arjani,2011).



Gambar 1.1 : Lapisan Atmosfer Bumi

Sumber : <https://www.zonareferensi.com/lapisan-atmosfer/>

1. Lapisan Troposfer

Troposfer adalah lapisan atmosfer yang paling rendah dan terdekat, 15 kilometer di atas permukaan laut. Campuran gas troposfer adalah yang terbaik untuk menopang kehidupan di Bumi karena terlindung dari radiasi dan benda langit yang ada. Dibandingkan dengan lapisan lainnya, lapisan ini adalah yang paling tipis. Wilayah troposfer dicirikan oleh fakta bahwa semakin rendah suhunya, semakin tinggi ketinggiannya (15 °C hingga -56 °C). Hampir semua (>90%) uap air di udara berada di troposfer. Peristiwa cuaca seperti jenis cuaca (hujan, angin, musim dingin, kekeringan, dll.), Perubahan suhu, angin, tekanan dan kelembaban yang kita alami setiap hari secara tiba-tiba terjadi di lapisan ini.

Ketinggian terendah berada di bagian troposfer yang lebih hangat karena permukaan bumi menyerap radiasi panas dari matahari dan memancarkannya ke udara. Troposfer juga mengandung gas rumah kaca seperti CO₂, CFC, NH₃, NO, perfluorokarbon dan karbon tetrafluorida yang menyebabkan efek rumah kaca dan pemanasan global.

Di antara lapisan troposfer dan stratosfer terdapat lapisan yang disebut tropopause, yang memisahkan lapisan

troposfer dan stratosfer yang suhunya relatif konstan. Suhu tropopause yang sangat rendah berarti uap air tidak dapat menembus ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi karena uap air mengembun sesaat sebelum mencapai tropopause.

2. Lapisan Stratosfer

Lapisan kedua dari atmosfer adalah stratosfer. Stratosfer terletak di atas tropopause, 12-49 km di atas permukaan laut. Di stratosfer, suhu meningkat karena lapisan ozon (O_3) di wilayah tersebut. Ozon sangat bermanfaat dalam melindungi bumi dari radiasi sinar ultraviolet (UV-B). Lapisan ozon menyerap sinar ultraviolet dan mengubahnya secara tidak langsung menjadi panas.

Di stratosfer kerapatan udara lebih sedikit daripada di troposfer, karena lapisan ini tidak memiliki uap, air, debu, awan, kilat, angin kencang, dan hujan, sehingga sering digunakan untuk jalur penerbangan. Peningkatan suhu udara yang bergantung pada ketinggian mulai berakhir, yaitu di ujung atas stratosfer, yang disebut stratopause, di mana suhu udara sekitar $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Di atas stratosfer terdapat stratosfer, yang merupakan batas antara stratosfer dan mesosfer. Stratosfer terdiri dari tiga wilayah, yaitu stratosfer bawah dengan ketinggian 12 hingga 20 km, wilayah isometrik, stratosfer tengah dengan ketinggian 20 hingga 35 km, wilayah inversi suhu, dan stratosfer atas dengan ketinggian 35 -50 km tinggi, adalah wilayah pembalikan yang kuat.

Di atas stratosfer terdapat stratosfer, yang merupakan batas antara stratosfer dan mesosfer.

3. Lapisan Mesosfer

Lapisan ketiga merupakan lapisan mesosfer yang tingginya 50-82 km di atas permukaan bumi, suhu atmosfer menurun dengan bertambahnya ketinggian hingga lapisan keempat. Suhunya adalah $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $-92\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhu rendah ini

semakin meningkat dengan semakin menipisnya lapisan ozon. Lapisan mesosfer ini ditandai dengan penurunan suhu udara rata-rata sebesar $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ per seratus meter. Penurunan suhu udara (suhu) ini disebabkan adanya keseimbangan radioaktif negatif di mesosfer. Suhu terendah di mesosfer adalah di bawah $-81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bahkan di puncak mesosfer, yang disebut mesopause, lapisan batas antara mesosfer dan termosfer, suhunya diperkirakan sekitar $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Di lapisan mesopori, suhu meningkat drastis akibat penyerapan sinar kosmik dari luar angkasa. Meteor biasanya terbakar di lapisan ini, sehingga tidak sampai ke permukaan bumi. Gas di lapisan ini adalah hidrogen, meskipun jumlahnya sangat kecil.

4. Lapisan Termosfer

Lapisan keempat terdapat pada ketinggian 85-500 km di atas permukaan bumi, sering disebut sebagai lapisan hangat) atau disebut juga lapisan ionosfer karena terdapat radiasi pada lapisan ini yang cukup tinggi sehingga membentuk lapisan bermuatan listrik. . seperti ionosfer. Molekul O_2 pecah menjadi atom oksigen, proses dekomposisi oksigen dan gas atmosfer lainnya menghasilkan panas, menyebabkan suhu naik. Ionisasi partikel terjadi pada lapisan tersebut, yang dapat mempengaruhi perambatan atau pantulan gelombang radio, baik gelombang panjang maupun gelombang pendek. Lapisan termosfer bertindak sebagai pencegat dan reflektor untuk berbagai gelombang radio yang datang dari Bumi dan dipantulkan kembali ke Bumi, memungkinkan radio kita mendengar berbagai transmisi dari pemancar jauh.

5. Lapisan Eksosfer

Lapisan kelima ini berada lebih dari 500-1000 km di atas permukaan bumi. Komposisi udara didominasi oleh gas hidrogen yang sangat lemah namun masih mampu menghancurkan benda-benda luar angkasa yang masuk, dan

komposisi gas di bola luar sangat rendah. Molekul-molekul di lapisan ini selalu bergerak dengan kecepatan tinggi. Lapisan ini merupakan lapisan terhangat dan molekul udara dapat meninggalkan atmosfer hingga 3.150 kilometer di atas permukaan bumi. Bola luar sering disebut sebagai ruang antarplanet dan geostasioner.

Atmosfer bumi adalah lingkungan tempat manusia dan organisme lain hidup di permukaan bumi. Atmosfer bumi mengandung udara yang merupakan campuran udara dengan berbagai zat, yang terbanyak adalah nitrogen 78,09, gas oksigen 20,94, gas lainnya termasuk argon 0,93%, karbon dioksida 0,30, sisanya. ada unsur lain, campuran gas yang mengelilingi lapisan atmosfer bumi, dan atmosfer bumi ditentukan oleh kualitas udara di sekitarnya. sedangkan uap air di udara berasal dari penguapan air laut, sungai dan lain-lain.

Jika komposisi gas di atmosfer bumi berubah, hal ini dapat menyebabkan gangguan pada kesejahteraan, kesehatan manusia, tumbuhan dan hewan, serta iklim. Komposisi udara adalah campuran mekanis dari beberapa gas. Komposisi udara bervariasi secara dinamis, komposisi udara daerah di dataran tinggi berbeda dengan di dataran rendah, daerah khatulistiwa berbeda dengan daerah kutub, daerah dengan vegetasi yang kaya berbeda dengan daerah industri dan komposisi umumnya. Jumlah gas di atmosfer bumi ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.1 : Komposisi gas –gas di Udara Kering dan Bersih

Komponen (Gas)	Formula (simbol)	Persentase Volume
Nitrogen	N ₂	78,08
Oksigen	O ₂	20,94
Argon	Ar	0,93
Karbondioksida	CO ₂	0,032
Neon	Ne	0,0018
Helium	He	0,00052
Methan	CH ₄	0,00015
Kripton	Kr	0,0001
Nitroun Oksida	N ₂ O	0,00005
Hidrogen	H ₂	0,00005
Xenon	Xe	0,000008
Ozon	O ₃	0,00004

(Sumber : Stern,Arthur Cecil,1976,h.27)

1.3 Peranan Udara Bagi Kehidupan

Udara dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu udara luar dan udara buangan. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi dalam troposfer yang diperlukan dan memengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan bagian lingkungan lainnya. Sementara itu, udara emisi adalah udara yang mengandung materi, energi, dan komponen lain yang merupakan hasil kegiatan yang dilepaskan dan/atau dilepaskan ke udara luar

yang berpotensi atau tidak berpotensi menjadi unsur yang tidak ramah lingkungan.

Udara merupakan faktor penting dalam kehidupan. Perbaikan yang sekarang terjadi di dunia seperti pembangunan fisik kota dan industri telah melihat perubahan di udara. Udara yang dulu segar kini kering dan kotor.

1.3.1 Manfaat dan Fungsi Udara

1. Manfaat udara bagi manusia sangat bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari seperti :

- 1) Bernafas, tanpa udara manusia dan makhluk hidup lainnya pasti akan mati dan tidak bisa hidup
- 2) Pengguna energi, mis. digunakan oleh kapal layar
- 3) Lebih sejuk, ruang terbuka yang memfasilitasi udara, membuat ruangan sejuk
- 4) Menyebarkan spora
- 5) Energi dari kincir angin untuk pembangkit listrik
- 6) Jaringan telekomunikasi seperti pemancar telekomunikasi

2. Fungsi Udara

- Lapisan atmosfer memungkinkan refleksi, penyerapan dan retensi sinar kosmik dan radioaktif dari ruang angkasa
- Ionosfer mengandung partikel ion yang memantulkan gelombang radio
- Menstabilkan dan menyebarkan elemen cuaca dan iklim seperti suhu, kelembapan, uap, dan tekanan atmosfer.
- Mengurangi pelepasan energi dari permukaan bumi
- Penyerapan sinar ultraviolet, sehingga aman bagi kehidupan di Bumi
- Unsur-unsur kimia di atmosfer mendukung kehidupan di Bumi dengan baik.

- Untuk menjaga keseimbangan termal Bumi dengan menyerap sinar infra merah matahari, seperti uap air dan gas CO₂.

1.3.2 Sifat – Sifat Udara

Secara umum ada tiga jenis benda di permukaan bumi, yaitu benda padat, cair, dan gas. Setiap jenis objek memiliki bentuk serta sifat yang berbeda. Udara terkandung dalam satu jenis zat, yaitu gas. Oleh karena itu, udara memiliki sifat-sifat tertentu yang menjadi ciri khas benda gas. Jadi apa saja sifat-sifat udara? Berikut ini adalah penjelasannya. (Prabowo, 2018)

1. Berbentuk Gas

Ada tiga jenis benda di bumi yaitu padat, cair dan juga gas. Benda padat dan cair memiliki sifat yang dapat kita lihat dan rasakan. Namun, ini tidak berlaku untuk benda gas. Udara adalah zat gas. Selain itu, udara di permukaan bumi terdiri dari berbagai macam gas. Kita tidak dapat melihat benda-benda gas, terutama udara, kita tidak dapat menciumnya, tetapi kita dapat merasakannya. Bukti bahwa kita dapat merasakannya adalah kita dapat menghirup udara dan bahkan ketika kita bergerak, kita dapat merasakannya melalui pori-pori kulit kita. Kami merasakan perubahan suhu, terkadang kami kedinginan, tetapi terkadang kami merasa segar. Kami merasa bahwa di bumi, kekuatan udara yang bergerak ini terkadang mampu mengangkat helai rambut yang kita miliki.

2. Memiliki Massa atau Berat

Meskipun udara tidak berwujud (kita tidak dapat melihatnya) dan tidak dapat mencium bau, ia memiliki massa dan berat. Udara memiliki massa atau berat yang dapat diukur dengan alat tertentu. Sebagai contoh kita dapat melihat bahwa kita dapat membandingkan botol gas kosong dengan tabung gas yang terisi. Ketika kita mengangkat keduanya, kita merasa bahwa tabung gas yang diisi terasa lebih berat dan lebih berat daripada yang kosong. Penentuan massa suatu zat berwujud

gas juga dipengaruhi oleh ukuran, volume, dan suhu tekanan di sekitar zat tersebut.

3. Menempati Ruang

Meskipun udara tidak ada wujudnya (kita tidak dapat melihatnya) dan tidak berbau, ia memiliki massa dan berat. Udara memiliki massa atau berat yang dapat diukur dengan alat tertentu. Sebagai contoh kita dapat melihat bahwa kita dapat membandingkan botol gas kosong dengan tabung gas yang terisi. Ketika kita mengangkat keduanya, kita merasa bahwa tabung gas yang terisi terasa lebih berat dan lebih berat daripada yang kosong. Penentuan massa suatu zat berwujud gas juga dipengaruhi oleh ukuran, volume, suhu dan tekanan zat tersebut.

4. Mempunyai Tekanan

Sifat udara selanjutnya adalah memiliki tekanan. Tekanan darah Anda sendiri bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Mengapa ada tekanan di udara? Karena udara merupakan campuran berbagai gas yang memiliki sifat muai dan juga dapat dikompresi. Tekanan diberikan oleh berat udara yang diterapkan dari segala arah dari atas, bawah dan dari samping. Tekanan atmosfer berkurang saat ketinggian meningkat dari tempat / ketinggian. Udara hangat memiliki tekanan atmosfer lebih rendah daripada udara dingin, dan udara yang bergerak memiliki tekanan lebih rendah daripada udara diam. Misalnya, dalam percobaan pengisian balon, sebuah botol dengan lubang di sisinya terbuat dari sedotan dan sebuah botol diisi dengan air berwarna. Ujung balon dimasukkan ke dalam bukaan botol, yang terjadi adalah udara di dalam balon mendorong air masuk ke dalam botol sehingga menyebabkan air memadat dan keluar melalui sedotan.

5. Akan Memuai Bila Dipanaskan

Pemuai adalah peristiwa bertambahnya panjang dan volume suatu benda akibat kenaikan suhu. Salah satu sifat udara adalah mengembang saat dipanaskan. Contohnya adalah

kasus ban mobil pecah. Ban mobil meledak karena udara atau gas di dalam ban memuai. Pemuaian ini disebabkan oleh naiknya suhu udara di dalam ban mobil akibat gesekan roda dengan aspal. Contoh pemuaian adalah efek balon udara panas. Balon udara panas dapat terbang ketika udara di dalam balon dipanaskan. Saat udara dipanaskan, ia mengembang untuk membuat lingkungannya kurang padat. Ini memberikan gaya angkat ke atas untuk memungkinkan balon udara panas terbang.

6. Akan Menyusut Apabila Didinginkan

Sifat udara berikutnya adalah mengerut saat mendingin. Penyusutan adalah menyusutnya suatu benda akibat pelepasan atau penyerapan suhu dingin. Misalnya seperti botol air mineral, tutupnya dilepas, ditempelkan pada balon, lalu dicelupkan ke dalam air dingin sehingga balon mengecil dan tenggelam. Contoh berikutnya adalah kabel yang bisa menyusut di malam hari.

7. Berhembus dari Tempat Yang Bertekanan Tinggi Menuju ke Tempat yang Bertekanan Rendah

Lapisan udara yang menutupi permukaan bumi. Udara dapat bergerak dengan bebas, kemana-mana dan selalu ada. Sifat udara selanjutnya adalah udara berhembus dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan lebih rendah.

8. Bentuk, Volume dan Massa Jenisnya Selalu Berubah-Ubah

Kepadatan adalah ukuran perbandingan massa dan volume suatu benda. Kepadatan adalah ukuran massa suatu benda per satuan volume. Semakin besar massa jenis suatu benda, semakin besar pula massa tiap volumenya. Selain bentuk udara, juga volume dan kerapatannya selalu berubah-ubah sesuai dengan letak atau letak udara itu sendiri. Inilah sifat-sifat tertentu dari udara, dimana udara merupakan zat gas.

DAFTAR PUSTAKA

- Stern, Arthur Cecil. 1976. Air Pollution Third Edition Volume I, Air Pollutants Thier Transformation and tTransport. New York : Academic Press Inc
- Cahyono Tri, 2017. Penyehatan Udara. Yogyakarta : CV. ANDI OFFSET
- Hermana J dan Assomadi. 2010. Atmosfer Bumi Sains dan Fenomena. Surabaya Institut Sepuluh November Surabaya. <http://personal.its.ac.id/files/material/3795>
- Prabowo, Kwat dan Burhan Muslim, 2018. Penyehatan Udara. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia
- Sri Arjani. 2011. Kualitas Udara Dalam Ruang Kerja. Jurnal Skala Husada Volume 8

BAB 2

PARAMETER FISIK UDARA

Oleh Risnawati Tanjung

2.1 Pendahuluan

Selama ini udara dianggap sebagai sesuatu yang sepele karena diberikan secara cuma-cuma dibandingkan dengan makanan dan air yang harus dibeli atau diolah terlebih dahulu. Tanpa harus melakukan apapun, manusia dapat menghirup udara, karena udara selalu tersedia. Kondisi titik selalu berubah. Kualitas udara menurun karena aktivitas manusia.(Cahyono, 2017)

Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan, antara lain industri, lalu lintas, perkantoran, dan rumah. Kegiatan yang berbeda ini merupakan kontribusi terbesar dari polutan atmosfer yang dilepaskan ke atmosfer. Sumber pencemaran udara juga dapat disebabkan oleh berbagai aktivitas alam, seperti kebakaran hutan, letusan gunung berapi, gas alam beracun. Dampak pencemaran udara menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak negatif bagi kesehatan manusia.(Kementerian Kesehatan RI, 2018)

Udara menjadi media penyakit yang ditularkan melalui udara atau lingkungan yang menularkan penyakit seperti influenza, tuberkulosis, difteri, meningitis meningokokus dan penyakit lain yang dapat terjadi penularan seperti rumah sakit, stasiun (rumah) tempat umum tetap, pusat perbelanjaan, bandara, hotel, tempat kerja) atau tempat umum lainnya di mana acara acak berada (pasar malam, konser, konferensi ilmiah, pameran) dan termasuk area pemukiman sekecil rumah berlangsung di antara penduduk.

Kualitas udara berubah, udara segar kini kering dan kotor. Jika tidak segera ditangani dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Udara adalah campuran banyak

gas yang proporsinya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya.(Catur Puspawati, 2019)

2.2 Parameter Fisik

Ada beberapa komponen kualitas udara dalam ruangan fisik, antara lain suhu udara, kelembaban, pencahayaan, kebisingan, tekanan barometrik, kecepatan angin, radiasi, partikel debu, antara lain:

1. Suhu

Suhu udara adalah panas dan dinginnya udara di atmosfer atau di dalam ruangan yang merupakan parameter fisik utama udara dalam kehidupan sehari-hari. Temperatur atau temperatur udara adalah suatu keadaan yang dirasakan di permukaan bumi, seperti panas, dingin atau dingin. Permukaan bumi menerima panas dari radiasi matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Tidak semua radiasi matahari yang dipancarkan mencapai permukaan bumi. Memang, saat memasuki atmosfer, pancaran sinar matahari dipantulkan, dihamburkan, dan diserap oleh materi di atmosfer. Persentase sinar matahari yang dipantulkan dan dihamburkan oleh partikel atmosfer disebut albedo.(Kementerian Kesehatan RI, 2018)

Saat memasuki atmosfer, sekitar 7% energi matahari langsung kembali ke angkasa, 15% diserap oleh partikel udara dan debu atmosfer, 24% dipantulkan oleh awan, dan 3% diserap oleh partikel awan. Dengan demikian persentase albedo sinar matahari yang menembus atmosfer sekitar 49%, sedangkan albedo yang sampai ke permukaan bumi hanya 51%. Energi matahari yang mencapai permukaan bumi kemudian dipantulkan sekitar 4%. Dengan demikian, jumlah total energi matahari yang diserap permukaan bumi adalah sekitar 47%.

Suhu udara permukaan adalah suhu udara pada ketinggian 1,25 sampai 2,0 m di atas permukaan bumi. Variasi suhu udara harian dikenal sebagai variasi suhu harian, serta variasi suhu mingguan, bulanan, atau tahunan. Dalam interval harian, suhu udara tertinggi atau maksimum biasanya terjadi sesaat setelah titik tertinggi matahari, sedangkan suhu udara terendah atau minimum biasanya terjadi sesaat sebelum matahari terbit. . Selisih antara suhu udara maksimum dan suhu udara minimum dalam sehari (24 jam) disebut rentang suhu siang hari.

Suhu udara bervariasi secara horizontal dan vertikal. Suhu udara yang tinggi dapat mempercepat reaksi pembentukan polutan sekunder di udara. Temperatur udara yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar, sehingga entropi hasil pembakaran akan lebih sedikit. Suhu udara yang tinggi akan meningkatkan penguapan air, sehingga udara dapat menjadi lembab. Suhu udara akan menimbulkan perbedaan tekanan udara yang akan mempengaruhi pergerakan udara.

Kualitas udara dalam ruangan tidak hanya dipengaruhi oleh adanya polusi tetapi juga oleh adanya udara panas. Udara panas dapat menurunkan kualitas udara dalam ruangan dan mempengaruhi kenyamanan mereka yang tinggal atau bekerja di ruangan tersebut. Namun, dari seluruh energi yang dihasilkan tubuh, hanya 20% yang digunakan dan sisanya dilepaskan ke lingkungan. Panas internal dihasilkan oleh tubuh sebagai proses biokimia yang terlibat dalam pembentukan jaringan, konversi energi, dan aktivitas otot. Panas yang dihasilkan oleh metabolisme dapat dibedakan menjadi dua yaitu metabolisme basal, misalnya proses otomatis seperti denyut nadi dan metabolisme otot yang mengatur aktivitas otot. Suhu udara berperan sangat penting dalam

kenyamanan kerja karena tubuh manusia menghasilkan panas yang digunakan untuk metabolisme dasar dan otot. Suhu udara di ruang kerja yang terlalu dingin dapat menyebabkan karyawan terganggu, yaitu berkurangnya kemampuan berkonsentrasi, menjadi tidak nyaman, dan tidak dapat bekerja dengan tenang saat berusaha menghilangkan rasa dingin.

2. Kelembapan

Kelembaban udara menunjukkan jumlah uap air di udara. Kandungan uap air penting karena uap air memiliki sifat menyerap radiasi tanah, yang menentukan cepatnya kehilangan panas dari bumi sehingga juga mengatur suhu udara. Kabut terbentuk ketika udara lembab dan mengembun, butiran cair ini kurang baik karena memfasilitasi konversi SO_3 menjadi H_2SO_4 . Selain itu, kabut asap yang muncul di atas lahan basah akan mencegah matahari memanaskan permukaan bumi untuk memecah inversi, yang seringkali memperpanjang durasi polusi udara.

Kelembaban relatif yang rendah (<60%) di daerah yang terkontaminasi SO_2 akan mengurangi efek korosif bahan kimia tersebut, sedangkan kelembaban relatif lebih besar atau sama dengan 80% di daerah yang terkontaminasi SO_2 , efek korosif SO_2 akan meningkat. Kondisi udara lembab mendukung pengendapan kontaminan, karena pada kondisi lembab beberapa partikel partikel kontaminan (misalnya debu) akan berikatan dengan air di udara, dan membentuk partikel yang lebih besar sehingga mudah terendapkan di permukaan bumi oleh gaya tarikan alam pada bumi.

Kelembaban relatif yang rendah di bawah 20° dapat menyebabkan kekeringan pada selaput lendir, sedangkan kelembaban yang tinggi dapat mendorong pertumbuhan

mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Sebagai contoh, jamur dapat tumbuh pada lingkungan anaerobik dengan kelembapan di atas 65%.

3. Pencahayaan

Sumber cahaya memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik ke segala arah. Di sekitar kita terdapat dua sumber cahaya yaitu sinar matahari dan sumber cahaya buatan. Panjang gelombang tampak berada pada kisaran 380 μ . Cahaya buatan adalah cahaya yang berasal dari sumber cahaya buatan yang disebut lampu atau alat penerangan. Dalam cuaca buruk dan malam hari, diperlukan pencahayaan buatan. Perkembangan teknologi sumber cahaya buatan memberikan kualitas cahaya buatan yang memenuhi kebutuhan manusia (Nurwidyaningrum, 2004).

Cahaya yang kuat dapat menyebabkan ruangan memantulkan cahaya, yang dapat memengaruhi jarak pandang. Pengertian silau adalah cahaya yang berlebihan pada mata yang disebabkan oleh cahaya langsung atau pantulan, atau keduanya. Cahaya yang terlalu redup dapat mengakibatkan akomodasi mata yang kuat sehingga menyebabkan mata cepat lelah.(Cahyono, 2017)

Besar kecilnya intensitas cahaya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kuantitas dan kekuatan penerangan
2. Kualitas penerangan
 - 1) Luminans sistem pencahayaan adalah luminans kontras tinggi di mana bagian objek yang terang lebih besar daripada latar belakangnya. Mata menerima cahaya utama dengan sangat terang, sehingga sulit untuk melihat secara dekat benda-benda gelap di sekitarnya.

- 2) Silau adalah cahaya berlebihan yang masuk ke mata dari sumber langsung atau objek reflektif seperti sinar matahari, cahaya yang tidak terlindung, cahaya yang terlalu dekat dengan mata, pantulan dari kaca/cermin, intensitas cahaya tingkat cahaya tinggi.
3. Armature sistem pencahayaan, meliputi langsung, semi langsung, tidak langsung, semi tidak langsung dan menyebar.
4. Kadar debu udara meliputi partikel padatan. Cair asap dan *ash fly*
5. Tingkat kelembapan udara.

Dampak dari pencahayaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kelelahan mata, kelelahan mental, nyeri di sekitar mata dan sakit kepala, kerusakan indra mata, produktivitas rendah, kecelakaan kerja, kesalahan dalam bekerja. Dalam bidang kesehatan lingkungan, cahaya merupakan salah satu parameter lingkungan fisik yang harus memenuhi standar. Oleh karena itu, seorang teknisi kebersihan harus dapat mengukur dan menentukan kualitas pencahayaan pada suatu tempat kerja atau aktivitas. Satuan yang digunakan untuk penerangan adalah lux, diukur dengan lux meter dan mengikuti prosedur pengukuran standar.

4. Kebisingan

Kebisingan adalah timbulnya bunyi-bunyi yang tidak dikehendaki karena ketidaksesuaian dengan waktu dan tempat atau mengganggu dan membahayakan kesehatan, baik dengan intensitas rendah maupun tinggi, termasuk contoh bunyi yang masuk. (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996).

Suara dengan intensitas tinggi dapat merusak gendang telinga, merusak alat bantu dengar, bahkan menyebabkan

ketulian. Pada intensitas rendah, itu mempengaruhi kenyamanan pendengaran. Pola data berisik yang terputus-putus atau terputus-putus bisa membuat stres.

Sound atau kualitas suara dapat dilihat dari dua aspek, yaitu:

- Frekuensi
Jumlah sebuah getaran per detik atau Hertz (Hz) adalah jumlah gelombang yang mencapai telinga per detik
- Intensitas
Rasio kekuatan dasar suara dengan frekuensi yang dapat diterima telinga normal, dalam desibel (dB).

Jenis-jenis kebisingan yang biasa ditemui di dunia industri dan bidang kegiatan ekonomi lainnya adalah: (Soedirman, 2014)

- 1) Bising ajek dengan spektrum frekuensi luas (*steady wide-band noise*) mencakup berbagai frekuensi seperti mesin pabrik, kipas angin, pengecoran dan rotary kiln dalam pekerjaan semen
- 2) Bising ajek dengan spektrum sempit (*steady narrow-band noise*) di mana energi suara terutama terkonsentrasi pada beberapa frekuensi seperti gergaji bundar
- 3) Bising terputus (*impact noise*) yaitu waktu singkat terdengar seperti mesin tempa, pondasi tiang pancang
- 4) Bunyi impact berulang seperti rivetting
- 5) Bunyi berulang (*intermittent noise*) seperti kebisingan lalu lintas yang terdengar di rumah atau kantor dan suara pesawat di sekitar bandara.

Tingkat gangguan pendengaran berdasarkan International Organization for Standardization (ISO) adalah:

- a. Tidak dapat mendengar pada tingkat kebisingan dari 0 hingga 25 dB(A), normal
- b. Tidak dapat mendengar suara pada 25-40 dB(A), gangguan pendengaran ringan
- c. Tidak ada suara pada 40 hingga 55 dB(A), gangguan pendengaran sedang
- d. Suara tidak terdengar pada tingkat suara > 55 dB(A), gangguan pendengaran parah.

Faktor-faktor yang membuat suara keras kebisingan atau turbulensi adalah: (Cahyono, 2017)

- a. Intensitas tinggi merupakan risiko besar gangguan pendengaran
- b. Frekuensi tinggi menyebabkan gangguan pendengaran
- c. Kebisingan terus menerus lebih mungkin menyebabkan gangguan pendengaran
- d. Paparan yang terlalu lama membawa risiko gangguan pendengaran yang signifikan
- e. Tinggal lama di sekitar kebisingan, risiko gangguan pendengaran berat atau sebaliknya dapat bersifat adaptif
- f. Seiring bertambahnya usia, sensitivitas dan pendengaran menurun, risiko gangguan pendengaran berkurang.
- g. Individu peka terhadap kondisi bising, ada yang peka, ada pula yang acuh tak acuh.

5. Tekanan Udara

Faktor-faktor yang mempengaruhi tekanan atmosfer adalah radiasi matahari, suhu, dan ketinggian suatu tempat. Secara vertikal, radiasi matahari akan

mempengaruhi suhu. Semakin tinggi suhunya, semakin rendah tekanan atmosfernya, begitu pula sebaliknya, semakin tinggi suatu tempat, semakin rendah tekanannya. Jika horizontal, semakin Anda menggelinding ke arah kutub, semakin tinggi tekanan atmosfernya.

Di udara sekitar, perbedaan tekanan biasanya tidak terlalu besar. Namun, diferensiasi ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk mencegah transfer patogen. Beberapa ruangan di rumah sakit memiliki tekanan positif atau lebih tinggi daripada udara luar. Dengan kondisi tersebut, diharapkan udara dari luar ruangan tidak masuk ke dalam ruangan, apalagi saat pintu dalam keadaan terbuka. Sehingga kuman/mikroorganisme yang ada di udara di luar ruangan tidak masuk ke dalam ruangan terutama ruang operasi, ruang isolasi dan ruangan lainnya. Isolasi menjaga aliran udara keluar ruangan, melindungi pasien dari kemungkinan kontaminasi patogen.

Cara mencapai tekanan udara positif adalah dengan menggunakan saluran atau kipas yang mengalirkan udara dari luar ruangan ke dalam ruangan. Asupan udara tentu saja udara bersih atau disaring.

Tekanan udara juga dapat digunakan sebagai sarana pengobatan, khususnya hyperreverse yang merupakan terapi yang menggabungkan oksigen murni dan tekanan udara 1,3 hingga 6 atm (atm) dalam ruang barometrik tekanan tinggi (RUBT) atau *Hyperbaric Chamber*.

Pekerja yang mengalami tekanan atmosfer ekstrim yaitu pekerja pertambangan dan pekerja yang menggali terowongan di bawah tanah atau di bawah air. Biasanya tekanan atmosfer lebih besar dari 1 atm. Gangguan umum yang terjadi adalah gangguan pendengaran dan gangguan keseimbangan.

Sebaliknya, pendaki gunung yang menambang belerang di kawah, tekanan atmosfer di sekitar kawasan itu kurang

dari 1 atm. Penyakit gunung akut atau Monsick adalah penyakit yang menyerang banyak orang. Penyakit ini terjadi terutama pada ketinggian > 2400 meter. Penyakit ketinggian disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk beradaptasi dengan kekurangan oksigen, tekanan rendah, dan suhu dingin. Pada udara ambien jarang sekali timbul gangguan kesehatan karena perbedaan tekanan yang tidak terlalu besar.

6. Kecepatan Angin

Angin adalah massa udara yang bergerak secara vertikal, horizontal atau diagonal, berubah dan berosilasi. Penentu pergerakan angin adalah tekanan atmosfer dipengaruhi oleh suhu, sedangkan suhu dipengaruhi oleh adanya sinar matahari atau sumber panas lainnya. Selain itu, sistem ventilasi atau kipas angin atau exhaust dan air conditioning (AC) berperan menyebarkan angin ke segala arah.

Kehadiran angin akan mempengaruhi distribusi kelembaban udara dan partikel udara, termasuk penyebaran mikroorganisme atau patogen dari ruangan ke ruangan. Adanya angin yang membawa udara dingin juga membuat seseorang menggigil dan sebaliknya akan terasa panas jika udara hangat digerakkan.

Kecepatan angin dalam ruangan atau pergerakan angin dalam ruangan dapat menyebabkan mikroorganisme atau kuman, debu dan uap air bertahan lebih lama melayang/mengambang di udara. Aliran udara yang nyaman untuk ruangan berkisar antara 0,15 hingga 1,5 m / s. Kecepatan udara kurang dari 0,1m/s atau kurang membuat ruangan tidak nyaman karena tidak ada pergerakan udara. Sebaliknya, jika kecepatan udara terlalu tinggi akan menimbulkan kebisingan di dalam ruangan.

Agar pertukaran udara di kantor dapat berjalan dengan baik, disarankan untuk mematikan ruangan menggunakan AC secara berkala dan upayakan pertukaran udara yang alami dengan membuka semua pintu dan jendela atau menggunakan kipas angin. Filter AC/filter udara juga perlu dibersihkan secara berkala sesuai ketentuan pabrikan. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh kecepatan udara. Saat pendinginan diperlukan, kecepatan dapat ditingkatkan.

Angin yang bergerak secara monoton ke satu arah dapat menyebabkan Bell's palsy, dimana salah satu saraf wajah mengalami kelumpuhan sehingga menyebabkan wajah miring akibat kontraksi otot asimetris. Oleh karena itu, sebaiknya tekanan/angin dengan kecepatan tertentu tidak mengenai wajah atau tubuh secara langsung tetapi dipantulkan ke dinding atau kecepatannya dijaga serendah mungkin agar wajah atau tubuh tidak bereaksi.

7. Radiasi

Radiasi adalah perambatan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel dari suatu sumber energi ke sekelilingnya tanpa memerlukan medium. Energi juga dapat ditransfer secara konduksi, pengikatan, dan konveksi. Kehidupan manusia tidak lepas dari radiasi. Dalam dosis kecil tidak berbahaya bagi manusia, bahkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia, tetapi dalam dosis besar radiasi harus dilindungi.

Salah satu ciri dari semua radiasi adalah memiliki panjang gelombang, yaitu jarak antara puncak satu gelombang dan puncak gelombang berikutnya. Radiasi terdiri dari beberapa jenis, dan setiap jenis radiasi memiliki panjang gelombangnya sendiri-sendiri.

Berikut ini merupakan sumber dari radiasi, antara lain:

1) Radiasi alam

Semua benda langit pada umumnya memiliki radiasi. Perubahan bentuk benda langit menghasilkan radiasi, partikel energik yang memancar keluar di alam. Emisi tersebut menyebabkan terganggunya keseimbangan alam semesta. Radiasi alam meliputi sinar matahari (ultraviolet, infra merah), sinar kosmik dari luar angkasa, zat radioaktif dalam batuan di bumi, gas radon dan peluruhannya.

2) Radiasi buatan

Perkembangan teknologi dan budaya untuk memenuhi kebutuhannya, manusia memproduksi alat-alat yang dapat menghasilkan radiasi antara lain sinar X (X-ray), alat telekomunikasi (ponsel, radar), televisi, pemancar, layar), radiasi dari cahaya (lampu halogen). , sinar laser), jaringan listrik, saluran udara dengan tegangan sangat tinggi (Sutet), radiasi dari peralatan rumah tangga (oven microwave, pengering rambut).

Jika radiasi mengenai tubuh manusia, ada dua kemungkinan, baik berinteraksi dengan tubuh manusia atau hanya melewatinya. Saat berinteraksi, radiasi dapat mengionisasi atau membangkitkan atom. Setiap kali terjadi ionisasi atau eksitasi, radiasi kehilangan sebagian energinya. Energi pancaran yang hilang akan menyebabkan peningkatan temperatur (panas) materi (atom) yang berinteraksi dengan radiasi. Dengan kata lain, semua energi radiasi yang diserap ke dalam jaringan biologis akan muncul sebagai panas melalui peningkatan osilasi struktur atom dan molekul. Ini adalah awal dari perubahan kimiawi yang kemudian dapat menyebabkan efek biologis yang berbahaya.

Unit dasar jaringan biologis adalah sel. Sel memiliki nukleus yang merupakan pusat kendali sel. Sel terdiri dari 80% air dan 20% senyawa biologis kompleks. Jika radiasi pengion menembus jaringan, itu dapat menyebabkan ionisasi dan pembentukan radikal bebas, seperti radikal hidroksil (OH), yang terdiri dari atom oksigen dan hidrogen. Secara kimiawi, radikal bebas sangat reaktif dan dapat mengubah molekul-molekul penting dalam sel. DNA (asam deoksiribonukleat) adalah molekul yang ditemukan dalam inti sel yang mengontrol struktur dan fungsi sel, serta reproduksi.

Setidaknya ada dua cara radiasi dapat merusak sel. Pertama, radiasi dapat langsung mengionisasi molekul DNA, sehingga terjadi perubahan kimia pada DNA. Kedua, modifikasi kimia DNA terjadi secara tidak langsung, yaitu ketika DNA berinteraksi dengan radikal hidroksil. Terjadinya perubahan kimiawi pada DNA, secara langsung maupun tidak langsung, dapat menimbulkan efek biologis yang merugikan, seperti kanker atau kelainan genetik.

Pada dosis rendah, seperti dosis radiasi latar harian, sel dapat pulih dengan sangat cepat. Pada dosis yang lebih tinggi (hingga 1 Sv), sel mungkin tidak dapat memperbaiki dirinya sendiri, sehingga sel akan rusak atau mati secara permanen. Sel mati relatif tidak berbahaya karena akan digantikan oleh sel baru. Sel yang rusak secara permanen dapat menghasilkan sel abnormal ketika sel yang rusak membelah. Sel abnormal ini meningkatkan risiko kanker pada manusia akibat paparan radiasi.

Efek radiasi pada tubuh manusia bergantung pada jumlah dosis yang diberikan, serta kecepatannya; apakah diberikan secara mendalam (untuk waktu yang singkat) atau secara bertahap (sedikit demi sedikit). Selain tergantung pada jumlah dan perbandingan dosis, setiap organ dalam tubuh memiliki kepekaan yang berbeda terhadap radiasi, sehingga efek radiasi juga akan berbeda.

8. Partikel Debu

Peraturan Pemerintah No. 66 Tahun 2014, Pasal 17 memasukkan partikel debu sebagai salah satu parameter fisik kualitas udara. Debu terdiri dari partikel padat yang dihasilkan oleh kekuatan alam atau mekanis seperti penanganan, penghancuran, pelunakan, kompresi cepat, pengamplasan dan bahan lainnya dari bahan organik dan anorganik. Secara fisik, debu tergolong polutan.

Ukuran partikel debu yang dihasilkan oleh suatu proses sangat bervariasi, dari yang tidak terlihat oleh mata telanjang hingga yang terlihat oleh mata telanjang. Partikel yang lebih besar akan tetap berada di permukaan benda atau jatuh (sementara mengendap di udara), sedangkan partikel yang lebih kecil akan terbang atau melayang di udara. Debu biasanya berukuran mikrometer, sebagai perbandingan ukuran sehelai rambut adalah 50-70 mikron.

Secara fisik, debu akan berdampak pada saluran pernapasan manusia, mulai dari bersin, batuk, debu menumpuk di sepanjang saluran pernapasan. Efek kesehatan dari debu sangat ditentukan oleh ukuran partikel dan bahan kimia yang dikandungnya. Semakin kecil diameternya, semakin dalam debu menembus saluran pernapasan bagian bawah (alveoli).

2.3 Prinsip Pengendalian Pencemaran

Parameter udara adalah masuknya suatu bahan fisika/kimia atau substrat ke dalam atmosfer dalam konsentrasi tertentu yang dapat mengganggu keseimbangan manusia, hewan, dan organisme lain di lingkungan tersebut. Pengertian lain dari pencemaran udara adalah terdapatnya bahan pencemar di atmosfer akibat ulah manusia yang menyebabkan kualitas udara

ambien turun sampai tingkat tertentu sehingga kualitas udara tidak sesuai dengan definisinya. (Catur Puspawati, 2019)

Pengendalian adalah proses memantau dan mengevaluasi laporan rencana untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, mengambil tindakan korektif untuk perbaikan lebih lanjut. Perbedaan antara kontrol dan pengawasan terletak pada otoritas yang berkembang dari kedua istilah tersebut. Kontrol memiliki otoritas pengaturan yang tidak dimiliki pengawas. Supervisor hanya sebatas memberikan nasehat, sedangkan pengawasan dijamin oleh controller.

Pengendalian Pencemaran Udara adalah upaya untuk mengendalikan keberadaan pencemar baik fisik yaitu suhu dan kelembaban, mikrobiologis dan kimiawi, di dalam dan di luar ruangan agar tidak menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia dan tidak menimbulkan penularan penyakit.

Pencemaran udara memerlukan perhatian serius dari banyak pihak karena udara merupakan faktor yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Pencemaran udara jika tidak segera ditangani akan berdampak serius bagi kesehatan. Untuk hidup sehat, manusia membutuhkan sekitar 13,6 kg atau 10.000 liter udara bersih per hari, dan manusia hanya bisa hidup tanpa udara selama 1 sampai 3 menit. Berbagai program pencegahan dan pengendalian pencemaran udara telah dilaksanakan oleh pemerintah, seperti program langit biru. Kementerian Lingkungan Hidup menggagas program Langit Biru pada tahun 1996 dengan dikeluarkannya Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 15 Tahun 1996, program tersebut meliputi:

1. Bangun alat regulasi.
2. Gunakan bahan bakar yang bersih.
3. Gunakan bahan bakar alternatif.
4. Pengembangan manajemen transportasi.
5. Pemantauan emisi kendaraan bermotor.
6. Penguatan peran masyarakat melalui komunikasi massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, T., 2017. *Penyehatan Udara*. I ed. Yogyakarta: Andi.
- Catur Puspawati, d., 2019. *Kesehatan Lingkungan Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Kementerian Kesehatan RI. 2018. *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Penyehatan Udara*. Jakarta. Available at: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1996. 'Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang Baku Mutu Kebisingan', (48), p. 7.
- Nurwidyaningrum, D. 2004. 'Karakteristik pencahayaan buatan untuk ruang membatik batik tulis', pp. 5–24.
- Soedirman, Suma'mur., 2014. *Kesehatan Kerja Dalam Perspektif Hiperkes dan Keselamatan Kerja*. s.l.:Penerbit Erlangga.

BAB 3

MIKROBA UDARA

Oleh Tiwi Yuniastuti

3.1 Pendahuluan

Mikroba udara merupakan istilah yang mengacu pada mikroorganisme yang tersebar di suatu ruangan atau lebih dikenal sebagai bioaerosol. Mikroba ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Keberadaan mikroba udara dalam lingkungan tertutup terjadi karena ada kontaminasi dengan udara luar atau polutan dari ruangan itu sendiri (Fatma dan Ramadhani, 2020).

Mikroba udara yang dapat menjadi sumber penyakit adalah golongan *Bacillus Sp.*, *Clostridium Sp.*, *M. tuberculosis*. Sedangkan untuk virus grup Mixovirus, Enterovirus, Adenovirus, Rhinovirus, Herpesvirus, Sitomelagovirus, Epstein-Barr Virus. Termasuk golongan jamur *Candida albicans*, *Blastomyces desmatitidis*, *Coccidiodes immitis* dan *Cryptococcus neoformans*. Mikroba-mikroba ini dapat tersebar di udara (Hadiyati, 2017).

Udara di ruang publik, baik yang berada dalam ruangan maupun di luar ruang menjadi konsumsi bersama individu yang berada di sana, dan secara langsung dapat menjadi perantara patogen udara. Mikroorganisme dan jamur yang tersebar di udara dapat terhirup dan menimbulkan penyakit. Hal ini menyebabkan mikroba udara menjadi salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas udara, terutama udara dalam ruangan (Pudjadi, *et al.*, 2015).

Flora atau mikroba yang ada di udara bersifat sementara dan beragam. Berbagai tipe dan jumlah mikroba udara ini dapat menjadi sumber pencemaran di lingkungan manusia, sehingga perlu dilakukan pengendalian dan pencegahan (Palawe, *et al.*,

2015). Upaya pengendalian dan pencegahan ini dapat dilaksanakan secara efektif apabila kita sudah mengetahui jenis, karakteristik dan faktor – faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba udara. Tingkat akurasi dan ketepatan metode dalam melakukan analisa keberadaan mikroba udara.

3.2 Mikroba udara

Udara sebagai salah satu komponen utama di lingkungan, mengandung banyak komponen kimia penting seperti oksigen, karbondioksida, karbon monoksida, formaldehid, jamur, virus dan mikroba lainnya. Mikroba yang berada di udara sering dikenal sebagai bioaerosol. Mikroba udara ini dapat berupa bakteri, kutu binatang peliharaan, serangga, jamur, khamir dan kapang, serta virus (Dewi, *et al.*, 2021).

Bioaerosol yang berada di dalam ruangan juga dapat berasal dari kontaminasi udara luar, organisme yang membusuk, alga atau jamur yang masuk melalui hembusan angin, dan jentik – jentik serangga yang ikut terbawa angin. Bakteri *Legionella* yang berasal dari tanah dan sering dikenal sebagai soil-borne dapat juga masuk ke dalam ruangan dengan perantara angin (Dewi, *et al.*, 2021).

Golongan bakteri yang termasuk dalam mikroba udara antara lain: (Pudjadi, *et al.*, 2015).

1. *Streptobasil sp.*
2. *Stafilococcus sp.*
3. *Diplococcus sp.*
4. *Bacillus sp.*
5. *Clostridium sp.*,
6. *M. tuberculosis*

Golongan jamur yang termasuk dalam mikroba udara antara lain: (Pudjadi, *et al.*, 2015)

- a) *Rhizopus sp*
- b) *Aspergillus fumigatus*
- c) *Aspergillus sp.*
- d) *Mucor sp.*
- e) *Aspergillus niger*
- f) *Penicillium sp.*
- g) *Neurospora crassa*
- h) *Fusarium sp.*
- i) *Cladosporium sp.*
- j) *Candida sp.*
- k) *Cryptococcus sp.*
- l) *Humicola fuscoatra*
- m) *Blastomyces desmatitidis*
- n) *Coccidiodes immitis*

Golongan virus yang termasuk mikroba udara adalah sebagai berikut: (Hadiyati, 2017)

- a. Mixovirus,
- b. Enterovirus,
- c. Adenovirus,
- d. Rhinovirus,
- e. Herpesvirus,
- f. Sitomelagovirus,
- g. Epstein-Barr Virus.

3.3 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba udara

Untuk dapat tumbuh secara optimum, mikroba udara ini membutuhkan kondisi tertentu. Hal – hal yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba udara adalah sebagai berikut: (Fatma dan Ramadhani, 2020)

a. Kelembaban.

Pertumbuhan mikroba terutama bakteri memerlukan kelembaban optimum untuk dapat tumbuh dengan baik yaitu di atas 85%. Sedangkan untuk jamur dan aktinomycetes memerlukan kelembab di bawah 80%. Untuk nilai aw (water activity), untuk jamur berada pada kisaran 0.90 – 0.99, sedangkan untuk bakteri halofilik berada dikisaran 0.75. Perlu diketahui bahwa kadar air bebas dalam larutan (aw) merupakan nilai perbandingan antara tekanan uap air larutan dengan tekanan uap air murni atau $1/100$ dari kelembaban relative (Wulandari, 2013).

b. Pencahayaan

Pencahayaan dalam ruangan terutama pencahayaan sinar matahari langsung yang mengandung ultraviolet dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba udara. Hal ini bisa terjadi karena pencahayaan yang masuk dalam ruang juga berfungsi sebagai desinfektan untuk membunuh bakteri. Semakin tinggi pencahayaan suatu ruangan maka semakin sedikit jumlah koloni yang ditemukan dibandingkan dengan ruangan dengan pencahayaan yang kurang tetapi dengan desain dan karakter ruangan yang sama (Sukmawati, et al., 2017).

Tetapi pada beberapa penelitian menyatakan bahwa pencahayaan tidak memiliki hubungan dengan jumlah koloni jamur di udara (Fithri, et al., 2016).

c. Kualitas udara ruangan.

Kualitas udara ruangan yang baik merupakan udara yang bebas dari mikroba, polutan dan iritan yang dapat mempengaruhi kualitas kesehatan manusia. Hal ini menyebabkan kualitas lingkungan fisik udara terutama di ruangan tertutup menjadi faktor penting pertumbuhan mikroba udara (Chairuniza, et al., 2020). Semakin bagus kualitas udara ruangan maka semakin kecil kemungkinan

keberadaan mikroba di dalam ruangan tersebut. Begitu pula sebaliknya, jika kualitas udara di ruangan tersebut buruk maka besar kemungkinan adanya keberadaan mikroba dalam udara ruangan (Dewi, et al. 2021). Dengan kata lain, semakin tinggi proporsi kualitas lingkungan fisik udara yang tidak memenuhi persyaratan, maka semakin tinggi pula kemungkinan angka kuman menjadi tidak memenuhi persyaratan. Bahkan lingkungan fisik udara menjadi faktor utama keberadaan mikroba di udara (Wismana, 2016).

d. Suhu

Suhu sebagai salah satu faktor lingkungan fisik mempengaruhi keberadaan mikroba udara. Hal ini terjadi karena ada keterkaitan antara suhu dengan kelembaban yang menjadi faktor pendukung keberadaan mikroba udara. Suhu ruangan sangat dipengaruhi dengan keberadaan ventilasi dan pemakaian AC (Lestiani dan Pawenang, 2018).

Selain faktor diatas, sanitasi ruangan atau rumah, serta bahan konstruksi menentukan keberadaan mikroba udara (Wulandari, 2013). Faktor aktivitas manusia dalam ruangan serta keberadaan debu dan kotoran akan meningkatkan jumlah koloni mikroba di udara (Putra, *et al.*, 2018).

Keberadaan mikroba di udara di area rumah sakit juga dapat terjadi. Kebersihan atau personal higine dari petugas dapat memberikan andil dalam perkembangan mikroorganisme. Penularan penyakit dengan perantara pasien – pasien atau petugas - pasien terjadi melalui kontak langsung, air liur, droplet, dan cairan tubuh lainnya. Selain itu, kualitas lingkungan fisik rumah sakit juga ikut mempengaruhi keberadaan mikroba udara (Mayasari, 2020).

3.4 Parameter mikroba udara

Penghitungan mikroba udara dilakukan untuk menentukan kualitas udara. Sebagai contoh bakteri *Streptococcus* sp. sebagai salah satu bakteri patogen diharuskan tidak melebihi ketentuan yaitu 0 CFU/m³ (Wulandari, 2013). Adapun parameter yang diamati pada saat penghitungan mikroba udara adalah sebagai berikut:

1. Morfologi koloni mikroba

Pengamatan morfologi mikroba terdiri atas bentuk koloni, tepian koloni, elevasi koloni, warna koloni, dan diameter koloni. Hasil pengamatan ini dipakai untuk menentukan keragaman spesies yang berada dalam koloni. Keberagaman morfologi koloni juga dapat dijadikan petunjuk awal kualitas udara ruangan atau lingkungan tersebut berdasarkan keberadaan mikroba (Walid, *et al.*, 2019).

2. Jumlah koloni

Data jumlah koloni dihasilkan dari data total jumlah koloni yang ditemukan pada sampel. Hasil jumlah koloni berkaitan dengan aktivitas pada ruangan itu sendiri, kebersihan, suhu dan hal – hal yang berkaitan dengan perilaku manusia di dalam ruangan tersebut (Walid, *et al.*, 2019).

3.5 Pengambilan sampel mikroba udara

3.5.1 Teknik pengambilan sampel mikroba udara

Pengambilan sampel mikroba udara secara prinsip hampir sama dengan prinsip pengambilan sampel mikroba lainnya. Teknik dan proses analisisnya disesuaikan dengan tujuan dan perencanaan. Secara garis besar ada 3 tahapan yang harus dilakukan, yaitu pengumpulan sampel, pengukuran laju alir, dan penghisapan udara (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

Proses pengumpulan sampel menggunakan alat *collector*. Alat *collector* yang digunakan adalah impiner, fritted bubbler, atau tube adsorber, dimana pada penggunaan alat ini sampel akan bereaksi terhadap penyerap spesifiknya. Pengukuran alur alir menggunakan flowmeter, dimana dapat mengukur volume udara yang terkumpul. Adapun alat yang digunakan adalah dry gas meter, wet gas meter, atau rotameter. Sedangkan tahap akhir dari pengambilan sampel yaitu pengisapan udara yang dilakukan oleh vacuum pump. Seluruh proses ini harus terdokumentasi dengan baik untuk memudahkan penelusuran data hasil (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

3.5.2 Penentuan lokasi pengambilan sampel udara ambien

Penentuan lokasi pengambilan sampel udara harus mempertimbangkan banyak hal, terutama peruntukan data yang akan diambil. Tujuan pengambilan sampel menentukan cara dan lokasi pengambilan sampel. Pemantauan secara kontinu dengan memanfaatkan stasiun pemantauan dilakukan untuk kegiatan pemantauan kualitas udara secara rutin dan berkala. Pemantauan secara grab atau sesaat dilakukan untuk pemenuhan data dokumen lingkungan seperti AMDAL, UKL UPL, kelayakan lingkungan atau untuk verifikasi pengaduan pencemaran lingkungan. Selain itu, pemantauan kualitas udara harus mempertimbangkan faktor arah angin, tata guna lahan, tinggi cerobong dan luas sebaran bahan pencemar (dispersi polutan) (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

Penentuan lokasi pemantauan kualitas udara ambien dilakukan dengan kriteria berikut ini, yaitu: (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

- a. Area dengan konsentrasi pencemar tinggi
- b. Area dengan kepadatan penduduk tinggi
- c. Di daerah sekitar lokasi
- d. Di daerah proyeksi

- e. Kesesuaian dengan strategi pengendalian pencemaran
- f. Mewakili seluruh wilayah studi

Penentuan lokasi pemantauan udara ambien dilakukan pada lokasi dengan arah angin dominan, minimal 2 titik lokasi dengan mengutamakan lokasi atau daerah pemukiman atau daerah dengan kriteria di atas (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

Peraturan umum yang berlaku pada pengambilan sampel udara atau tempat masuknya sampel udara adalah sebagai berikut: (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

- a. Jarak antara probe dengan jalan raya minimal 15 m
- b. Ketinggian probe antara 3 -6 m dari permukaan tanah
- c. Pengambilan partikulat termasuk mikroba dilakukan dengan jarak minimal 2 m dari atas permukaan datar
- d. Probe harus lebih dari 15 m dari suatu pemanas atau exhaust vent pemanas air
- e. Probe juga harus ditempatkan minimal 2 kali ketinggian gedung yang terdekat

Selain peraturan umum diatas, pengambilan sampel juga perlu mempertimbangkan penempatan peralatan pemantauan, yaitu: (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

- a) Menghindari tempat yang dapat mempengaruhi konsentrasi efek adsorpsi dan absorpsi
- b) Menghindari tempat yang memiliki sumber listrik
- c) Jauh dari tempat dengan potensi bencana alam
- d) Menjauhi tempat yang dapat mengganggu aliran udara di sekitar tempat masuknya udara (inlet), seperti pohon, gedung, atau tiang
- e) Menjauhi sumber emisi

Pemantauan meteorologis perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas hasil analisa. Faktor meteorologis yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut: (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

1. Arah angin
2. Kecepatan angin
3. Kelembaban
4. Temperatur

3.5.3 Titik pengambilan contoh uji (sampling point)

Titik pengambilan contoh merupakan posisi tempat ujing probe atau lubang masuknya udara pengambil contoh uji. Untuk uji partikulat dan mikroba, uji dilakukan pada titik lintas atau transverse point, yaitu suatu titik uji yang mewakili suatu penampang lintang cerobong. Diameter cerobong dan ketinggian posisi lubang sampling menentukan posisi titik lintas, dan harus menghindari gangguan aliran seperti belokan (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

Homogenitas gas menentukan posisi titik pengambilan sampel. Pada distribusi gas homogen, titik pengambilan sampel dapat dilakukan dimana saja, dengan jarak minimal 0.3 m dari dinding cerobong. Sedangkan pada distribusi gas heterogen, digunakan teknik titik lintas (transverse poin), terutama pada pengambilan partikulat dan mikroba. Data konsentrasi rata – rata representatif membutuhkan banyak titik pengambilan sampel, dan hasil yang diperoleh dijumlahkan dan dirata-rata (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Prov. Banten).

3.6 Metode penghitungan mikroba udara

Ada beberapa metode penghitungan mikroba udara yang lazim dipakai. Salah satunya menggunakan metode kultur bakteri. Metode kultur ini menggunakan agar dalam cawan petri atau agar

strip. Metode – metode yang menggunakan prinsip kultur adalah sebagai berikut: (Pradika, 2020)

1. Metode Pasif, metode ini memanfaatkan mikroba yang berada di udara dan dibiarkan menempel serta mengendap di cawan petri. Media yang digunakan adalah media pertumbuhan umum. Metode ini sering digunakan pada pemantauan udara ruangan bersih (Zona terkontrol). Metode ini dapat digunakan pada uji kualitatif, semi kuantitatif dan pemantauan udara (Atisha dan Musfiroh, 2020).
2. Metode Aktif, metode ini menggunakan prinsip pengambilan udara secara aktif, dimana udara dipaksa masuk ke dalam suatu alat untuk dapat mengumpulkan partikel yang ada di dalamnya. Ada tiga prinsip dalam pengumpulan sampel secara aktif, yaitu impingement, impaction dan filtration(Pradika, 2020).

a. Impingement

Prinsip dasar teknik adalah mengambil partikel udara saat gelembung udara melewati cairan. Peralatan standar yang dipakai untuk menganalisis dengan menggunakan metode ini adalah impingement sampler.

b. Impaction

Prinsip dasar metode ini adalah penumbukan antara partikel udara dengan media padat. Peralatan standar yang dipakai untuk menganalisis dengan metode ini adalah impact sampler. Ada 3 macam alat yang dapat dipakai untuk metode ini, yaitu sieve impactor, slit impactor, dan centrifugal impactor.

Metode sieve impactor memanfaatkan udara yang masuk ke dalam plat atau lempengan yang berpori dengan diameter tertentu. Partikel – partikel udara yang berhasil disaring oleh lempeng berpori akan tertumbuk pada lapisan agar yang ada di dalam cawan

petri yang telah terpasang di dalamnya. Lempeng berpori yang dipakai bervariasi, dan penggunaannya tergantung pada kebutuhan riset.

Alat sieve impactor yang biasa dipakai adalah Andersen air sampler. Pada alat ini ada 6 tingkatan saringan, dan setiap saringan telah dilengkapi dengan cawan petri. Setelah pengambilan sampel, cawan petri dapat langsung diinkubasi. Hasilnya berupa koloni yang dapat diamati secara langsung maupun dengan bantuan mikroskop. Koloni hasil pembiakan pada saringan 1-2 dapat diamati secara langsung dan hasilnya dijumlahkan. Koloni hasil pembiakan pada saringan 3-6 diamati melalui mikroskop, atau dapat juga dikonversikan dengan bantuan tabel konversi positive hole yang berfungsi sebagai pengoreksi berdasarkan teori probabilitas.

Ada banyak variasi alat Andersen air sampler yang beredar secara komersial. Variasi dan modifikasi alat telah dilakukan antara lain dengan adanya variasi tingkatan saringan mulai 8 tingkat sampai 1 tingkat. Semakin sedikit tingkat saringannya, maka semakin rendah pula hitungan koloninya.

Slit impactor memiliki prinsip kerja yang sama dengan sieve impactor. Udara yang masuk dilewatkan pada celah (slit) dan ditumbukan pada permukaan agar yang berputar.

Pemeriksaan mikroba udara menggunakan ISO 16000-18 (2011) atau ISO 16000-18 (2021) sebagai acuan standar. Metode impactor dapat digunakan untuk menghitung spora jamur (diameter > 10 µm sampai ~ 3 µm) pada lingkungan indoor. Pengambilan sampel disarankan berada pada ketinggian 0.75 – 1.5 m di atas permukaan lantai. Hal ini dilakukan untuk menghindari terhisapnya debu oleh alat. Media

pertumbuhan yang bisa dipakai adalah DG18, MEA atau PDA. Setelah pengambilan sampel diharuskan dikondisikan dengan baik untuk menghindari kekeringan, suhu tinggi, sinar matahari, panas dan debu.

c. Filtration

Prinsip dasar metode ini adalah mengumpulkan partikel yang terlarut dalam gas melwati suatu medium berpori. Metode ini menggunakan membran filter sekali pakai dengan diameter 25, 37 atau 47 mm. Udara ditarik menggunakan tekanan negatif dari pompa vakum, sehingga partikel udara yang berukuran lebih besar dari pada pori membran akan tersaring. Membran filter yang dapat dipakai adalah membran polycarbonate atau cellulose asetate. Partikel udara yang menempel pada membran filter dipindahkan ke media pertumbuhan untuk dapat dihitung secara manual. Selain itu, partikel udara yang menempel dapat dibilas dengan larutan fisiologis untuk dapat dianalisa lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan riset.

Metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah efektif dan akurat untuk menangkap partikel udara dan sangat tepat untuk mendeteksi spora jamur atau endospora bakteri yang resisten terhadap lingkungan kering. Kekurangannya adalah tidak dianjurkan untuk analisa sel vegetatif bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Atisha, S.A., Musfiroh, I. 2020. Revisi Artikel : Metode Environmental Monitoring Pada Area Ruang Bersih dan Proses Aseptik. Farmaka. 18 (3).
- Chairuniza, T., Hutwan, Julius. 2020. Analisis Kualitas Mikrobiologi Udara Dalam Kamar Operasi Pada Instalasi Bedah Sentral Rumah Sakit "X" Kota Jambi. Jurnal Pembangunan Berkelanjutan. 3 (2).
- Dewi, W.C., Raharjo, M., Wahyuningsih, N.E. 2021. Literatur Review: Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang dengan Gangguan Kesehatan Pada Pekerja. An Nadaa: Jurnal Kesehatan Masyarakat. 8(1).
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Tanpa tahun. Pelaksanaan Pengambilan Sampel Udara. <https://dlhk.bantenprov.go.id> . diakses tanggal 17 November 2020.
- Fatma. F., Ramadhani, R. 2020. Perbedaan Jumlah Angka Kuman Udara Dalam Ruangan Berdasarkan Hari di Puskesmas Guguk Panjang. Jurnal Human Care. 5. (3).
- Fithri, N.K., Handayani, P., Vionalita, G. 2016. Faktor – Faktor yang Berhubungan dengan Jumlah Mikroorganisme Udara dalam Ruang Kelas Lantai 8 Universitas Esa Unggul. Forum Ilmiah. 13. (1)
- Hadiyati. 2017. Analisis Kualitas Udara Wilayah Binaan UPT Puskesmas Griya Antapani Bandung Berdasarkan Koloni Mikroba. Jurnal Sehat Masada. XI. (1).
- Palawe, B.V., Kountul, C., Waworuntu, O., 2015. Identifikasi Bakteri Aerob di Udara Ruang Operasi Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUP Prof. dr. R.D Kandou Manado. Jurnal e-Biomedik. 3 (3).
- Putra, I., Iktiar, M., Emelda, A., 2018. Analisis Mikroorganisme Udara terhadap Gangguan Kesehatan dalam Ruangan

- Administrasi Gedung Menara UMI Makassar. *Window of Health : Jurnal Kesehatan*. 1 (2).
- Pudjadi, E., Suciyani, R., Sahira, I.G. 2015. Kualitas Mikrobiologis Udara di Salah Satu Pusat Perbelanjaan di Jakarta Selatan. *Al Kauniah Jurnal Biologi*. 8 (2).
- Pradika, I. 2020. Laboratorium Mikrobiologi Standar; Menghitung Mikroorganisme di Udara. <https://laboratoriumstandard.com/2020/05/26/menghitung-mikroorganisme-di-udara/>. Diakses tanggal. 15 November 2022.
- Lestiani, D.P dan Pawenang, E.T. 2018. Lingkungan Fisik yang Mempengaruhi Keberadaan Kapang *Aspergillus sp.* Dalam Ruang Perpustakaan. *Higeia*. 2(3).
- Mayasari, A., Zulkarnain, Sari A., 2020. Analisis Lingkungan Fisik Udara Terhadap Angka Kuman di Rumah Sakit. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 13 (1).
- Sukmawati, E., Manyullei, S., Cahyani, V.D. 2017. Kualitas Bakteriologis Udara Dalam Ruang Perawatan VIP Anak RSUD H. Padjonga Daeng Ngalle Kabupaten Takalar. *Prosiding Seminar Nasional Biology for Life*. Gowa.
- Walid, A., Novitasari, N., Wardany, K. 2019. Studi Morfologi Koloni Bakteri Udara di Lingkungan Fakultas Tarbiyah dan Tadris Institut Agama Islam Negeri Bengkulu. *JIPI* 3 (1).
- Wismana, W.S. 2016. Gambaran Kualitas Mikrobiologi Udara Kamar Operasi dan Keluhan Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 8(2).
- Wulandari. E. 2013. Faktor Yang Berhubungan Dengan Keberadaan *Streptococcus* di Udara Pada Rumah Susun Kelurahan Bandarharjo Kota Semarang Tahun 2013. *Unnes Journal of Public Health*. 2 (4).

BAB 4

STANDAR KUALITAS UDARA

Oleh Rahmawati

4.1 Pendahuluan

Udara merupakan campuran banyak komponen yang terdiri dari gas, partikel padat, cair, energi, ions, dan zat organik yang terdistribusi acak dan bebas mengikuti volume bentuk ruang. Secara umum komposisi udara kering dan bersih pada homosfera antara lain nitrogen, oksigen, argon, karbondioksida, neon, helium, methan, kripton, nitrous oksida, hidrogen, xenon, dan ozon (Cahyono, 2017).

Udara merupakan atmosfer yang ada di sekeliling bumi yang berfungsi untuk kehidupan dan terdapat oksigen (O_2) untuk bernafas, karbondioksida (CO_2) untuk proses fotosintesis oleh klorofil daun, dan ozon (O_3) untuk menahan sinar ultraviolet dari matahari. Komposisi udara terutama uap air (H_2O) sangat dipengaruhi oleh keadaan suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Kegiatan yang berpotensi menaikkan konsentrasi CO_2 seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran atau sekumpulan massa manusia dalam ruangan terbatas yaitu karena proses pernafasan (Khairiah, *et al.*, 2012).

Udara merupakan hal yang sangat vital bagi kelangsungan hidup makhluk hidup. Makhluk hidup tidak akan bisa bertahan hidup tanpa adanya udara, bahkan hanya beberapa menit saja. Hal ini karena udara mengandung banyak gas-gas yang dibutuhkan, terutama untuk bernafas, yaitu gas oksigen. Makhluk hidup memerlukan keadaan udara yang bersih dan sehat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, terutama untuk bernafas (Wardhani, 2019).

Udara dibagi menjadi dua yaitu udara luar ruangan dan udara dalam ruangan. Kualitas udara dalam ruangan dapat didefinisikan bahwa udara yang berada dalam suatu bangunan yang ditempati dalam kurun waktu sekurang-kurangnya 1 jam oleh orang dengan berbagai macam kondisi status kesehatan. Sebagian besar manusia menghabiskan 90 % waktunya dalam ruangan. Hal ini dapat menimbulkan efek yang signifikan apabila kualitas udara dalam ruangan melebihi baku mutu yang ditetapkan. Kualitas udara yang kurang baik akan membawa pengaruh negatif dalam bentuk gangguan kesehatan (Wulandari, 2013).

Dalam upaya menjaga mutu udara ambien agar dapat memberikan daya dukung bagi makhluk hidup untuk hidup secara optimal, maka dilakukan pencegahan atau penanggulangan udara serta pemulihan mutu udara. Pencemaran udara semakin memperlihatkan, seiring dengan semakin meningkatnya kegiatan transportasi, industri, perkantoran, dan perumahan yang memberikan kontribusi cukup besar terhadap pencemaran udara. Udara yang tercemar dapat menyebabkan gangguan kesehatan, terutama gangguan pada organ paru-paru, pembuluh darah, dan iritasi mata dan kulit. Pencemaran udara karena partikel debu dapat menyebabkan penyakit pernafasan kronis seperti bronchitis, asma bronchial, dll. Pencemar udara yang berupa gas dapat langsung masuk ke dalam tubuh sampai paru-paru dan diserap oleh sistem peredaran darah (DIY, 2013).

Berbagai kegiatan yang berasal dari industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan merupakan sumber-sumber pencemaran udara dan menghasilkan peranan yang sangat besar terhadap pencemaran udara yang dikeluarkan di lingkungan sekitar (Prasetyotomo, *et al.*, 2015). Zat pencemar udara dari kegiatan transportasi kendaraan bermotor yaitu CO, NO_x, Hidrokarbon, SO_x, Pb, dan partikulat. Polusi udara yang terbentuk dalam ruangan bersumber dari kendaraan bermotor mengakibatkan partikulat karena umumnya kendaraan bermotor menggunakan bahan bakar timbal. Sumber utama pencemar udara

yang dikeluarkan kendaraan bermotor yaitu gas CO (Annisa & Octavy, 2013).

Timbulnya bahan atau zat-zat lain dalam udara dengan jumlah tertentu serta berada di udara dalam durasi waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia dan makhluk hidup. Kemungkinan di suatu tempat dijumpai debu bertaburan dimana saja yang berbahaya bagi kesehatan. Demikian juga suatu kota yang terkena polusi disebabkan oleh asap kendaraan bermotor atau angkutan lainnya yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan (Anindya, *et al.*, 2015).

4.2 Kualitas Udara Ambien

Udara ambien merupakan udara bebas di permukaan bumi pada lapisan atmosfer yang berada dalam wilayah Republik Indonesia, yang dibutuhkan dan dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Jika terdapat zat asing yang masuk ke dalam udara yang berbeda dengan penyusun udara baik jenis maupun komposisi, maka dapat dikatakan bahwa udara telah tercemar. Zat-zat asing akan mengubah komposisi udara dari keadaan normal, dan jika berlangsung lama akan mengganggu kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya yang membutuhkan dan menggunakan udara dalam beraktifitas sehari-hari.

Pencemaran udara ambien khususnya di perkotaan sangat memperlihatkan, seiring dengan bencana alam yang semakin sering terjadi serta meningkatnya aktivitas manusia dari sektor transportasi, industri, perkantoran, dan perumahan yang memberikan kontribusi cukup besar terhadap pencemaran udara. Kualitas udara ambien merupakan tahap awal untuk memahami dampak negatif cemaran udara terhadap lingkungan. Kualitas udara ambien ditentukan oleh kuantitas emisi cemaran dari sumber polusi, proses transportasi, konversi, dan penghilangan cemaran di atmosfer. Kualitas udara ambien akan menentukan

dampak negatif pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat dan kesejahteraan masyarakat (Prabowo & Muslim, 2018).

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas udara antara lain:

1. Sumber pencemar

Sumber pencemar dapat dihasilkan oleh aktivitas alam maupun aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Misalnya aktivitas alam yang menyebabkan pencemaran udara seperti kebakaran hutan, debu, gunung berapi, dll. Sedangkan aktivitas manusia yang dapat menjadi sumber pencemar antara lain kegiatan rumah tangga, pembakaran sampah, industri, transportasi, dll.

Sumber pencemar dapat diklasifikasikan menjadi dua, berdasarkan sumber asal pencemar yaitu pencemar udara primer dan sekunder. Pencemar udara primer memiliki komposisi yang tidak mengalami perubahan pada atmosfer secara kimia maupun fisika dalam jangka waktu yang panjang. Sedangkan pencemar udara sekunder merupakan cemaran yang dihasilkan oleh reaksi yang terjadi pada atmosfer seperti terjadinya reaksi oksidasi.

Berdasarkan zat pencemar, maka sumber pencemar udara diklasifikasikan menjadi dua yaitu pencemar spesifik dan indikator. Pencemar spesifik merupakan pencemar yang berasal dari sumber spesifik dari suatu tempat tertentu. Seperti zat amonia dari industri pupuk dan partikulat atau debu dari industri semen. Sedangkan berdasarkan keadaan sumber pencemarnya terdiri atas sumber tetap dan bergerak. Sumber tetap merupakan sumber pencemar yang tidak berpindah lokasi. Contohnya: industri, pembangkit listrik, dan pemukiman. Sumber bergerak adalah sumber pencemar udara yang dapat berpindah tempat. Seperti kendaraan bermotor, pesawat terbang, dan kereta api.

Sumber pencemar udara berdasarkan distribusinya terdistribusi atas sumber titik, garis, dan area. Sumber titik merupakan sumber pencemar yang berada di tempat tertentu, seperti industri. Sumber garis adalah sumber pencemar yang dapat berpindah tempat sehingga terdistribusi pada jarak tertentu, seperti kendaraan bermotor. Sedangkan sumber area merupakan sumber pencemar yang dapat terdistribusi dalam area tertentu, seperti kebakaran hutan (Perpres, 2010).

2. Suhu dan kelembaban udara

Pergerakan mendadak lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan inversi atmosfer, yaitu kondisi pada saat udara dingin akan terperangkap dan tidak dapat keluar dari kawasan tersebut dan akan menahan polutan tetap berada di permukaan sehingga semakin lama akan semakin meningkatkan konsentrasi. Pada keadaan tersebut, sama sekali tidak ada terjadi pertukaran udara di permukaan bumi, sehingga dalam beberapa hari atau minggu kondisi ini dapat bertahan, maka udara yang berada di dekat permukaan bumi akan penuh dengan polutan. Dengan demikian dapat mengakibatkan kondisi yang sangat kritis bagi kesehatan makhluk hidup.

Kuantitas kelembaban udara yang tinggi dapat berpengaruh pada kualitas udara ambien, udara yang lembab dapat meningkatkan kadar uap di udara. Kadar uap yang tinggi dapat menyebabkan reaksi dengan pencemar yang terdapat di udara dan dapat menghasilkan unsur lain. Unsur tersebut dapat menjadi pencemar sekunder atau unsur yang tidak berbahaya.

3. Topografi

Di dataran rendah angin cenderung membawa polutan terbang ke seluruh penjuru daerah dan dapat melewati batas negara dan dapat mencemari udara di negara lain. Di

dataran tinggi sering terjadi inversi atmosfer sehingga polutan hanya berada di kawasan tersebut, dan tetap menahan polutan berada dipermukaan bumi. Di daerah lembah, aliran angin sedikit sekali dan tidak bertiup ke segala arah. Keadaan ini akan menahan polutan yang ada dipermukaan bumi

4. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin dapat dipengaruhi oleh perbedaan tekanan udara pada suatu tempat dan arah angin. Pada umumnya polutan yang berada di atmosfer dapat terdispersi dengan dua cara yaitu melalui turbulensi yang terjadi pada atmosfer dan kecepatan angin

Kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan sesuai arah angin sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya kecepatan angin yang lemah, maka polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemar (Faudzi, 2012).

4.3 Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Sedangkan sumber pencemar udara adalah setiap usaha dan atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya ((MENLHK), 2020).

Perlindungan mutu udara ambien didasarkan pada baku mutu udara ambien, status mutu udara ambien, baku mutu emisi, ambang batas emisi gas buang, baku tingkat gangguan, ambang batas kebisingan, dan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Baku mutu udara ambien nasional dapat ditinjau kembali setelah 5 tahun (Perpres, 2010).

Tabel 4.1 : Parameer Baku Mutu Udara Ambien

No	Parameter	Waktu	Baku Mutu	Metode Analisis /
		Pengukuran	mg/m ³	Peralatan
1	SO ₂	1 jam	900	Pararosanalin
		24 jam	365	Spektrofotometer
		1 tahun	60	
2	CO	1 jam	30.000	NDIR/
		24jam	10.000	NDIR analyzer
		1 tahun		Spektroskopy
3	NO ₂	1 jam	400	Saltzman/
		24 jam	150	Spektrofotometer
		1tahun	100	
4	O ₃	3 jam	160	Chemiluminescent/
				Spektrofotometer
5	HK	1 jam	400	Flame Ionization/
		24 jam	150	Gas Chromatografi
		1 tahun	100	
6	PM ₁₀	24 jam	150	Gravimetrik/
				Hi-Volt

Sumber: (Perpres, 2010)

4.4 Indeks Standar Pencemar Udara

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan konsep indeks yang dijadikan rujukan kategori udara ambien. Udara ambien dalam atmosfer akan terus mengalami perubahan akibat aktivitas kehidupan manusia maupun kejadian alamiah. Setiap aktivitas akan menghasilkan sampah atau hasil sampingan yang masuk kembali ke dalam sistem atmosfer. Nilai ISPU tidak memiliki satuan, tetapi merupakan angka absolut yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di suatu tempat. Penetapan kriteria ISPU didasarkan pada dampaknya terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya. Data ISPU diperoleh dari pengoperasian stasiun pemantauan kualitas udara ambien

otomatis. Sedangkan parameter ISPU meliputi partikulat (PM10), CO, SO₂, NO₂, dan O₃ (Prabowo & Muslim, 2018).

Saat ini indeks standar kualitas udara yang digunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Dalam keputusan tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan diantaranya bahwa untuk memberikan kemudahan dari keseragaman informasi kualitas udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara ((MENLHK), 2020).

ISPU merupakan angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang di dasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya. ISPU ditetapkan dengan cara mengubah kadar pencemar udara yang terukur menjadi suatu angka yang tidak berdimensi. Kategori angka rentang ISPU dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kategori Angka Rentang ISPU

Kategori	Angka Rentang	Keterangan	Apa yang dilakukan
Baik	1 – 50	Tingkat kualitas udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan.	Sangat baik melakukan aktivitas di luar
Sedang	51 – 100	Tingkat kualitas udara masih dapat	Kelompok sensitif: Kurangi

Kategori	Angka Rentang	Keterangan	Apa yang dilakukan
		diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan	aktivitas fisik yang terlalu lama atau berat. Setiap orang: Masih dapat beraktivitas di luar
Tidak Sehat	101 – 200	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan	Kelompok sensitif: Boleh melakukan aktivitas di luar, tetapi mengambil rehat lebih sering dan melakukan ringan.
Sangat Tidak Sehat	201 – 300	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar	Kelompok sensitif: Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas dalam ruangan. Setiap orang: Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam

Kategori	Angka Rentang	Keterangan	Apa yang dilakukan
			ruangan
Berbahaya	≥ 301	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat	Kelompok sensitif: Tetap dalam ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas Setiap orang: Hindari semua aktivitas di luar

Sumber: ((MENLHK), 2020)

Kategori ISPU diklasifikasikan menjadi lima kategori, yaitu kondisi baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Kondisi baik memiliki tingkat kualitas udara yang sangat baik dan tidak memberikan dampak negatif bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Kondisi sedang memiliki tingkat kualitas udara yang masih dapat diterima oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Kondisi tidak sehat memiliki tingkat kualitas udara yang akan berdampak negatif pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kondisi sangat tidak sehat memiliki tingkat kualitas udara yang dapat menimbulkan resiko terhadap kesehatan pada makhluk hidup yang terpapar. Kondisi berbahaya memiliki tingkat kualitas udara yang sangat berdampak negatif untuk makhluk hidup dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius pada makhluk hidup, sehingga kondisi ini diperlukan penanganan yang cepat untuk mengurangi dampak negatif bagi manusia dan makhluk hidup lainnya ((MENLHK), 2020).

Parameter-parameter dasar untuk ISPU dan periode waktu pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini,

Tabel 4.3 : Periode Pengukuran Rerata Parameter ISPU

Parameter	Waktu Pengukuran (jam)
Partikulat, PM10	24
Sulfur dioksida, SO ₂	24
Karbon monoksida, CO	8
Ozon, O ₃	1
Nitrogen dioksida, NO ₂	1

Sumber: ((MENLHK), 2020)

Adapun pengaruh ISPU untuk setiap parameter pencemar dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini,

Tabel 4.4 : Pengaruh ISPU untuk Setiap Parameter Pencemar

Kategori	Rentang	NO₂	O₃	CO	SO₂	Partikulat
Baik	0 – 50	Sedikit berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ selama 4 jam	Tidak ada efek	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi O ₃ selama 4 jam	Tidak ada efek
Sedang	51 – 100	Berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Perubahan kimia darah tapi tidak terdeteksi	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101 - 199	Bau dan kehilangan warna, peningkatan reaktivitas	Penurunan pada kemampuan atletik yang berlatih	Peningkatan pada gejala kardiovaskuler pada	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotor

Kategori	Rentang	NO ₂	O ₃	CO	SO ₂	Partikulat
		s pembuluh tenggorokan pada penderita asma	keras	perokok yang sakit jantung		an debu diman- mana
Sangat tidak sehat	200 - 299	Meningkatnya sensitivitas yang berpenyakit asma dan bronchitis	Olahraga ringan mengakibatkan pengaruh pernafasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya gejala kardiovaskuler pada orang bukan perokok yang sakit jantung dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas yang berpenyakit asma dan bronchitis	Meningkatnya sensitivitas yang berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	300 – lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber: ((MENLHK), 2020)

Batas ISPU dalam satuan SI dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5 : Batas Indeks standar pencemar Udara dalam Satuan SI

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	24 jam PM ₁₀	24 jam SO ₂	8 jam CO	1 jam O ₃	1 jam NO ₂
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
50	50	80	5	120	(2)
100	150	365	10	235	(2)
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57.5	1200	3750

Sumber: ((MENLHK), 2020)

Penentuan ISPU berdasarkan hasil pengukuran udara ambien dapat dilakukan dengan perhitungan bahwa:

- Konsentrasi ambien dinyatakan dalam (Xx) dalam satuan ppm, mg/m³
- Angka nyata ISPU dinyatakan dalam (I)
- Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah:

$$Xx \rightarrow I$$

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib \quad (*)$$

Keterangan:

I = ISPU terhitung

IA = ISPU batas atas

IB = ISPU batas bawah

XA = Ambien batas atas

XB = Ambien batas bawah

Xx = Kadar ambien nyata hasil pengukuran ((MENLHK), 2020).

4.5 Baku Mutu Udara Emisi

Baku mutu udara emisi merupakan batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber pencemaran ke udara, sehingga tidak mengakibatkan terlampaunya baku mutu udara ambien. Semua kegiatan yang membuang limbah gas ke udara ditetapkan mutu emisi. Mutu emisi dari limbah gas yang dibuang ke udara tidak melampaui baku mutu udara emisi yang telah ditetapkan serta tidak menyebabkan penurunan kualitas udara (Prabowo & Muslim, 2018).

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.13 Tahun 1995, tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bahwa terdiri dari jenis kegiatan industri besi dan baja, industri pulp dan kertas, pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara. Setiap penanggung jawab jenis kegiatan wajib memenuhi ketentuan seperti:

1. Membuat cerobong emisi yang dilengkapi sarana pendukung dan alat pengaman,
2. Memasang alat ukur pemantauan yang meliputi kadar dan laju air volume setiap cerobong emisi yang tersedia serta alat ukur arah dan kecepatan angin,
3. Melakukan pencatatan harian hasil emisi yang dikeluarkan setiap cerobong emisi,
4. Menyampaikan laporan hasil pemeriksaan sekurang-kurangnya sekali dalam 3 bulan,
5. Melaporkan setiap terdapat kejadian yang tidak normal dan atau dalam keadaan darurat yang mengakibatkan baku mutu emisi dilampaui.

Tabel 4.6 : Baku Mutu Emisi untuk Industri Besi dan Baja

No.	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m³)
1	Penanganan Bahan Baku (<i>Raw Material Handling</i>)	Total Partikel	150
2	Tanur Oksigen Basa (<i>Basic Oxygen Furnace</i>)	Total Partikel	150
3	Tanur Busur Listrik (<i>Electric Arc Furnace</i>)	Total Partikel	150
4	Dapur Pemanas (<i>Reheating Furnace</i>)	Total Partikel	150
5	Dapur Proses Pelunakan Baja (<i>Annealing Furnace</i>)	Total Partikel	150
6	Proses Celup Lapis Metal (<i>Acid Pickling & Regeneration</i>)	Total Partikel Hydrochloric Acid Fumes (HCl)	150 5
7	Tenaga Ketel Uap (<i>Power Boiler</i>)	Total Partikel Sulfur Dioksida (SO ₂) Nitrogen Oksida (NO ₂)	230 800 1000
8	Semua Sumber	Opasitas	20 %

Sumber: ((MENLH), 1995)

Catatan:

1. Nitrogen oksida ditentukan sebagai NO_2
2. Volume gas dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atm)
3. Untuk sumber pembakaran partikulat dikoreksi sampai 10 % oksigen
4. Standar di atas berlaku untuk proses kering
5. Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan dan dikembangkan untuk memperoleh hubungan korelasi dengan pengamaan total partikel

Tabel 4.7 : Baku Mutu Emisi Industri Pulp dan Kertas

No.	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m^3)
1	Tungku Recovery	Total Partikel	230
	<i>(Recovery Furnace)</i>	Total Sulfur Tereduksi	10
		<i>(Total Reduced Sulfur - TRS)</i>	
2	Tanur Putar Pembakaran	Total Partikel	350
	Kapur <i>(Lime Klin)</i>	Total Sulfur Tereduksi	28
		<i>(Total Reduced Sulfur - TRS)</i>	
3	Tangki Pelarutan Lelehan	Total Partikel	260
	<i>(Smelt Dissolving Tank)</i>	Total Sulfur Tereduksi	28
		<i>(Total Reduced Sulfur - TRS)</i>	
4	Digester	Total Sulfur	10

No.	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
		Tereduksi	
		(<i>Total Reduced Sulfur – TRS</i>)	
5	Unit Pemutihan	Klorin (Cl ₂)	10
	(<i>Bleach Plant</i>)	Klorin Dioksida (ClO ₂)	125
6	Tenaga Ketel Uap	Total Partikel	230
	(<i>Power Boiler</i>)	Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	1000
7	Semua sumber	Opasitas	35 %

Sumber; ((MENLH), 1995)

Catatan:

1. TRS ditentukan sebagai H₂S dan TRS meliputi Hidrogen Sulfida, Metil Merkaptan, Dimetil Sulfida, Dimetil Disulfida
2. Nitrogen oksida ditentukan sebagai NO₂
3. Koreksi 8% oksigen untuk tungku recovery.
4. Koreksi 7% oksigen untuk Boiler.
5. Koreksi 10% untuk sumber lain (selain tungku recovery dan Boiler)
6. Volume gas dalam keadaan standar (25 °C dan tekanan 1 atm)
7. Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan dan dikembangkan untuk memperoleh hubungan korelasi dengan pengamaan total partikel.

Tabel 4.8 : Baku Mutu Emisi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Batubara

No.	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
1	Total partikel	150
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)	750
3	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	850
4	Opasitas	20 %

Sumber: ((MENLH), 1995)

Catatan:

- Nitrogen oksida ditentukan sebagai NO₂
- Konsentrasi partikulat dikoreksi sebesar 3 % O₂
- Volume gas dalam keadaan standar (25 °C dan tekanan 1 atm)
- Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan dan dikembangkan untuk memperoleh hubungan korelasi dengan pengamatan total partikel.

Tabel 4.9 : Baku Mutu Emisi untuk Industri Semen

No.	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
1	Tanur Putar	Total partikel	80
	(<i>Kilns</i>)	Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1000
		Opasitas	20 %
2	Pendingin Terak	Total partikel	80
	(<i>Clibkers</i>)		

No.	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
	<i>Cooler</i>)		
3	Milling	Total partikel	80
	Grinding		
	Alat Pngangkut (<i>Conveying</i>)		
	Pengepakan (<i>Bagging</i>)		
4	Tenaga Ketel Uap	Total partikel	230
	(<i>Power Boiler</i>)	Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1000

Sumber: ((MENLH), 1995)

Catatan:

- Nitrogen oksida ditentukan sebagai NO₂
- Volume gas dalam keadaan standar (25 °C dan tekanan 1 atm)
- Konsentrasi partikel untuk sumber pembakaran (misal Kiln) harus dikoreksi sampai 7% oksigen
- Standar di atas berlaku untuk proses kering
- Batas maksimum total partikel untuk proses basah = 250 mg/m³, shaft Kiln = 500 mg/m³
- Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan dan dikembangkan untuk memperoleh hubungan korelasi dengan pengamatan total partikel.

Tabel 4.10 : Baku Mutu Emisi untuk Jenis Kegiatan Lain

No.	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
	Bukan Logam	
1	Ammonia (NH ₃)	0.5
2	Gas Klorin (Cl ₂)	10
3	Hidrogen Klorida (HCl)	5
4	Hidrogen Fluorida (HF)	10
5	Nitrogen Oksida (NO ₂)	1000
6	Opasitas	30 %
7	Partikel	350
8	Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
9	Total Sulfur Tereduksi (H ₂ S)	35
	<i>Total Reduced Sulphur</i>	
	Logam	
10	Air Raksa (Hg)	5
11	Arsen (As)	8
12	Antimon (Sb)	8
13	Kadmium (Cd)	8
14	Seng (Zn)	50
15	Timah Hitam (Pb)	12

Sumber: ((MENLH), 1995)

Catatan:

- Volume gas dalam keadaan standar (25 °C dan tekanan 1 atm)

4.6 Parameter Kualitas Udara

Dalam kehidupan sehari-hari, udara yang dibutuhkan oleh manusia sekitar 13.64 kg, makanan dibutuhkan hanya 1.37 kg, sedangkan kebutuhan air sekitar 2.05 kg. Kebutuhan udara sangat

penting untuk pemenuhan kebutuhan oksigen sebagai pembakaran energi dan pelepasan karbon dioksida. Berdasarkan kebutuhan udara maka manusia dalam waktu 1 menit dapat membutuhkan oksigen sekitar 1.57 sampai 3.14 liter pada saat bekerja normal (Wiraadiputri, 2012).

Tabel 4.11 : Komposisi Udara Bersih

Jenis Gas	Volume (%)
Nitrogen (N)	78.09
Oksigen (O ₂)	20.95
Karbon dioksida (CO ₂)	0.032
Helium (He)	0.01
Argon (Ar)	0,93
Neon (Ne)	0.01
Xeon (Xe)	0,01
Kripton (Kr)	0.01
Metan (CH ₄)	Sedikit Sekali
Karbon Monoksida (CO)	Sedikit Sekali
Amoniak (NH ₃)	Sedikit Sekali
Nitrat Oksida (N ₂ O)	Sedikit Sekali
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Sedikit Sekali

Sumber: (Khairiah, et al., 2012)

Pemantauan kualitas udara ambien merupakan suatu kaedah yang sistematis untuk menafsirkan tahap pencemaran udara di lingkungan tertentu untuk jangka panjang. Oleh karena itu, pemantauan dan pengukuran bahan pencemar sangat penting dan harus sesuai dengan peraturan undang-undang yang berlaku. Adapun jenis parameter kualitas udara terdiri dari parameter fisik, kimia dan biologi (Kurniawan, 2019).

1. Parameter Fisik

1) *Particulate Matter*

Debu partikulat merupakan salah satu polutan yang sering disebut sebagai partikel melayang di udara

(*suspended particulate matter/spm*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik dalam maupun di luar ruangan, debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Partikel debu akan berada dalam udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Selain itu dapat membahayakan terhadap kesehatan yang dapat mengganggu daya tembus pandangan mata.

2) Suhu

Suhu yang nyaman merupakan suatu kondisi yang dirasakan dan menunjukkan kepuasan terhadap suhu yang ada di lingkungan. Untuk pekerja kantor dengan pekerjaan yang menuntut harus duduk menetap dan bekerja selama beberapa jam dengan tingkat kebugaran dan pergerakan udara merupakan faktor yang cukup berpengaruh terhadap persepsi seseorang pada kenyamanan suhu.

3) Kelembaban

Kelembaban udara yang ekstrim dapat berkaitan dengan buruknya kualitas udara. Kelembaban relatif yang rendah dapat mengakibatkan terjadinya gejala seperti iritasi mata, iritasi tenggorokan dan batuk-batuk. Beberapa jenis virus hidup pada tingkat kelembaban yang tinggi atau rendah tetapi tidak pada level kelembaban sedang. Selain itu kelangsungan hidup mikroorganisme dan debu rumah yang terdapat pada permukaan akan meningkat pada kelembaban relatif >60% dan dapat menyebabkan gangguan pernafasan.

4) Pencahayaan

Cahaya merupakan pancaran gelombang elektromagnetik yang melayang melewati udara , sedangkan iluminasi merupakan jumlah kualitas cahaya yang jatuh ke suatu permukaan. Apabila suatu gedung memiliki tingkat iluminasi tidak memenuhi syarat maka dapat menyebabkan kelelahan mata.

5) Kecepatan aliran Udara

Pergerakan udara yang tinggi akan mengakibatkan suhu tubuh menurun dan tubuh merasakan suhu yang lebih rendah. Tetapi apabila kecepatan aliran udara tetap maka dapat membuat udara terasa sesak dan buruknya kualitas udara.

6) Bau

Bau merupakan salah satu permasalahan terhadap tingkat kualitas udara yang buruk dan dapat dirasakan secara jelas. Bau zat kimia yang khas dapat mengindikasikan bahwa terdapat konsentrasi zat kimia yang tinggi seperti aseton, formaldehid, dll. Untuk polutan tersebut, nilai ambang bau yang baik apabila pada konsentrasi tertentu tidak menimbulkan gangguan kesehatan.

7) Kebisingan

Kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Kebisingan dapat berasal dari mesin-mesin industri, alat perkantoran yang menimbulkan bunyi cukup tinggi, dll (Kurniawan, 2019).

2. Parameter Kimia

1) Karbon dioksida (CO_2)

Karbondioksida pada dasarnya bukan senyawa yang dapat mempengaruhi kontaminan udara dalam ruangan tetapi tetap diukur untuk menilai sistem ventilasi ruangan karena memiliki aktivitas yang bervariasi dalam rangka investigasi kualitas udara dalam ruangan. Konsentrasi karbondioksida dalam atmosfer yang tidak tercemar sekitar 0.03 % tetapi 5 % udara yang dikeluarkan manusia adalah karbondioksida. Apabila berada dalam ruangan yang memiliki ventilasi kurang baik, maka karbondioksida menjadi meningkat dalam ruangan.

2) Karbon monoksida (CO)

Karbonmonoksida dibentuk dari hasil pembakaran tidak sempurna material yang tersusun dari karbon. Karbonmonoksida dapat berasal dari peralatan-peralatan yang digunakan dan mudah terbakar pada udara ruang, dapat juga berasal dari asap kendaraan bermotor. Efek kesehatan yang ditimbulkan oleh karbonmonoksida seperti dapat mengikat Hb (hipoksia), kelelahan, sakit kepala, dll. Sedangkan level COHb di atas 4-5 % dapat mengakibatkan gejala kardiovaskuler. Pengendalian CO pada udara dalam ruangan antara lain pembatasan merokok, penerapan sistem ventilasi yang sesuai, dll.

3) Nitrogen dan Sulfurdioksida (NO_x dan SO_x)

Sumber pencemar nitrogen oksida berasal dari pembakaran pada suhu tinggi. NO yang terbentuk akan mengalami oksidasi lebih lanjut oleh oksigen atau ozon dan menghasilkan NO_2 . Nitrogen oksida yang terdapat dalam udara ambien dapat masuk ke dalam ruangan yang akan mempengaruhi kualitas udara. Apabila nitrogen bereaksi dengan oksigen akan memberikan

hasil reaksi dengan membentuk senyawa N_2O , NO , dan NO_2 . Nitrogen dioksida dibentuk sebagai hasil pembakaran melalui proses di atmosfer.

4) Ozon (O_3)

Ozon dapat muncul pada udara ambien karena terjadi pajanan dari nitrogen dioksida dan hidrokarbon. Gas ini dalam lingkungan perkantoran dapat dihasilkan dari pengoperasian mesin-mesin elektrik ataupun mesin fotokopi. Dampak bagi kesehatan dapat memicu gangguan/ iritasi pernafasan, batuk, gatal-gatal pada tenggorokan, dll. Hal yang dapat dilakukan dengan dengan pengadaan ventilasi yang memadai dan pengecekan sistem ventilasi secara teratur.

5) Formaldehide

Formaldehid biasa digunakan pada produk-produk kosmetik dan tekstil, sebagai bahan perekat, memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap masalah kualitas udara dalam ruangan. Pada dosis atau jumlah pajanan yang melebihi 1 – 3 ppm akan menyebabkan iritasi selaput lendir, gangguan kulit kering secara kronik maupun akut. Pengendalian terhadap formaldehid dapat dilakukan dengan peningkatan kualitas ventilasi pada saat penggunaan produk formaldehid baru, pengendalian suhu dan kelembaban (Kurniawan, 2019)

3. Parameter Biologi

Mikroorganisme dapat muncul dalam waktu dan tempat yang berbeda. Pada penyebaran lewat udara, mikroorganisme harus mempunyai habitat untuk tumbuh dan berkembang biak.seringkali tumbuh pada air yang tergenang atau permukaan interior yang basah. Selain itu

juga dapat dijumpai pada sistem ventilasi atau karpet yang terkontaminasi dengan kelembaban rendah.

1) Jamur

Pajanan terhadap kapang dan khamir terjadi setiap hari. Ada 3 faktor yang mempengaruhi populasi fungi yaitu teknik konstruksi yang buruk, kegagalan dalam mengidentifikasi atau memperbaiki kerusakan air, kesalahan dalam mengoperasikan dan menjaga sistem AC. Dalam penelitian sampel udara dalam suatu ruangan perlu metode yang terstandarisasi untuk menentukan kandungan mikroorganisme.

2) Bakteri

Bakteri juga merupakan makhluk hidup yang tidak kasat mata, dan dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan serta efek deteriorasi dalam ruangan apabila tumbuh dan berkembang biak. Gangguan kesehatan yang diakibatkan dapat bervariasi tergantung dari jenis dan rute pajanan. Bakteri yang terdapat dalam ruangan dapat memberi pengaruh bagi manusia seperti saat bernafas, batuk, dan bersin (Kurniawan, 2019).

4.7 Kualitas Udara Dalam Ruangan

Kualitas lingkungan kerja perkantoran wajib memenuhi syarat kesehatan yang meliputi persyaratan fisik, kimia dan biologi sesuai dengan ketentuan perundang-undangan. Persyaratan minimum kualitas udara dalam ruangan perkantoran diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016 tentang Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja Perkantoran ((Permenkes), 2016).

**Tabel 4.12 : Persyaratan Minimum Kualitas Udara dan Ruangan
Perkantoran**

N o.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Matode	Keterang an
1	Fisika				
	1. Kebisingan	dBA		Direct Reading	Batas minimum dan maksimu m
	a. Ruang kantor (umum/terbuka)		55-65		
	b. Ruang kantor (pribadi)		50-55		
	c. Ruang umum dan kantin		65=75		
	d. Ruang pertemuan dan rapat		65-75		
	2. Pencahayaan	Lux		Direct Reading	Batas minimum
	a. Ruang kerja		300		
	b. Ruang gambar		750		
	c. Resepsionis		300		
	d. Ruang arsip		150		
	e. Ruang rapat		300		
	f. Ruang makan		250		
	3. Suhu	C		Direct Reading	Batas minimum dan maksimu m
	a. Ruang kerja		23-26 °C		
	b. Lobi dan koridor		23-28 °C		
	4. Kelembaban	%		Direct Reading	Batas minimum

N o.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Matode	Keterangan
					dan maksimum
	a. Ruang kerja		40-60		
	b. Lobi dan koridor		30-70		
	5. Pergerakan Udara	m /dtk	0.15-0.5	Direct Reading	Batas minimum dan maksimum
	6. EMF	mT	0.5	Direct Reading	Batas maksimum
	7. UV	Mw/cm ²	0.0001	Direct Reading	Batas maksimum
2	Kimia				
	a. Oksigen (O ₂)	%	19.5-22.0	Direct Reading	Batas minimum dan maksimum
	b. Karbon Monoksida (CO)	ppm/8 jam	10.0	NDIR, elektroteknikal	Batas maksimum
	c. Karbon Dioksida (CO ₂)	ppm	1000	Direct Reading	Batas maksimum
	d. <i>Volatile Organic Compounds</i> (VOCs)	Ppm	3	Direct Reading	Batas maksimum
	e. Formaldehid	Ppm	0.1	Gas Chromatography	Batas maksimum
	f. Ozon	Ppm	0.5	Direct Reading	Batas maksimum

N o.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Matode	Keterangan
	g. Debu Respirabel (PM ₁₀)	mg / cm ³	0.15	Garvimetri	Batas maksimum
	h. Asbes bebas	f / cc	0.1	PCM	Batas maksimum
3	Mikrobiologi				
	a. Angka mikroorganisme	Koloni/ m ³	700	cfu/m ³	Batas maksimum
	b. Angka Kapang / Jamur	Koloni/ m ³	1000	cfu/m ³	Batas maksimum

Sumber: ((Permenkes), 2016)

4.8 Pencemaran Kualitas Udara Ambien

Polutan udara dapat secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi kesehatan manusia. Dampak yang dapat terjadi terhadap manusia secara akut dan kronis tergantung konsentrasi paparan yang masuk ke dalam tubuh manusia. Efek terhadap kesehatan manusia dapat berupa iritasi saluran pernafasan, iritasi mata, alergi pada kulit, hingga menyebabkan kanker. Efek negatif terhadap kesehatan akan mempengaruhi kemampuan manusia dalam melaksanakan pekerjaan, yang dapat mengakibatkan turunnya produktivitas dan kerugian dari segi ekonomi sehingga akan muncul konflik sosial ekonomi di kalangan masyarakat.

Selain berdampak terhadap kesehatan manusia, peningkatan polutan dapat berpengaruh pada turunnya produktivitas pertanian, merusak ekosistem, dan mempengaruhi estetika lingkungan. Komponen yang paling berdampak akibat pencemaran udara yaitu kesehatan dan kesejahteraan manusia, dengan terhitung sekitar 90% dari total kerusakan (Mukono, 2011).

Keterkaitan antara pencemaran udara diperkotaan dan kemungkinan adanya resiko terhadap kesehatan pada beberapa dekade belakangan ini. Pengaruh yang merugikan mulai dari meningkatnya kematian sampai pada gangguan estetika maupun kenyamanan. Gangguan kesehatan misalnya kanker pada paru-paru atau organ tubuh lainnya penyakit pada saluran tenggorokan yang bersifat akut maupun kronik, dan kondisi yang diakibatkan karena pengaruh bahan pencemar terhadap organ lain seperti paru, yaitu sistem saraf.

Salah satu jenis pencemar udara yang memberikan dampak besar terhadap kesehatan manusia adalah partikulat (PM_{10}). Sifat respirable dari PM_{10} yang dapat memicu terjadinya gangguan pernafasan yaitu infeksi saluran pernafasan akut. Selain itu ada beberapa efek kesehatan lainnya seperti efek toksik oleh penyerapan bahan beracun ke dalam darah (Pb, Cd, dan Zn), efek alergi atau hipersensitivitas (bahan kimia, dll), infeksi bakteri dan jamur, fibrosis (asbes), kanker (Cr, dan asbes), iritasi selaput lendir (asam dan basa), serta peningkatan gejala pernafasan (Pujiastuti, *et al.*, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- (MENLH), M. N. L. H., 1995. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-13/MENLH/3/1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak*, Jakarta: s.n.
- (MENLHK), P. M. L. H. D. K., 2020. *Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*. Jakarta: s.n.
- (Permenkes), P. M. K., 2016. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016 tentang Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja Perkantoran*, Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Anindya, P. K., Syafruddin & Andarani, P., 2015. Analisis Risiko Cemar TSP (Total Suspended Particulate) Pada Tahap Pembangunan Gedung Terhadap Kesehatan Pekerja (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Apartemen Paltrow City Semarang, Jawa Tengah). *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. 1-17.
- Annisa, A. A. S. & Octavy, P. E., 2013. Analisis Kualitas TSP dan Pb dalam Ruang pada Parkiran Basement dan Upper Ground (Studi Kasus Mall X Semarang). *DIPOIPTEKS: Jurnal Ilmiah Mahasiswa UNDIP*, 1(1), pp. 29-33.
- Cahyono, T., 2017. *Penyehatan Udara*. Yogyakarta: Penerbit ANDI (Anggota IKAPI).
- DIY, P., 2013. *Laporan Pemantauan Kualitas Udara Tahun 2013*, Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Faudzi, 2012. *Kajian Kadar Testosteron dan Cortisol dalam Darah pada Polisi Lalu Lintas (terpajan Polutan) dengan Polisi yang Bertugas Di Kantor (Tidak Terpajan Polutan) DKI Jakarta Tahun 2012*, Jakarta: Laporan Tugas Akhir, Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja Universitas Indonesia.

- Khairiah, Ashar, T. & Santi, D. N., 2012. Analisis Konsentrasi Debu Dan Keluhan Kesehatan Pada Masyarakat Di Sekitar Pabrik Semen Di Desa Kuala Indah Kecamatan Sei Suka Kabupaten Batu Bara Tahun 2012. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, pp. 1-7.
- Kurniawan, A., 2019. *Dasar-Dasar Analisis Kualitas Lingkungan*. Malang: Wineka Media.
- Mukono, H. J., 2011. *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Perpres, R. I., 2010. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara*, Jakarta: Republik Indonesia.
- Prabowo, K. & Muslim, B., 2018. *Buku Ajar Kesehatan Lingkungan: Penyehatan Udara*. Jakarta: PPSDMK BPPSDMK, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Prasetyotomo, D. E., Huboyo, H. S. & Hadiwidodo, M., 2015. Analisis Kualitas Total Suspended Particulate (TSP) dalam Ruangan Pada Proses Pengasapan (Studi Kasus: Sentra Pengasapan Ikan Bandarharjo Kota Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. 1-10.
- Pujiastuti, P., Soemirat, J. & Dirgawati, M., 2013. Karakteristik Anorganik PM10 di Udara Ambien terhadap Mortalitas dan Morbiditas pada Kawasan Industri di Kota Bandung. *Reka Lingkungan: Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(1), pp. 24-34.
- Wardhani, E., 2019. Profil Kualitas Udara Kota Cimahi Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(3), pp. 61-70.
- Wiraadiputri, P. A., 2012. *Studi Perbandingan Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) Di Dalam dan Di Luar Kelas (Studi Kasus: Sekolah Dasar Negeri Pondokcina 1 Depok)*, Depok: Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Wulandari, E., 2013. Faktor yang Berhubungan dengan Keberadaan Streptococcus di Udara Pada Rumah Susun Kelurahan Bandarharjo Kota Semarang. *Unnes Journal of Public Health*, 2(4), pp. 1-9.

BAB 5

TEKNIK PENGENDALIAN KUALITAS UDARA

Oleh Andi Zulfikar Syaiful

5.1 Pendahuluan

Pengendalian pencemaran udara merupakan teknik-teknik yang digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan emisi zat-zat yang dapat mencemari lingkungan dan atau membahayakan kesehatan manusia ke atmosfer. Pengendalian pencemaran udara adalah salah satu bidang utama dalam pengendalian pencemaran lingkungan, bersama dengan pengolahan air limbah, pengelolaan limbah padat, dan pengelolaan limbah berbahaya dan beracun (b3).

Udara dianggap tercemar bila mengandung zat-zat tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan dalam jangka waktu yang cukup lama yang diperkirakan dapat menyebabkan kerusakan atau efek negatif terhadap lingkungan. Seperti, efek buruk pada kesehatan manusia, properti, dan visibilitas atmosfer. Atmosfer rentan terhadap polusi dari sumber alami maupun dari aktivitas manusia. Beberapa fenomena alam, seperti letusan gunung berapi dan kebakaran hutan, mungkin tidak hanya berdampak lokal dan regional, tetapi juga berdampak global jangka panjang. Namun demikian, hanya polusi yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti industri dan transportasi, yang dapat dikurangi dan dikendalikan.

Sebagian besar kontaminan udara berasal dari proses pembakaran. Selama abad pertengahan, pembakaran batu bara untuk bahan bakar menyebabkan masalah polusi udara berulang di London dan kota-kota besar lainnya di Eropa. Dimulai pada abad

ke-19, setelah Revolusi Industri, peningkatan penggunaan bahan bakar fosil meningkat tajam sehingga meningkatkan pula kapasitas polusi udara. Munculnya sumber polusi udara bergerak seperti, kendaraan berbahan bakar minyak (bensin dan solar) memiliki dampak luar biasa terhadap masalah kualitas udara di kota-kota. Namun, baru pada pertengahan abad ke-20, upaya yang berarti dilakukan untuk mengatur atau membatasi emisi polutan udara dari sumber tidak bergerak dan bergerak serta untuk mengontrol kualitas udara pada skala lokal maupun regional.

Fokus utama regulasi polusi udara di negara-negara industri adalah melindungi kualitas udara diluar ruangan (ambien). Hal ini berkaitan dengan pengendalian sejumlah kecil polutan yang masuk dalam kriteria spesifik yang diketahui berkontribusi terhadap terjadinya kabut asap di perkotaan dan masalah kesehatan masyarakat yang kronis. Jenis polutan yang dimaksud meliputi partikulat halus, karbon monoksida, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, ozon, dan timbal. Sejak akhir abad ke-20, ada juga laporan mengenai efek berbahaya dari sejumlah kecil polutan udara lain yang disebut "racun udara". Sebagian besar racun udara adalah bahan kimia organik, terdiri dari molekul yang mengandung karbon, hidrogen, dan atom lainnya. Peraturan emisi khusus telah diterapkan terhadap jenis polutan seperti ini. Sebagai tambahan, bahan-bahan tersebut dalam jangka panjang, dapat menimbulkan "efek rumah kaca". Upaya kerja sama internasional telah dilakukan untuk mengendalikan polutan tersebut. Gas-gas pembentuk rumah kaca termasuk karbon dioksida, klorofluorokarbon (CFC), metana, dinitrogen oksida, dan ozon. Pada tahun 2009 Badan Perlindungan Lingkungan AS memutuskan bahwa gas rumah kaca menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan dapat ditetapkan sebagai polutan udara.

Cara terbaik untuk melindungi kualitas udara adalah dengan mengurangi emisi polutan dengan beralih ke penggunaan bahan bakar ramah lingkungan dan proses bersih (zero emisi). Jika kedua cara ini belum bisa dilakukan, maka dibutuhkan mekanisme

untuk mengendalikan emisi yang berpotensi menjadi polutan bagi udara ambien. Misalnya dengan cara mengumpulkan atau menangkap polutan tersebut sebelum dilepaskan ke atmosfer.

Berikut ini akan dijelaskan teknik pengendalian polutan berupa partikulat dan gas yang berasal dari sumber tak bergerak yang umum digunakan dalam dunia industri.

5.2 Teknik Pengendalian Partikulat

Polutan berupa partikulat di udara dapat dihilangkan dengan berbagai proses fisika. Jenis peralatan yang umum digunakan untuk menghilangkan partikulat tersebut meliputi *cyclone*, *wet scrubber*, *elektrostatic presipitator*, dan *fabric filter*. Pada dasarnya peralatan tersebut bekerja dengan cara mengumpulkan partikulat, kemudian saling menempel satu sama lain membentuk gumpalan yang dapat dengan mudah dikeluarkan dari aliran udara sehingga diperoleh udara yang bersih. Adapun kumpulan partikulat yang terperangkap, dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain.

Tiap-tiap unit pengendalian polusi udara memiliki mekanisme kerja yang berbeda, sehingga dalam menentukan/memilih unit pengendalian yang sesuai, perlu dilihat secara menyeluruh. Sebaiknya untuk memutuskan jenis unit pengendalian, perlu diperhatikan apakah dibutuhkan satu unit pengendalian saja atau kombinasi dari beberapa unit pengendalian. Sistem pengendalian harus dirancang berdasarkan kasus per kasus. Karakteristik utama dari partikulat yang memengaruhi pemilihan unit pengendalian meliputi korosifitas, reaktivitas, bentuk, densitas, dan terutama ukuran partikel. Faktor lainnya yang perlu dipertimbangkan adalah karakteristik aliran udara seperti tekanan, suhu, viskositas, laju aliran, efisiensi penyisihan, dan resistensi yang diijinkan terhadap aliran udara. Secara umum, sistem pengendali siklon (*cyclone*) sering digunakan untuk mengontrol emisi debu industri dan sebagai pengendali awal

sebelum melewati sistem pengendalian berikutnya. *Wet scrubber* biasanya digunakan untuk mengendalikan debu atau kabut yang mudah terbakar atau meledak dari sumber seperti fasilitas industri pemrosesan, industri kimia dan pengolahan limbah berbahaya, peralatan tersebut dapat menangani aliran udara panas dan partikel lengket. Sedangkan *elektrostatic precipitator* dan *fabric filter* sering digunakan pada pembangkit listrik.

5.2.1 Siklon (*Cyclone*)

Siklon bekerja berdasarkan prinsip pengaliran udara kotor secara berputar (spiral) di dalam ruang silinder (tabung). Udara kotor memasuki silinder dari arah tangensial (tegak lurus sumbu silinder) kemudian membentuk pusaran saat berputar di dalam silinder. Partikulat yang memiliki kelembaman yang lebih besar, bergerak melingkar dan dipaksa untuk membentur dinding silinder bagian dalam. Partikulat akan menempel sesaat kemudian akan meluncur ke bawah dinding melalui corong debu berbentuk kerucut di bagian bawah *cyclone*. Udara bersih berputar ke atas secara spiral melalui silinder yang lebih kecil (*inner cylinder*) dan keluar keudara sekitar. Debu partikulat yang terakumulasi pada bagian bawah siklon, secara berkala dikeluarkan untuk dibuang (EPA, 1991).



Gambar 5.1 : Siklon

(Sumber: *Encyclopedia Britannica, Inc.*)

Siklon paling baik digunakan untuk menghilangkan partikulat yang berukuran relatif kasar. Bahkan kinerjanya dapat mencapai efisiensi 90 persen untuk partikel yang ukurannya lebih besar dari 20 mikrometer. Namun demikian, siklon tidak cukup untuk memenuhi standar kualitas udara yang ketat. Siklon biasanya digunakan sebagai pengendali udara awal dan diikuti oleh peralatan pengendalian udara yang lebih efisien seperti *elektrostatic presipitator* dan *fabric filter* (Koch *et al*, 1977).

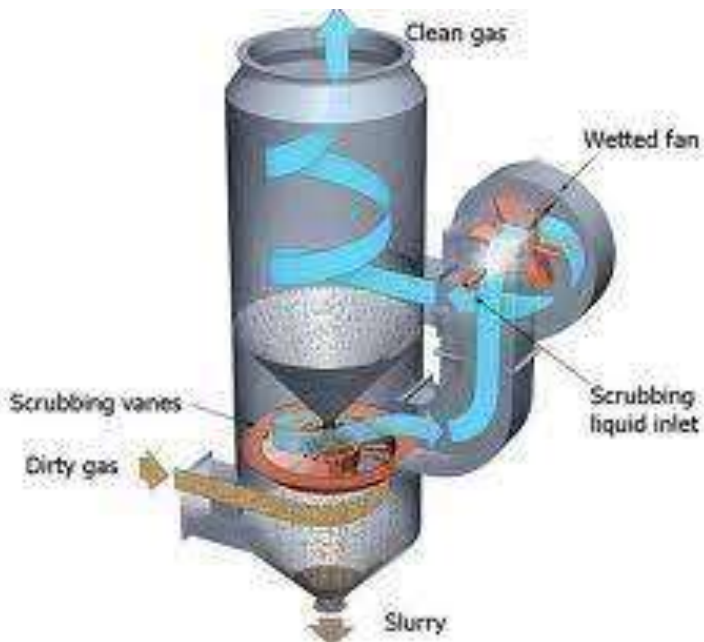
Keuntungan utama pengendali siklon adalah kesederhanaan dalam konstruksi, desain, dan ekonomi, disamping

itu karena tidak ada bagian yang bergerak, siklon relatif bebas perawatan. Ada dua klasifikasi utama siklon berdasarkan efisiensi: *siklon* efisiensi tinggi dan siklon aliran tinggi. Untuk siklon efisiensi tinggi, kecepatan gas masuk lebih tinggi sehingga memberikan gaya sentrifugal yang lebih tinggi. Untuk siklon aliran tinggi, umumnya memiliki diameter lebih besar, kisaran efisiensi sedang hingga rendah, dan dapat menangani laju aliran yang lebih besar. Siklon dapat disusun secara seri apabila efisiensi pemisahan akan ditingkatkan, laju aliran gas pembawa yang lebih tinggi, atau saat diperlukan untuk melindungi siklon dari partikel abrasif yang lebih besar (Ogawa, 1984). Tujuan utama dalam mendesain siklon adalah untuk menciptakan pusaran yang akan memusatkan partikel debu ke arah dinding kemudian akan jatuh terkumpul di bak penampungan (*hopper*). Kecepatan aliran masuk (*inlet*) gas, diameter partikel, dan perbandingan ukuran bagian-bagian mekanisme merupakan faktor penentu dalam kinerja siklon (Cooper *et.al*, 1994).

Kelebihan siklon diantaranya: biaya modal yang rendah, peralatan relatif sederhana, dapat dioperasikan pada temperatur tinggi, pemeliharaan mudah, merupakan sistem pengendali udara kering, dan lahan yang dibutuhkan untuk instalasi relatif kecil. Adapun kekurangannya: tidak cocok digunakan untuk mengemisikan partikulat basah, karena dapat terkumpul di dinding siklon atau inlet, efisiensi masih rendah untuk partikel yang sangat kecil, dan biaya operasinal yang tinggi karena tingginya perubahan tekanan yg dibutuhkan (Anonim, 2018)).

5.2.2 Wet Scrubber

Wet scrubber merupakan perangkat pengendalian polutan udara yang bekerja dengan cara menjebak partikel tersuspensi melalui kontak langsung dengan semprotan air atau cairan lain. Cairan yang disemprotkan berupa tetesan dalam jumlah banyak akan mengikat partikulat dari aliran udara saat mereka bersentuhan.



Gambar 5.2 : Wet Scrubber

(Sumber: <https://blog.oureducation.in/wet-scrubbers/>)

Jenis *wet scrubber* yang sering digunakan diantaranya *spray-tower scrubber*, dimana aliran udara yang mengalir dari bawah ke atas dibilas dengan air yang disemprotkan ke bawah melalui serangkaian nosel. Air yang digunakan sebagai pembersih, disirkulasi ulang hingga mencapai keadaan jenuh, kemudian dapat diganti dengan air pembersih baru yang telah terbebas dari partikulat. Hal ini perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya penyumbatan pada nosel. *Spray-tower scrubber* dapat menghilangkan 90 persen partikulat yang lebih besar dari 8 μm (EPA, 1991).

Pada *orifice scrubber* dan *wet-impingement scrubber*, aliran udara dan tetesan pembersih bertumbukan dengan permukaan padat. Menurut Hesketh *et al*, (1974) tumbukan dengan permukaan padat tersebut akan mengatomisasi tetesan,

mengurangi ukuran tetesan dan dengan demikian meningkatkan luas total permukaan kontak. Perangkat ini memiliki keunggulan tingkat resirkulasi air yang lebih rendah, dan memiliki efisiensi penyisihan sekitar 90 persen untuk partikel yang lebih besar dari 2 μm .

Venturi scrubber adalah jenis *wet scrubber* yang paling efisien. Efisiensinya mencapai lebih dari 98 persen untuk partikel yang berdiameter lebih besar dari 0,5 μm (Attwicker *et al*, 1979). Secara umum, efisiensi *wet scrubber* tergantung pada kecepatan relatif antara tetesan dan partikel. Pada *venturi scrubber*, kecepatan relatif yang tinggi dapat dicapai dengan menyuntikkan air kecepatan tinggi ke dalam saluran venturi yang dilalui udara sarat partikulat (Calvert *et al*, 1972)..

Kelebihan *wet scrubber* diantaranya: dapat menetralisasi partikel korosif dan yang mudah terbakar, dapat menurunkan emisi yang suhunya tinggi serta memungkinkan untuk menggabungkan dengan penyisihan gas, kebutuhan lahan relatif tidak luas. Sedangkan kekurangannya: menimbulkan masalah pencemaran air, produk dikumpulkan dalam kondisi basah, masalah korosi lebih sering timbul dibandingkan sistem kering, kehilangan tekanan dan energi yang dibutuhkan tinggi, dan kebutuhan biaya pemeliharaan relatif tinggi (Anonim, 2018).

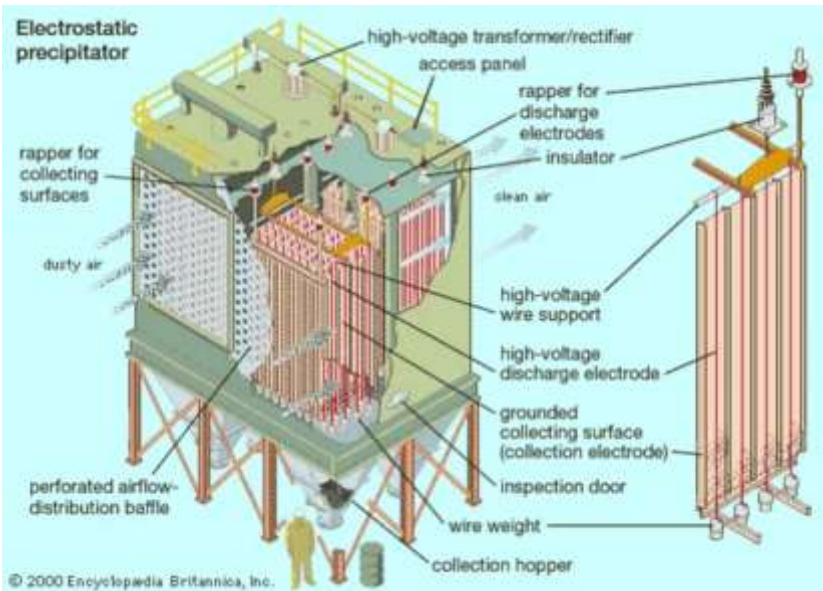
5.2.3 Presipitasi Elektrostatis (*Elektrostatic Presipitation*)

Presipitasi elektrostatis adalah metode yang umum digunakan untuk menghilangkan partikel halus dari aliran udara. Partikel yang tersuspensi dalam aliran udara diberi muatan listrik saat memasuki unit peralatan dan kemudian dihilangkan dengan pengaruh medan listrik. Unit presipitasi terdiri dari sekat untuk mendistribusikan aliran udara, elektroda pelepasan dan pengumpul, sistem pembersihan debu, dan ruang pengumpul. Tegangan tinggi arus searah (DC), sebesar 100.000 volt, diterapkan ke elektroda pelepasan untuk memberi muatan negatif pada partikel, yang kemudian tertarik ke elektroda pengumpul yang

bermuatan positif, dimana partikulat terperangkap (Wang et al, 2004).

Elektroda pengumpul terdiri dari sekelompok pelat logam persegi panjang yang digantung secara vertikal dan sejajar satu sama lain di dalam struktur seperti kotak. Seringkali terdapat ratusan pelat yang jika digabungkan akan memiliki luas permukaan hingga puluhan ribu meter persegi. Deretan kabel elektroda pelepasan tergantung di antara pelat-pelat pengumpul. Kabel diberi muatan listrik negatif, sedangkan pelat ditanahkan sehingga menjadi bermuatan positif.

Partikel yang menempel pada pelat pengumpul dihilangkan secara berkala dengan cara pelat digoncangkan, atau “diketuk”. Pengetukan adalah cara mekanis untuk memisahkan partikel yang terperangkap pada pelat, yang biasanya tertutup lapisan debu setebal 6 mm (0,2 inci). Partikel yang terlepas dikumpulkan dalam *hopper* di bagian bawah unit kemudian dibuang. Presipitasi elektrostatis dapat menghilangkan partikel berukuran 1 μm dengan efisiensi melebihi 99 persen (Cooper *et al*, 1996). Oleh karena efisiensi dan efektifitasnya yang tinggi dalam menghilangkan *fly ash* (abu terbang) dari gas pembakaran bahan bakar fosil sehingga sistem pengendalian presipitasi elektrostatis banyak digunakan pada sistem pembangkit tenaga listrik.



Gambar 5.3 : Presipitator Elektrostatik

(Sumber: *Encyclopedia Britannica, Inc.*)

Kelebihan presipitasi elektrostatik: efisiensi sangat tinggi, dapat menyisihkan partikel berukuran kecil (0.1 -10 mikron), mampu menangani debit aliran gas yang besar dengan kehilangan tekanan yang rendah, dapat digunakan sebagai pengumpul sistem kering bagi materi yang bernilai, atau pengumpul sistem basah untuk fume dan mist, dapat didisain aliran gas dengan temperatur cukup tinggi, biaya operasional rendah, kecuali untuk efisiensi yang sangat tinggi (Bibbo, 1992).

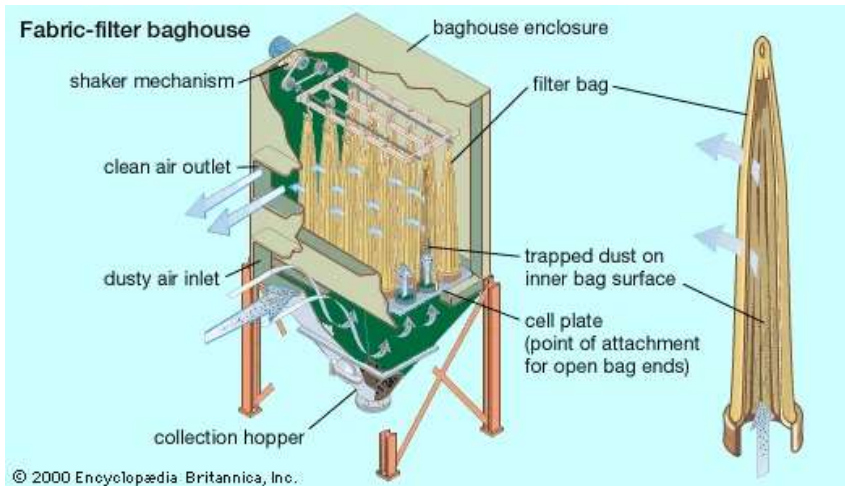
Adapun kekurangannya: biaya modal yang tinggi, hanya menyisihkan partikulat dan tidak dapat menyisihkan pencemar dalam bentuk gas, tidak terlalu fleksibel, memerlukan lahan yang luas, tidak dapat digunakan untuk partikel yang memiliki resistivitas elektrik (*electrical resistivity*) yang terlalu tinggi (>1010 ohm.cm) atau terlalu rendah (10⁴-10⁷ ohm.cm), ozon dihasilkan dari pemberian muatan negatif terhadap elektoda pada saat

ionisasi gas, dibutuhkan personel yang memiliki keahlian khusus dalam pemeliharaan (EPA, 1991).

5.2.4 Fabric Filter

Salah satu perangkat yang paling efisien untuk menghilangkan partikulat tersuspensi adalah *fabric filter* yang biasa disebut *baghouse*. Bagian utama dari *fabric filter* adalah kantong penyaring (*bag filter*) yang berfungsi menangkap partikulat. Pada umumnya *bag filter* terbuat dari nilon atau wol, tetapi untuk pemakaian khusus, digunakan *bag filter* dari bahan keramik dan mineral. *Bag filter* tersusun berbaris dan digantung terbalik di dalam ruang tertentu (*baghouse*) masing-masing berdiameter sekitar 25 cm. Aliran udara sarat debu dihembuskan ke atas oleh kipas melalui bagian bawah peralatan kemudian masuk kedalam *bag filter*. Partikulat akan terperangkap di dalam *bag filter*, sedangkan udara bersih akan keluar di bagian atas peralatan (EPA, 1982).

Peralatan pengendalian *fabric filter* adalah jenis peralatan yang paling banyak digunakan untuk memisahkan partikel dari aliran gas/udara kering. Perkembangan teknologi *bag filter* memungkinkan pengendalian dapat dilakukan di kisaran suhu 600°F, disamping itu mampu menahan gas korosif, asam, dan basa. *Fabric filter* merupakan salah satu metode pengumpulan debu yang cukup mahal, tetapi hal ini diimbangi dengan efisiensi tinggi dan kemampuan filtrasinya untuk memenuhi standar emisi partikulat yang paling ketat (Hesketh, 1979).



Gambar 5.4 : Fabric Filter Baghouse
(Sumber: *Encyclopedia Britannica, Inc.*)

Fabric filter dapat menghilangkan hampir 100 persen partikel seukuran $1\ \mu\text{m}$ dan bahkan hingga $0,01\ \mu\text{m}$. *Fabric filter* memiliki resistansi yang relatif tinggi terhadap aliran udara, sehingga menyebabkan penggunaan energi yang besar untuk sistem blowernya. Selain itu, untuk memperpanjang masa pakai dari *bag filter*, udara yang akan dibersihkan harus didinginkan (biasanya di bawah $300\ ^\circ\text{C}$ sebelum melewati peralatan. Proses pendinginan ini juga akan menambah penggunaan energi. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan *bag filter* yang terbuat dari bahan keramik atau mineral, yang memiliki ketahanan terhadap suhu yang lebih tinggi.

Beberapa kompartemen *bag filter* sering digunakan pada satu instalasi pengendalian *fabric filter*. Pengaturan ini memungkinkan sebagian kompartemen dibersihkan sementara yang lain tetap beroperasi. *Bag filter* dibersihkan dengan membuang lapisan debu permukaan yang terperangkap. Ini dilakukan dengan beberapa cara berbeda, dengan menggoyangkannya secara mekanis; dengan melakukan aliran

udara balik; atau dengan memberikan semburan udara singkat ke bawah melalui kantong yang menyebabkannya mengembang sesaat. Setelah debu dihilangkan dari filter, debu tersebut jatuh ke dalam corong di bawah dan dapat dikumpulkan untuk dibuang atau digunakan lebih lanjut (Wang et al, 2004).

Kelebihan dari unit pengendalian *fabric filter* diantaranya: efisiensi penyisihan partikulat yang sangat tinggi baik partikel kasar maupun halus, bahkan sangat halus, relatif tidak sensitif terhadap perubahan aliran gas, bahan yang terkumpul dapat direcovery untuk digunakan kembali pada proses atau dibuang, dan tidak dihasilkan air buangan. Sedangkan kekurangannya: partikulat tertentu memerlukan pengolahan khusus untuk mengurangi terjadinya rembesan partikel pada filter, konsentrasi partikel pada kolektor (50 g/m^3) dapat memicu terjadinya kebakaran atau bahaya ledakan jika terdapat percikan api secara tidak sengaja, relatif memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi (penggantian *bag filter*, dan lain lain), *bag filter* dapat terbakar jika digunakan untuk mengkoleksi debu yang mudah teroksidasi, umur *bag filter* dapat menjadi pendek akibat temperatur tinggi dan adanya partikulat atau gas yang bersifat alkali, materi higroskopis, kondensasi uap, atau komponen adhesif dapat mengakibatkan penyumbatan pada *bag filter* sehingga diperlukan aditif tertentu, personel yang melakukan penggantian *bag filter* harus terlindungi sistem pernafasannya (Anonim, 2018).

5.3 Teknik Pengendalian Gas

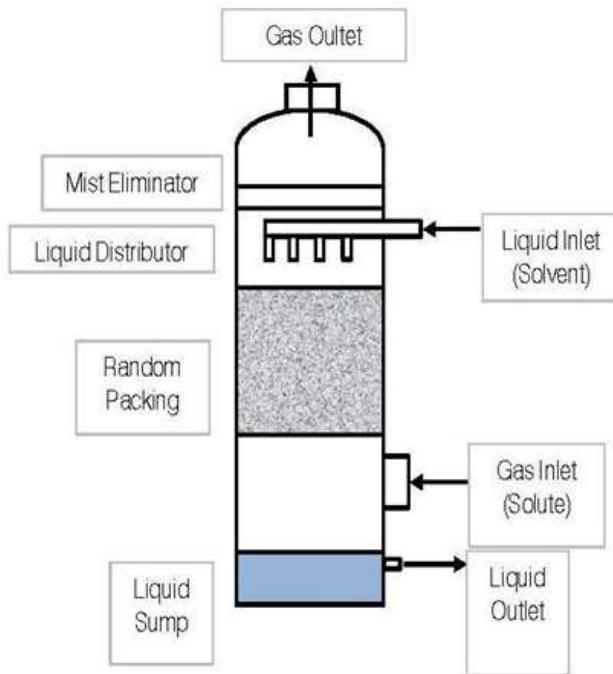
Polutan udara berupa gas, seperti senyawa organik yang mudah menguap (*volatile organic compounds*) disingkat VOCs dan gas-gas beracun, dikendalikan melalui teknik-teknik pengendalian dasar yaitu: *absorption*, *adsorption*, *inceneration* dan *condensation*. Teknik-teknik ini dapat diterapkan secara mandiri atau kombinasi dari keempatnya. Teknik ini juga efektif mengatasi gas-gas penyebab utama dari efek rumah kaca. Selain dari keempat teknik

tersebut, sedang dikembangkan teknik *carbon sequestration*, sebagai cara untuk mengendalikan kadar karbon dioksida (EPA,1991).

5.3.1 Absorpsi (*Absorption*)

Absorpsi adalah proses fisika atau kimia penghilangan polutan gas dari udara dengan melarutkannya ke dalam media pelarut . Disini terjadi kontak antara campuran gas yang akan dibersihkan dengan cairan sehingga gas-gas polutan dapat larut, cairan harus dapat berfungsi sebagai pelarut polutan atau menyerapnya melalui reaksi kimia. Media pelarut paling sering berupa fase cair, tetapi dalam sistem tertentu dapat berupa padatan kering. Bahan yang berfungsi menyerap disebut pelarut (*solvent*), dan gas yang akan diserap disebut zat terlarut (*solute*) (EPA, 1980). Bentuk penyerapan yang paling umum adalah penyikatan basah (*wet scrubbing*). *Wet scrubber* merupakan nama yang umum bagi perangkat pengendali kualitas udara yang menggunakan proses absorpsi untuk memisahkan polutan dari aliran gas. Jenis *wet scrubber* diantaranya: *packed-bed counterflow scrubber*, *cross flow*, *bubble plate* dan *tray scrubber*.

Gambar di bawah ini memberikan diagram alir yang sangat mendasar dan menunjukkan komponen umum dari scrubber basah aliran silang (*cross flow*). Aliran gas yang mengandung polutan masuk dari bagian bawah scrubber dan dengan cepat berputar ke atas menuju saluran buang di bagian atas scrubber. *Random packing* memberikan luas permukaan yang diperlukan untuk mendistribusikan pelarut cair dan mendorong terjadinya kontak antara kedua media. Media pelarut masuk dari bagian atas scrubber kemudian didistribusikan menuju *random packing*. Cairan tersebut menyerap polutan dari fase gas dan dikumpulkan di wadah scrubber. Sebelum keluar dari scrubber, gas-gas melewati perangkat penghilang kabut kemudian keluar ke atmosfer (EPA, 1980).



Gambar 5.5 : Cross Flow Scrubber

(Sumber: <https://www.cpilink.com/blog/air-pollution-control-technology-review-absorption>)

Air adalah cairan pembersih yang sangat umum, tetapi ada banyak proses atau polutan yang membutuhkan cairan atau jenis pelarut yang berbeda. Salah satu faktor penentu dalam menghitung kemampuan kinerja scrubber adalah memahami kelarutan polutan dalam air. Menentukan kelarutan polutan dalam cairan pembersih disebut kesetimbangan absorpsi.

Kinerja maksimum dari teknik absorpsi dapat dicapai dengan memperhatikan hal-hal berikut seperti: permukaan kontak yang luas dan pencampuran yang baik antara campuran gas dengan cairan pelarut, lama waktu kontak, dan daya larut yang tinggi dari polutan ke pelarut.

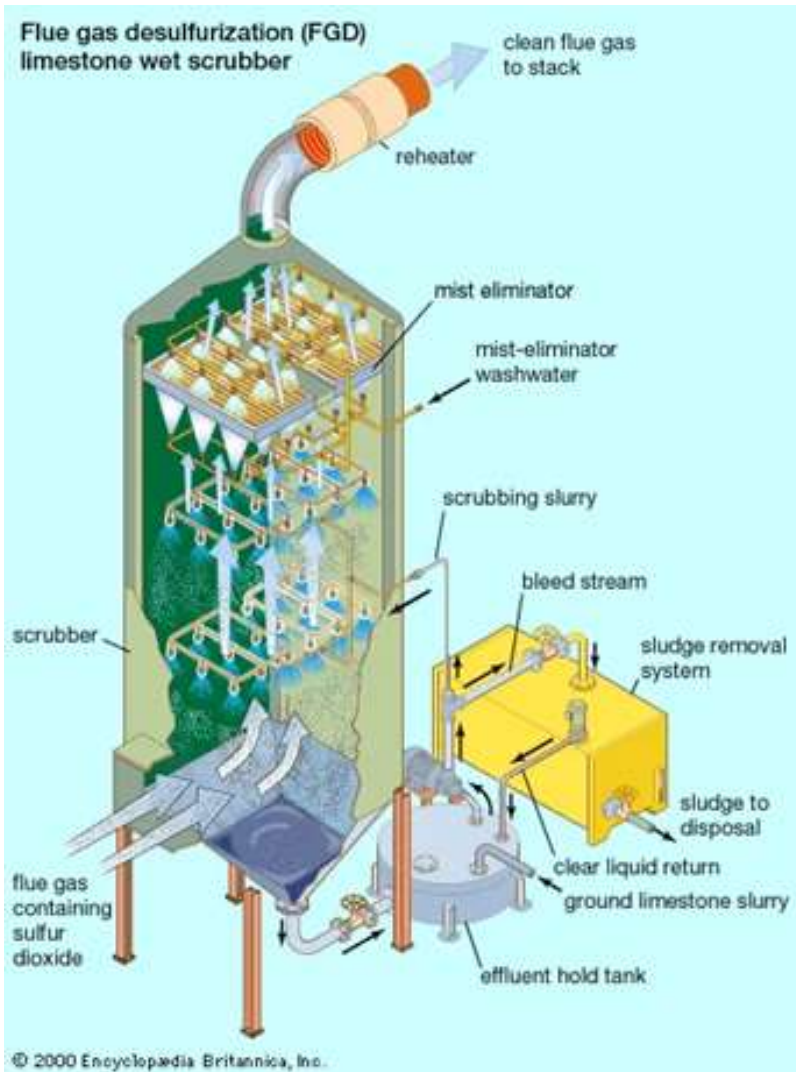
Keuntungan menggunakan scrubber basah untuk pengendalian polusi gas organik adalah modal yang rendah dan biaya instalasi dan kesederhanaan desain. Namun, ada sejumlah hal yang harus dipertimbangkan sebelum menerapkan sistem ini sebagai berikut:

1. Efisiensi penghilangan polutan tergantung pada polutan organik, adanya keterbatasan penyerapan menyebabkan tidak semua polutan dapat diserap oleh pelarut, dan gas buang yang dihasilkan ke atmosfer mungkin tidak memenuhi standar yang ditetapkan. Untuk berbagai macam VOC, efisiensi penghilangan maksimum hanya dapat mencapai 90%.
2. Air adalah cairan pembersih yang paling umum. Air memiliki biaya yang relatif rendah, dan memungkinkan untuk di sirkulasi, sehingga membantu menurunkan penambahan air bersih ke sistem. Namun jika polutan tertentu memerlukan pelarut yang lain, maka dibutuhkan biaya tambahan untuk mengadakannya.
3. Kelemahan utama penggunaan scrubber basah untuk menghilangkan polutan organik adalah pemindahan masalah pengendalian polusi udara ke masalah pengendalian polusi air (cair). Jika limbah cair dibuang langsung ke saluran pembuangan, pemeriksaan yang cermat harus dilakukan untuk memastikan lingkungan tidak terkena dampak negatif. Akan tetapi jika limbah cair tidak aman terhadap lingkungan, maka dibutuhkan lagi instalasi pengolahan air yang akan menambah biaya operasional.
4. Untuk sebagian besar polutan organik, dampak pemeliharaan akan rendah. Namun, jika aliran gas target memiliki partikulat atau pengotor biologis, hal ini dapat meningkatkan potensi terjadinya penyumbatan pada peralatan, pertumbuhan biologis, dan kerusakan pompa dan pemipaan.

Keuntungan absorber: dapat dipakai untuk gas dengan suhu tinggi, tidak memakan tempat, meminimalkan terjadinya kebakaran, melembabkan gas yang keluar, *pressure drop* yang kecil, efisiensi cukup tinggi, dan biaya instalasi rendah. Sedangkan kerugiannya: tidak mudah mendapatkan gas murni, memerlukan proses pemisahan solvent dan solute, ongkos perawatan cukup tinggi dan membutuhkan pengolahan limbah cair.

5.3.2 Desulfurisasi Gas Buang

Sulfur dioksida (SO_2) dalam gas buang dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dapat dikontrol melalui proses absorpsi (penyerapan) yang disebut desulfurisasi gas buang (FGD). Sistem FGD (*Flue Gas Desulfurization*) melibatkan scrubbing basah atau scrubbing kering. Dalam sistem FGD basah, gas buang bersentuhan dengan absorben berupa cairan atau *slurry*. Sulfur dioksida larut atau bereaksi dengan absorben dan terperangkap di dalamnya. Dalam sistem FGD kering, absorben yang digunakan adalah kapur atau batu gamping, setelah penyerapan terjadi, partikel padat dihilangkan dengan menggunakan *bag filter* (dijelaskan di atas). Jika dibandingkan dengan sistem basah, sistem FGD kering menawarkan penghematan biaya dan energi serta pengoperasian yang lebih mudah, tetapi memerlukan konsumsi bahan kimia yang lebih tinggi dan terbatas pada gas buang yang berasal dari pembakaran batubara dengan kadar belerang rendah (Wang *et al*, 1995).



Gambar 5.6 : Flue Gas Desulfurization (FGD)
(Sumber: *Encyclopedia Britannica, Inc.*)

Sistem FGD juga dapat diklasifikasikan sebagai sistem yang dapat diperbarui (*regenerable system*) dan tidak dapat diperbarui

(*nonregenerable system*) atau sekali pakai, tergantung pada apakah belerang yang dihilangkan dari gas buang diambil kembali atau dibuang. Di Amerika Serikat sebagian besar sistem yang dipakai adalah tidak dapat diperbarui karena modal dan biaya operasinya lebih rendah. Sebaliknya, di Jepang sistem yang dapat diregenerasi digunakan secara luas, sementara di Jerman sistem regenerasi diwajibkan oleh undang-undang. Sistem FGD nonregenerasi menghasilkan residu lumpur yang mengandung belerang yang memerlukan tempat pembuangan yang tepat. Sistem FGD regenerasi memerlukan langkah tambahan untuk mengubah sulfur dioksida menjadi produk sampingan yang bermanfaat seperti asam sulfat (EPA, 2004-A).

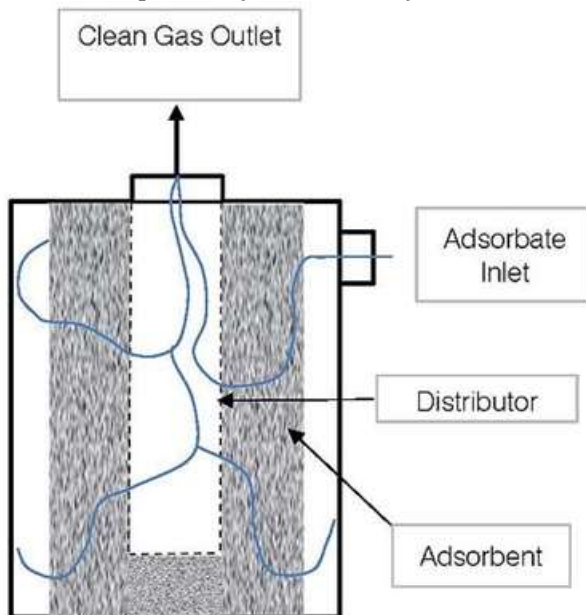
Ada beberapa metode FGD, perbedaan utamanya terletak pada bahan kimia yang digunakan dalam prosesnya. Proses FGD yang menggunakan bubur kapur atau batu kapur sebagai reaktan telah diterapkan secara luas. Dalam proses *scrubbing* batu kapur, belerang dioksida bereaksi dengan partikel batu kapur (kalsium karbonat), membentuk kalsium sulfit dan karbon dioksida. Kemudian jika belerang dioksida bereaksi dengan kalsium hidroksida akan terbentuk sulfit dan air. Bergantung pada konsentrasi sulfur dioksida dan kondisi oksidasi, kalsium sulfit dapat terus bereaksi dengan air, membentuk kalsium sulfat (gypsum). Baik kalsium sulfit maupun kalsium sulfat tidak terlalu larut dalam air, dan keduanya dapat diendapkan sebagai lumpur dengan pengendapan gravitasi. Banyaknya lumpur FGD dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan. Desulfurisasi gas buang membantu mengurangi kadar sulfur dioksida dan diwaktu yang sama juga dapat mengurangi masalah hujan asam.

5.3.3 Adsorpsi (*Adsorption*)

Proses adsorpsi berbeda dengan absorpsi, kalau pada proses absorpsi, penyerapan zat terjadi sampai kedalam zat penyerap (*absorben*), sedangkan pada proses adsorpsi proses penyerapan hanya terjadi pada permukaan zat penyerap. Pada

proses adsorpsi gas, molekul gas terserap/tertarik dan tertahan pada permukaan zat penyerap. Metode adsorpsi gas digunakan untuk pengendalian bau pada berbagai jenis pabrik kimia dan fasilitas pengolahan makanan, dalam pemulihan sejumlah pelarut yang mudah menguap (misalnya benzena), dan dalam pengendalian VOC di fasilitas industri (EPA, 1991).

Karbon aktif (arang aktif) adalah salah satu bahan penyerap yang paling umum digunakan. Karbon aktif sangat berpori dan memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi. Karbon aktif sangat berguna sebagai adsorben untuk membersihkan aliran udara yang mengandung VOC dan untuk pemulihan pelarut dan pengendalian bau. Unit adsorpsi karbon yang dirancang dengan baik dapat menghilangkan gas dengan efisiensi melebihi 95 persen (EPA, 2004-C).



Gambar 5.7 : Fixed Bed Adsorber

(Sumber: <https://www.cpilink.com/blog/air-pollution-control-technology-review-adsorption-2>)

Sistem adsorpsi dikonfigurasi sebagai *stationary bed units* dan *moving bed units*. Dalam *stationary bed*, aliran udara yang tercemar masuk dari atas, melewati lapisan karbon aktif yang diam, dan keluar di bagian bawah. Dalam *moving bed*, karbon aktif yang bergerak perlahan ke bawah melalui saluran, kemudian terjadi kontak persilangan dengan aliran udara.

Kelebihan teknik pengendali adsorpsi diantaranya: telah didukung sistem otomatis, menghilangkan polutan konsentrasi rendah, dan produk dapat dimanfaatkan kembali. Sedangkan kekurangannya: kemampuan adsorben yang terbatas, dibutuhkan steam untuk regenerasi absorben, biaya awal yang tinggi, dan masih dibutuhkan filter untuk menyisihkan partikulat (Wang, 1995).

5.3.4 Insenerasi (*Inceneration*)

Pada prinsipnya, teknik pengendalian insenerasi (*inceneration*) atau pembakaran adalah proses penyisihan polutan gas yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi oksidasi. Secara kimia oksidasi adalah reaksi yang terjadi antara senyawa tertentu dengan oksigen baik secara langsung atau dengan bantuan katalis. Teknik ini digunakan untuk mengendalikan gas-gas mudah menguap (VOC) dan atau gas-gas beracun dari senyawa-senyawa hidrokarbon dengan mengubahnya menjadi karbon dioksida dan air. Insinerasi VOC dan gas hidrokarbon biasanya dilakukan di insinerator khusus yang disebut *afterburner*. Untuk mencapai pembakaran sempurna, *afterburner* harus menjamin terjadinya turbulensi aliran dan waktu pembakaran yang tepat, dan mempertahankan suhu pembakaran yang cukup tinggi. Turbulensi yang cukup, dan pencampuran yang baik merupakan faktor kunci dalam pembakaran karena dapat mengurangi waktu dan suhu pembakaran yang diperlukan. Pembakaran langsung dapat digunakan ketika limbah gas merupakan campuran yang mudah terbakar sehingga tidak memerlukan penambahan udara atau bahan bakar (EPA, 1991).

Afterburner biasanya terbuat dari cangkang baja yang dilapisi dengan bahan tahan api seperti batu bata. Lapisan refraktori melindungi cangkang dan berfungsi sebagai penyekat panas. Dengan waktu pembakaran yang cukup dan suhu yang tinggi, polutan organik berbentuk gas dapat teroksidasi hampir seluruhnya, dengan efisiensi insinerasi mendekati 100 persen. Zat tertentu seperti platina, dapat digunakan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pembakaran sehingga tercapai oksidasi sempurna dari gas yang mudah terbakar pada suhu yang relatif rendah (EPA, 2004-A).

Afterburner digunakan untuk mengontrol bau, menghilangkan senyawa beracun, dan atau mengurangi jumlah zat fotokimia reaktif kemudian dilepaskan ke udara. Banyak digunakan di berbagai industri di mana VOC dihasilkan dari proses pembakaran atau penguapan pelarut (misalnya kilang minyak, fasilitas pengeringan cat, dan pabrik kertas).

5.3.5 Kondensasi (*Condensation*)

Kondensasi adalah proses yang banyak digunakan di industri untuk mengubah fasa gas atau uap menjadi fasa cair. Gas dapat diubah menjadi cairan dengan menurunkan suhu atau meningkatkan tekanannya. Kondensasi dapat ditemui pada proses distilasi pemurnian senyawa hidrokarbon dan dalam proses pengeringan udara. Kondensasi dapat digunakan untuk menghilangkan polutan dari aliran gas jika titik embun polutan lebih tinggi daripada gas pembawa (atau gas non-polutan). Jika kondisi ini terpenuhi, aliran gas dapat diturunkan suhunya hingga di bawah titik embun polutan, yang kemudian akan memisahkan polutan dari aliran gas yang tersisa sebagai cairan (EPA, 2004-B).

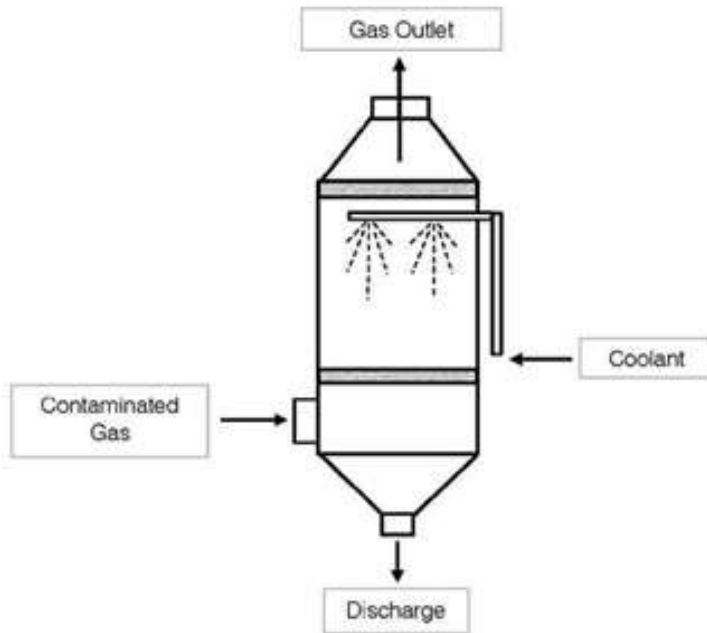
Cara kerja kondensor yang paling umum adalah dengan menurunkan suhu aliran gas, tetapi dapat juga dilakukan dengan meningkatkan tekanan. Kedua cara ini sama efektifnya, akan tetapi teknik kondensasi tekanan biasanya lebih mahal. Kondensor adalah perangkat sederhana dan relatif murah yang biasanya

menggunakan air atau udara sebagai pendinginnya. Pada kondensor lain yang lebih canggih, menggunakan metode kriogenik yang dapat mengurangi suhu aliran gas hingga beberapa ratus derajat.

Dalam aplikasi moderen pengendalian polusi udara, kondensor biasanya digunakan sebagai perangkat awal pengendalian. Kondensor dapat digunakan sebelum *absorber*, *adsorber*, dan *incenerator* untuk mengurangi volume gas total yang diolah atau untuk secara selektif menghilangkan senyawa organik tertentu dari aliran gas sehingga dapat digunakan kembali dalam proses atau dimanfaatkan untuk penggunaan lain (Wang, 2004).

Kondensor bekerja ketika aliran uap yang lebih hangat bersentuhan dengan media pendingin. Panas dari gas hangat dipindahkan ke media yang lebih dingin. Kemudian, saat aliran gas hangat mulai mendingin, energi kinetik gas berkurang, pengembunan terjadi karena molekul-molekul pencemar diperlambat dan dijejalkan begitu berdekatan sehingga gaya tarik-menarik antar molekul menyebabkannya mengembun menjadi cairan. Fenomena ini dikenal sebagai *van der Waals force*.

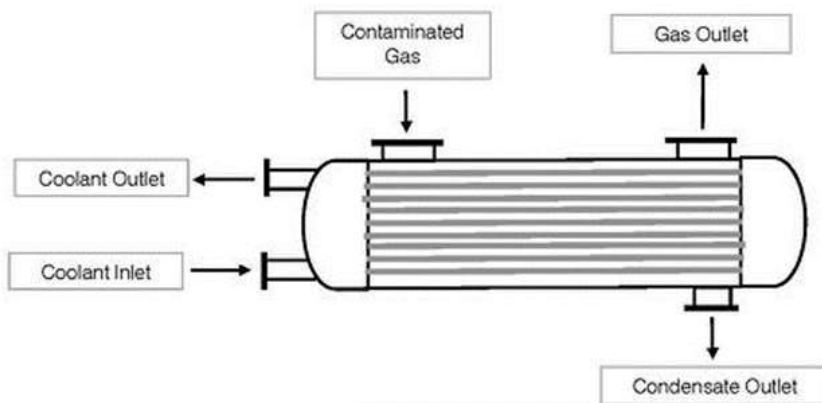
Berdasarkan cara kejanya, ada dua jenis kondensor, pertama kondensor kontak langsung (*direct contact condencer*) bekerja dengan cara mengkondisikan sehingga terjadi kontak langsung antara aliran gas yang terkontaminasi dengan media pendingin, contohnya *spray condencer*. Kedua, kondensor tidak langsung (*indirect condencer*) bekerja dimana aliran gas yang terkontaminasi tidak bersentuhan langsung dengan media pendingin, seperti cara kerja radiator atau penukar panas.



Gambar 5.8 : Spray Condenser

(Sumber: <https://www.cpilink.com/blog/air-pollution-control-technology-review-condensation>)

Kondensor kontak langsung biasanya sederhana, lebih murah. Kondensat yang dihasilkan biasanya tidak dapat digunakan kembali karena terkontaminasi oleh media pendingin. Hal ini dapat menyebabkan masalah pembuangan limbah (EPA, 1989). Untuk itulah sebagian besar kondensor yang digunakan dalam industri merupakan *indirect condenser* atau *surface condenser*. Tipe surface condenser yang banyak digunakan dalam industri kimia diantaranya: *shell and tube*, *plate and frame*, *fin tube*, dan *bare tube condenser*.



Gambar 5.9 : Shell and Tube Condenser

(Sumber: <https://www.cpilink.com/blog/air-pollution-control-technology-review-condensation>)

Kondensor tidak banyak digunakan sebagai perangkat pengendalian polusi udara yang berdiri sendiri, karena efisiensinya yang rendah. Pemilihan kondensor sebagai pengendali polutan didasarkan pada banyak faktor, seperti tujuan yang diinginkan, komposisi aliran udara yang terkontaminasi, jenis pendingin yang tersedia, nilai pemulihan kondensat, dan lain-lain.

Kelebihan kondensor: khusus pada *surface condenser*, air sebagai media pendingin dapat digunakan kembali karena tidak bersentuhan langsung dengan aliran gas, sedangkan kelemahannya: efiseinsi rendah, penggunaan pendingin lain berharga mahal, dibutuhkan proses merubah fasa media pendingin menjadi cair kembali agar mudah disirkulasikan.

5.3.6 Penyerapan Karbon (*Carbon Sequestration*)

Cara terbaik untuk mengurangi kadar karbon dioksida di udara adalah dengan menggunakan energi secara lebih efisien dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sumber energi alternatif (misalnya nuklir,

angin, pasang surut, dan tenaga surya). Selain itu, dapat digunakan pengendalian karbon dioksida dengan metode *carbon sequestration*. *Carbon sequestration* berkaitan dengan penyimpanan jangka panjang karbon dioksida di bawah tanah, serta di permukaan bumi di hutan dan lautan (EPA, 1988). Penyerapan karbon di hutan dan lautan bergantung pada proses alami seperti pertumbuhan hutan. Namun, pembukaan hutan untuk tujuan pertanian dan lainnya dapat mengurangi penyerapan karbon alami. Menyimpan karbon dioksida di bawah tanah adalah sebuah teknologi yang sedang dikembangkan yang juga disebut *geosequestration* atau penangkapan dan penyimpanan karbon dimana akan melibatkan sistem pemompaan gas secara langsung ke lapisan “reservoir” geologis bawah tanah. Metode ini dapat diterapkan pada sistem pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakarnya (EPA, 2004-A).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2018. *Modul 11. Pengendalian Emisi Partikulat dan Gas dari Fasilitas WtE*. Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah. Bandung.
- Attwicker, E. R. 1979. *Wet scrubbing. Handbook of Environmental Engineering, Vol. 1* (L. K. Wang, and N. C. Pereira, eds.), Humana Press, Totowa, NJ.
- Bibbo, P. R. 1992. *Electrostatic Precipitators* (L. Theodore and A.J. Buonicore, eds.), EST International Inc., Roanoke, VA.
- Calvert, S., Goldshmidt, F., Leith, D., and Mehta, D. 1972. *Scrubber Handbook*. NTIS Publication PB-213016 and PP-213017, July–August.
- Cooper, C. D. and Alley, F. C. 1994. *Air Pollution Control, 2nd ed.*, Waveland Press, Inc., Prospect Heights, IL.
- EPA. 1972. *Wet Scrubber System Study, Vol. 1: Scrubber Handbook*, EPA-R2-72-118a (NTIS PB 213016), US Environmental Protection Agency, Washington, DC,
- EPA. 1980. *Organic Chemical Manufacturing, Vol. 5: Adsorption, Condensation and Absorption Devices*, EPA-450/3-80-027 (NTIS PB 81-220543), US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC,
- EPA. 1982, *Control Techniques for Particulate Emissions from Stationary Sources–Volume 1*, EPA/450/3-81-005a (NTIS PB83-127498), US Environmental Protection Agency, Washington, DC,.
- EPA. 1985. *Operation and Maintenance Manual for Electrostatic Precipitators*, EPA-625/185-017, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- EPA. 1988. *Carbon Adsorption for Control of VOC Emissions: Theory and Full Scale System Performance*. EPA 450/3-88-012. US Environmental Protection Agency, Research Park, NC.

- EPA 1989. *Hazardous Waste Treatment, Storage, and Disposal Facilities (TSDF)–Air Emission Models*. EPA-450/3-87-026. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 1991. *Handbook: Control Technologies for Hazardous Air Pollutants*. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina.
- EPA. 2004-A. *Air Pollution Control Technologies Series Training Tool: Incineration*. <http://www.epa.gov>. US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- EPA. 2004-B. *Air Pollution Control Technology Series Training Tool: Condensation*. <http://www.epa.gov>. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2004-C. *Air Pollution Control Technology Series Training Tool: Carbon Adsorption*. <http://www.epa.gov>. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Hesketh, H. E. 1974. *Atomization and cloud behavior in wet scrubbers*, US-USSR Symp. Control of Fine Particulate Emissions (1), 15.
- Hesketh, H. E.. 1979. *Fabric filtration. Handbook of Environmental Engineering, Volume 1, Air and Noise Pollution Control*. Humana, Totowa, NJ.
- Koch, W. H. and Licht, W. 1977. *New design approach boosts cyclone efficiency*, *Chem.Eng.*, 84(24).
- Ogawa, A. 1984. *Separation of Particles from Air and Gases*. CRC, Boca Raton, FL, Vol. II.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., dan Hung, Y.-T. 2004. *Air pollution control engineering (Vol. 1)*: Springer.
- Wang, L. K., Wang, M. H. S., and Wang, P. 1995. *Management of Hazardous Substances at Industrial Sites*. UNIDO Registry No. DTT-4-4-95. United Nations Industrial Development Organization, Vienna.

BAB 6

PENYAKIT YANG BERHUBUNGAN DENGAN UDARA

Oleh Hairudin La Patilaiaya

6.1 Pendahuluan

Polusi udara merupakan masalah yang terjadi pada seluruh Negara sehingga masalah ini sudah dikategorikan menjadi masalah dunia. Data menyebutkan polusi udara bertanggungjawab terhadap 4,2 juta kematian setiap tahun. Aktivitas industri dan transportasi merupakan penyebab, hal ini memicu timbulnya pencemaran udara (polusi udara) yang berdampak pada kesehatan, terutama di wilayah industri dan kota-kota besar (Kemenkes RI 2019)

Salah satu studi melaporkan bahwa di Indonesia menjadi Negara dengan tingkat polusi udara tertinggi ketiga, ini karena pencemaran udara di dunia sudah begitu memprihatinkan. Word Bank juga menempatkan Kota Jakarta menjadi salah satu kota dengan kadar polutan atau partikulat tertinggi setelah Beijing, New Delhi dan Mexico City. Rekor yang semakin memiriskan di Indonesia sendiri sebagaimana data dipaparkan oleh pengkajian Ozon dan polusi udara lembaga penerbangan dan antariksa nasional (Lapan) Provinsi Jawa Barat menduduki peringkat polusi udara tertinggi di Indonesia.



Gambar 6.1 : Pencemaran Udara

6.2 Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan

Dampak pencemaran udara dapat terjadi dimana-mana misalnya di dalam rumah, sekolah dan kantor. Pencemaran ini disebut pendemaran dalam ruangan (*indoor pollution*). Sementara itu pencemaran di luar ruangan (*outdoor pollution*) berasal dari emisi kendaraan bermotor, industri, perkapalan dan prose salami oleh makhluk hidup (Kemenkes RI 2019).

Penceraman udara terjadi dipicu dari bentuk gas, cair, dan padat tertentu yang terpendam di udara. Partikel berasal dari aerosol, debu, asap pabrik, kebakaran hutan, asap kendaraan bermotor dan asap rokok. Beberapa polutan yang biasanya menyebar yakni logam berat, karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃), senyawa organic volatile (VOC) dan sulfur dioksida (SO₂). Pencemaran udara memiliki dampak terhadap kesehatan diantaranya gangguan saluran pernapasan, penyakit

jantung, kanker berbagai organ tubuh, gangguan reproduksi dan hipertensi (tekanan darah tinggi). Selain itu pencemaran udara berdampak bagi kesehatan manusia diantaranya :



Gambar 6.2: Dampak Pencemaran Udara

1. Menimbulkan Penyakit

Zat-zat berbahaya mulai dari zat-zat kimia, debu hingga membawa bibit-bibit penyakit yang dihasilkan oleh udara kotor. Penyakit disebabkan oleh adanya pencemaran udara antara lain sesak napas, asma dan tidak menutup kemungkinan bisa menyebabkan penyakit kanker.

2. Membuat Mata Merah dan Iritasi

Debu yang beterbangan bisa masuk ke dalam mata sehingga dapat membuat mata menjadi merah dan mengganggu penglihatan. Sementara itu mata tetap terjaga agar tak terkena debu atau pun kotoran disaat sedang melakukan perjalanan sebaiknya bisa menggunakan

kacamata dan setelah itu mencuci muka jika sudah sampai di tempat tujuan.

3. Gatal dan Bersisik

Jika debu menempel pada kulit maka bisa menimbulkan beberapa macam gejala sehingga kulit terasa gatal dan bersisik. Usahakan tetap mandi secara teratur setiap hari sehingga kulit tetap bersih, terawat dan sehat.

4. Iritasi pada Saluran Pernapasan

Dengan banyaknya debu yang kotor dan kita hirup tentu sangat tidak baik untuk kesehatan manusia, maka bisa menyebabkan pergerakan silia yang berubah menjadi lambat bahkan tidak menutup kemungkinan bisa berhenti sehingga tidak bisa membersihkan saluran pernapasan

5. Gangguan pada Pernapasan

Udara kotor yang mengandung karbon dioksida dan gas beracun lainnya memang sangat berbahaya bagi sistem pernapasan pada manusia. Udara kotor yang masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan bisa menyebabkan terjadinya infeksi saluran pernapasan akut.

6. Mengganggu Tumbuh Kembang Sang Anak

Di dalam udara kotor ada yang namanya kandungan timbal yang apabila masuk ke dalam saluran pernapasan anak akan menyebabkan terjadinya penghambatan pertumbuhan dan perkembangan anak tersebut karena timbal bisa mengganggu sel-sel yang sedang tumbuh di dalam tubuh anak dan bisa anak terkena anemia. Di masa pertumbuhan sel-sel darah merah terus diproduksi namun karena masuknya timbale dapat merusak sel darah merah, maka jumlahnya makin berkurang dan akhirnya anak menderita anemia. Timbal yang masuk ke dalam tubuh akan merusak sel-sel darah merah yang mestinya dikirim ke otak, akibatnya terjadilah gangguan pada otak. Hal ini yang paling dikhawatirkan karena anak bisa mengalami gangguan kemampuan berpikir, daya tangkat lambat dan

tingkat IQ rendah. Dalam hal pertumbuhan fisik, keberadaan timbal akan berdampak pada beberapa gangguan seperti keterlambatan pertumbuhan dan gangguan pendengaran pada frekuensi tertentu.

7. Mengurangi Jarak Pandang

Hal ini bisa terjadi jika asap atau polusi dengan tebal maka dapat mengganggu penglihatan secara otomatis mengurangi jarak pandang. Salah satu solusinya adalah berjalan lebih hati-hati untuk menghindari adanya tabrakan atau kecelakaan. Selain itu aktivitas bandara akan terganggu bahkan bisa delay terhadap beberapa keberangkatan

8. Penyebab Utama Terjadinya Pemanasan Global

Pemanasan global (global warning) bisa mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu bumi yang menimbulkan air laut ikut naik. Kenaikan suhu bumi dikarenakan lapisan ozon bumi sudah rusak. Pada hal fungsi lapisan ozon berguna untuk menjaga suhu bumi agar nantinya tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin. Lapisan ozon dengan mudah rusak akibat pencemaran udara yang dihasilkan dari at CFC atau klorofluor karbon. Zat ini sendiri dengan mudah kita temukan di kulkas, AC (*air conditioner*) hingga aerosol.

9. Gangguan pada Sistem Reproduksi

Pencemaran udara dapat mengganggu sistem reproduksi selain itu beberapa organ lain akan mengalami gangguan seperti ginjal dan jantung.

10. Tanaman Terganggu Hingga Mati

Tanaman memang sangat baik bagi kelangsungan makhluk hidup lainnya. Tanaman bisa menghasilkan oksigen. Jika kita hidup di daratan tinggi atau pegunungan akan terasa sejuk karena polusi udara belum begitu banyak. Dengan adanya pencemaran udara tanaman bisa terserang penyakit. Penyakit itu mulai dari bintik hitam,

klorosis, nekrosis dan beberapa penyakit lain (Triani 2022)

6.3 Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran udara dapat di klasifikasikan menjadi sumber diam dan sumber bergerak. Sumber diam terdiri dari industri pembangkit listrik dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak adalah aktifitas kendaraan bermotor dan transportasi laut (Kemenkes RI 2019)

Sumber utama polutan berasal dari kilang pembangkit listrik, petrokimia, kimia dan industri pupuk serta pabrik industri lainnya. Sumber lain termasuk mobil, kereta api, sepeda motor dan kendaraan lainnya. Ada pula sumber polutan yang berasal dari alam seperti bencana dimana terjadi kebakaran hutan, erupsi gunung berapi, badai debu hingga pembakaran lahan (Adnani 2021). Sumber polutan tersebut memproduksi partikel terdispersi, ozon, karbon monoksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida dan timbal. Jika Polutan tersebut masuk kedalam tubuh dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan bisa berakibat fatal (Liputan6.com 2021).

6.4 Penyebab Polusi Udara

Secara garis besar pencemaran udara disebabkan polutan partikulat yang muncul dari kegiatan industri, transportasi hingga kebakaran hutan. Selain itu penyebab polusi udara disebabkan oleh gas, seperti *Karbon Monoksida* (CO), *Nitrogen Oksida* (NO₂) *Sulfur Oksida* (SO_x), O₃, *Photochemical Oksida* dan Partikel (Kemenkes RI 2019). Ada beberapa penyebab polusi udara diantaranya adalah :

a. Asap Pabrik

Pabrik yang menghasilkan asap akan memproduksi polutan seperti nitrogen oksida, sulfur dioksida dan hidrokarbon. Bahan kimia ini bereaksi dengan sinar matahari untuk menghaslkan kabut asap, kabut tebal atau

kabut polusi udara. Kondisi ini yang kemudian membuat asap pabrik menjadi penyumbang terbesar gas karbon di udara. Selain mengganggu lingkungan sekitar, juga ikut meningkatkan risiko pemanasan global

b. Penambangan

Aktivitas penambangan dapat menyebabkan pencemaran udara terutama penambangan yang menggunakan alat berat sehingga ketika proses penambangan terjadi menyebabkan debu dan bahan-bahan akan terlepas ke udara. Hal ini menyebabkan pencemaran udara jika proses penambangan dilakukan secara besar-besaran maka pencemaran udara bisa terjadi demikian besarnya.

c. Kendaraan Bermotor

Asap kendaraan bermotor menjadi penyumbang terbesar bagi penyebab pencemaran udara, apabila jumlah pengguna kendaraan setiap tahun terus meningkat sehingga jalan dipadati kendaraan maka menghasilkan kondisi udara yang berkabut akibat asap kendaraan.

d. Pembakaran Lahan

Pembakaran lahan dilakukan besar-besaran akan menghasilkan asap sehingga memicu pencemaran udara dan membahayakan kesehatan tubuh. Sejumlah daerah di Indonesia sering terjadi asap kabut tebal yang disebabkan oleh pembakaran lahan.

e. Penggunaan Listrik

Penggunaan listrik berlebihan dapat menjadi penyebab pencemaran udara karena produksi listrik Di Indonesia masih mengandalkan batu bara yang menghasilkan limbah padat saat pembakaran pembangkit. Pembakaran yang tidak sempurna akan menyebabkan gas-gas berbahaya seperti gas sulfur dioksida, nitrogen oksida, karbon dioksida dan partikulat. Gas-gas tersebut dapat menyebabkan pemanasan global dan membahayakan lingkungan

f. Limbah Rumah Tangga

Masih banyak yang belum menyadari bahwa limbah yang kita hasilkan setiap hari bisa menyebabkan pencemaran udara. Berbagai sampah dan limbah seperti limbah plastic, kertas sering dibakar pada saat pemusnahan dan inilah pencemaran udara terjadi. Membakar limbah memang terbilang efektif mengurangi sampah tetapi di sisi lain bisa memicu pencemaran udara (Hisyam Khalid 2022)

6.5 Penyebab Penyakit Akibat Polusi Udara

Penyakit disebabkan polusi udara didominasi oleh masalah pada organ pernapasan. Penelitian sudah menuliskan soal ancaman penyakit karena polusi udara bagi paru dan saluran pernapasan. Penyakit disebabkan polusi udara dapat memperburuk dan merusak organ tubuh. Organisasi kesehatan dunia (WHO) mengungkapkan Sembilan dari 10 orang di dunia menghirup udara yang mengandung polutan tingkat tinggi. Polutan tinggi berpengaruh pada setiap organ dalam tubuh (Liputan6.com 2021)

6.6 Penyakit Yang Disebabkan Oleh Polusi udara

1. Penyakit Saluran Pernapasan

Saluran pernapasan adalah organ utama yang dapat dipengaruhi polusi udara. Polusi udara menjadi penyebab kematian lebih dari 800.000 orang (penyakit paru obstruktif kronis/COPD) dan 280.000 orang kena kanker paru-paru. Sebagian besar pasien dengan penyakit pernapasan kronis yang parah mengalami sesak napas. Polutan udara ikut memengaruhi seluruh bagian system pernapasan.

2. Penyakit Kardiovaskular

Polusi udara terkait dengan peningkatan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskular, infark miokard,

stroke dan gagal jantung kongestif. Diperkirakan 19% dari kematian karena kardiovaskuler, 23% kematian karena stroke. Studi menemukan hubungan polusi udara dengan peningkatan mortalitas infark miokard, stroke, gagal jantung dan hipertensi. Peningkatan dalam kadar karboksihemoglobin (dalam kisaran 3%-6%) dapat terjadi ketika individu terpapar polusi dan memicu aritmia yang disertai penyakit jantung koroner

3. Penyakit Kulit

Kualitas kulit juga dipengaruhi polusi udara seperti perubahan tingkat dan komposisi kulit. Beberapa penyakit kulit telah dikaitkan dengan polusi udara. Sebuah penelitian menemukan polusi udara berhubungan dengan penyakit kulit atopik dan urtikaria (eksim atopik) dan seboroik (frekuensi ketombe yang lebih rendah). Urtikaria (biduran) juga terkait dengan polusi udara. Biduran dapat terjadi saat seseorang kena paparan lebih buruk selama 2 hingga 3 hari. Sejumlah penelitian menemukan hubungan positif antara polusi udara dan prevalensi serta peningkatan eksem terutama pada anak-anak. Paparan polusi udara luar dan dalam ruangan juga terkait dengan peningkatan penuaan kulit.

4. Kanker

Polusi udara telah diklasifikasikan sebagai karsinogenik bagi manusia oleh internasional agency for research on cancer berdasarkan bukti dari studi epidemiologi. Berbagai penelitian menunjukkan hubungan antara paparan PM2.5 dan risiko kanker paru. Asap knalpot mesin diesel telah diidentifikasi WHO sebagai karsinogen berdasarkan bukti adanya hubungan dengan kanker paru. Paparan diesel knalpot atau polusi lalu lintas memicu terjadinya tumor paru jinak dan ganas. Paparan polusi udara rupanya ikut terlibat dalam kematian kanker kandung kemih. Studi di Spanyol melaporkan hubungan

antara emisi hidrokarbon aromatic polycyclic dan diesel exhaust serta kanker kandung kemih pada penduduk secara jangka panjang di daerah yang tercemar industri.

5. Penyakit Mata

Iritasi mata dapat terjadi sebagai reaksi terhadap kabut. Kondisi ini seringkali lebih buruk bagi pemakai lensa kontak. Katarak pada wanita yang terpapar polusi udara rumah tangga di Negara-negara berpenghasilan rendah termasuk tinggi, ini dipicu penurunan kelembaban terkait penyakit mata kering.

6. Penyakit Tulang

Faktor lingkungan berperan dalam kepadatan tulang dan mineralisasi. Patah tulang terkait osteoporosis lebih umum di daerah konsentrasi polusi udara PM2.5 yang lebih tinggi. Efeknya lebih besar bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Paparan polusi udara jangka panjang dikaitkan dengan mengurangi kepadatan mineral tulang dan patah tulang pada pria lanjut usia.

7. Penyakit Autoimun

Paparan lingkungan dapat meningkatkan risiko penyakit autoimun. Paru-paru memiliki area permukaan yang mampu bersentuhan dengan segudang antigen, ini memiliki kepekaan dan sistem antigen yang dapat membuat individu rentan terhadap gangguan autoimun. Polusi udara merupakan faktor potensil yang memicu penyakit autoimun seperti rheumatoid arthritis (radang sendi) dan systemic lupus erythematosus (lupus). Peneliti di Kanada menemukan peningkatan peluang penyakit rematik dengan peningkatan paparan populasi udara PM2.5. polutan udara dapat memicu atau memperburuk arthritis idiopatik (penyakit reumatik) pada remaja

8. Penyakit Hati

Studi Taiwan terhadap 23.820 orang menemukan paparan polusi udara PM2.5 berhubungan dengan

peningkatan risiko hepatoseluler (tumor ganas hati). Penelitian mencatat peningkatan kadar aminotransferase (enzim di hati) menunjukkan tumor terjadi akibat peradangan kronis

9. Penyakit Ginjal

Ginjal termasuk organ yang rentan terhadap gangguan pembuluh darah besar dan kecil. Efek inflamasi sistemik dari paparan polusi udara bisa menyasar ginjal. Penelitian menunjukkan menghirup uap asap diesel kian memperburuk gagal ginjal kronis. Hal ini meningkatkan peradangan dan kerusakan DNA, serta penurunan fungsi ginjal dengan pencemaran polusi PM₈₄.

10. Penyakit Neurologis

Polusi udara memiliki efek merusak fungsi kognitif, peningkatan risiko demensia dan stroke. Selain itu polusi udara dapat merusak otak yang sedang berkembang. Penelitian menunjukkan bahwa paparan polusi udara pada anak usia dini untuk PM_{2.5} akan terjadi keterlambatan perkembangan psikologis dan kecerdasan anak yang lebih rendah. Studi di Mexico City menemukan anak-anak yang tinggal di daerah lebih berpolusi memiliki kognitif yang lebih buruk.

11. Diabetes, Obesitas, dan Penyakit Endokrin

Beberapa penelitian mengaitkan polusi udara dan diabetes mellitus tipe 2. Ada juga risiko sindrom metabolik pada orang yang terpapar polusi PM₁₀. Beberapa perubahan metabolisme memengaruhi penumpukan lemak terjadi karena paparan polusi udara. Anak-anak juga mudah mengalami resistensi insulin, kondisi ketika sel-sel tubuh tidak dapat menggunakan gula darah dengan baik karena terganggunya respon sel tubuh terhadap insulin

12. Penyakit Gastrointestinal

Polusi udara dikaitkan dengan beberapa kondisi gastrointestinal (radang saluran cerna) termasuk inflamasi

bowel disease(radang usus), tukak lambung dan radang usus buntu. Studi kasus paparan polusi di Inggris menemukan orang yang lebih mudah beresiko kena penyakit Crohn jika tinggal di daerah dengan tingkat polutan tinggi (Liputan6.com 2021)

6.7 Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran udara

Pencegahan pencemaran udara bisa dilakukan dengan cara yaitu menghindari penggunaan listrik berlebihan, memanfaatkan transportasi umum, menerapkan konsep reduce (mengurangi), reuse (gunakan kembali) dan recycle (daur ulang) (Prudential.co.id. 2022). Selain itu ada beberapa tindakan yang dapat kita lakukan untuk mencegah pencemaran udara adalah :

1. Perhatikan Konsumsi Sehari-Hari

Menjaga lingkungan dan udara dimulai dari diri sendiri. Salah satunya dengan memperhatikan konsumsi dalam kehidupan sehari-hari seperti menggunakan perlengkapan ramah lingkungan yang dapat di daur ulang dan mengurangi jumlah sampah atau limbah yang di hasilkan setiap hari

2. Beralih ke Transportasi Publik

Menggunakan transportasi umum merupakan salah satu cara yang cukup efektif dalam menekan pencemaran udara sebab kendaraan bermotor merupakan penyumbang polusi udara cukup besar. Tidak ada salahnya menggunakan kendaraan umum untuk melakukan perjalanan sehari-hari saat pergi dan pulang kerja, sekolah serta aktifitas lainnya, sehingga jumlah kendaraan di jalan berkurang dan asap polusi yang ditimbulkan ikut berkurang

3. Hemat Energi

Mengatasi pencemaran lingkungan berikutnya ialah memilih energi ramah lingkungan. Salah satu contoh yaitu hemat dalam pemakaian listrik dan mengurangi penggunaan AC. Ini merupakan salah satu bentuk atau cara manusia dalam menghemat energi. Langkah ini dapat mengurangi jejak karbon dan dampak gas emisi rumah kaca yang berpengaruh pada pemanasan bumi, apalagi pemakaian AC membutuhkan banyak energi dan menghasilkan emisi panas yang buruk untuk lingkungan.

Menurut Guru Besar Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH) Prof. Puji Lestari, Ph.D, memberikan sejumlah langkah yang dapat dilakukan untuk mencegah pencemaran udara yaitu mengidentifikasi sumber polusi dan mengukur level pencemaran yang ditimbulkan. Berikut cara-cara dalam mengendalikan pencemaran udara :

1. Mengurangi emisi
2. Membiasakan daur ulang (*recycle*)
3. Mendesain ulang kegiatan yang lebih ramah lingkungan
4. Implementasi produksi bersih
5. Pengelolaan end of pipe (limbah) yang ramah lingkungan (Hisyam Khalid 2022)

Untuk menanggulangi terjadinya pencemaran udara dapat dilakukan melalui beberapa usaha antara lain :

1. Mengganti bahan bakar kendaraan bermotor dengan bahan bakar yang tidak menghasilkan gas karbon monoksida
2. Pengolahan atau daur ulang limbah asap industri
3. Penghijauan dan reboisasi atau penanaman kembali pohon-pohon penggandi
4. Menghentikan pembakaran hutan (Triani 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Adnani, Nitish Basant. 2021. "Penyakit-Penyakit Mematikan Yang Disebabkan Polusi Udara." *<https://www.klikdokter.com/info-sehat/kesehatan-umum/penyakit-penyakit-mematikan-yang-disebabkan-polusi-udara>*. Diakses Pada Tanggal 10 November 2022.
- Hisyam Khalid. 2022. "Polusi Udara: Penyebab Dan Upaya Pencegahannya." *<https://environment-indonesia.com/polusi-udara-penyebab-dan-upaya-pencegahannya/>* Diakses Pada Tanggal 11 November 2022.
- Kemenkes RI. 2019. "Dampak Pencemaran Udara (Polusi Udara) Terhadap Penyakit Hipertensi." *<https://p2ptm.kemkes.go.id/post/dampak-pencemaran-udara-polusi-udara-terhadap-penyakit-hipertensi>*. Diakses Pada Tanggal 10 November 2022.
- Liputan6.com, Jakarta. 2021. "12 Penyakit Yang Disebabkan Oleh Polusi Udara, Bisa Berakibat Fatal." *https://id.berita.yahoo.com/12-penyakit-yang-disebabkan-oleh-052034717.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALzreB9bqIWqrUuoMxf_eT2noPHuS6C07Ai8-NiD8qey_nlRUDAnxGTBruRyAfeEoFABh7AKQM13WEemYYh xoi0nlGLMaOhjDR*.
- Prudential.co.id. 2022. "Dampak Pencemaran Udara Yang Bisa Ganggu Kesehatan." *<https://www.prudential.co.id/id/pulse/article/tinggal-di-perkotaan-ketahui-dulu-dampak-pencemaran-udara-ini/>*. Diakses Pada Tanggal 10 November 2022.
- Triani. 2022. "Dampak Pencemaran Udara,," *https://dlhk.bantenprov.go.id/upload/article/dampak_pencemaran_udara.pdf*, Diakses Pada Tanggal 12 November 2022.

BAB 7

PARAMETER FISIK UDARA

Oleh Samuel Marganda Halomoan Manalu

7.1 Suhu

7.1.1 Definisi

Suhu udara adalah udara panas dan dingin di atmosfer atau ruang. Suhu udara adalah kuantitas fisik udara yang paling penting dalam kehidupan sehari-hari. Ketinggian dapat mempengaruhi suhu ruangan dari permukaan laut, sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan, kelembaban, distribusi udara di dalam ruangan, adanya ventilasi, kepadatan ruangan, aktivitas di dalam ruangan, aktivitas di dalam dan di luar ruangan, bahan dinding dan lantai serta langit-langit di ruangan. kamar. kamar, alat elektronik di kamar, furniture dan tempat tidur di kamar yang suhunya di luar kamar.

7.1.2 Dampak

Suhu udara ruangan, tempat kerja, tempat umum, tempat tinggal mendukung kenyamanan untuk beraktivitas atau bekerja. Suhu udara yang terlalu panas menyebabkan hipertermia, keringat berlebih, yang akhirnya menyebabkan dehidrasi. Gangguan panas juga dapat menyebabkan:

1. *Heat cramps*, kram otot yang parah akibat keringat berlebih, dehidrasi 4%, ketegangan/kejang otot pada kaki, lengan dan nyeri perut, suhu tubuh lebih tinggi dari normal.
2. *Heat syncope*, yaitu jika heat cramps berlanjut, denyut nadi berkurang, orang yang pucat bisa mengalami kehilangan kesadaran (pingsan).

3. *Heat exhausted*, yaitu Kelelahan, kecemasan, tekanan darah rendah, denyut nadi lambat, suhu tubuh meningkat (37-40 °C), mual dan muntah, banyak berkeringat, kulit pucat, lemas, pusing, mual, napas pendek dan cepat, pusing dan dapat menyebabkan pingsan.
4. *Heat stroke*, yaitu detak jantung cepat, pusing, sakit kepala ringan atau sakit kepala, panas, kulit kering dan tampak kebiruan atau kemerahan, suhu tubuh > 40°C, kejang, kebingungan dan pingsan, koma dan risiko kerusakan organ yang fatal

Di lingkungan yang panas, karyawan mudah lelah, sering melakukan kesalahan, mengantuk, kehilangan stabilitas, mudah marah atau emosi, sedangkan di lingkungan yang dingin, karyawan cenderung malas, tidak fokus dan kurang perhatian.

Di udara dingin, suhunya bisa menyebabkan menggigil, bahkan hipotermia. Hipotermia diklasifikasikan dengan mengukur suhu inti:

1. Ringan : 33°-36° : merasa dingin, menggigil.
2. Sedang : 30°-33°: Kesulitan berjalan, gangguan bicara, kebingungan, ketegangan otot.
3. Berat : 27° - 30° Kehilangan kesadaran, tidak dapat pulih tanpa bantuan.
4. Sangat berat : <27° : Pingsan, mata terlihat tidak normal, pernapasan lambat, gangguan jantung bisa mati.

Selain hipotermia, suhu dingin juga dapat menyebabkan alergi, ruam kulit atau gatal-gatal, peradangan, kulit kering, dan keriput.

7.1.3 Cara Pengukuran

Selain mengukur kelembapan, cara pengukuran suhu biasanya menggunakan termometer alkohol, termometer air raksa, termometer digital atau termohigrometer. Termometer dikalibrasi terlebih dahulu, termometer dibawa ke titik atau tempat yang akan diukur, kemudian dipasang setinggi meteran di dinding atau di baju kerja sambil berdiri atau dengan tripod. Diamkan termometer ± 5 menit, baca hasil yang ditunjukkan indikator.



Gambar 7.1 : Termometer

7.1.4 Nilai Ambang Batas

Ambang batas adalah batas atau kisaran suhu yang tidak menimbulkan gangguan kesehatan bagi manusia. Namun, tingkat kenyamanan suhu ruangan yang diinginkan bagi penghuni ruangan harus dipastikan.

Suhu udara harus diatur senyaman mungkin bagi masyarakat di daerah tersebut. Meskipun parameter suhu memiliki ambang batas yang dapat diterima, terserah penghuni ruangan untuk memilih suhu yang nyaman. Misalnya ambang batas suhu rumah adalah 18°C-30°C, di ruangan AC diatur 20°C, namun ternyata penghuni ruangan sedang kedinginan dengan suhu 20°C, jadi settingnya harus diubah sesuai keinginan penghuni kamar.

Tabel 7.1 : Nilai Ambang Batas Suhu Ruangan

Nilai Ambang Batas	Lokasi	sumber
23°C-26°C	Perkantoran	PerMenkes No. 48 Tahun 2016
23°C-26°C	Rumah	PerMenkes No.1077/menkes/per/v/2011

Tabel 7.2 : Standar Suhu Menurut Fungsi Ruang atau Unit Pada Rumah sakit

No	Ruang atau Unit	Suhu (°C)
1	Operasi	19-24
2	Bersalin	24-26
3	Pemulihan / perawatan	22-24
4	Observasi bayi	21-24
5	Perawatan bayi	22-26
6	Perawatan premature	24-26
7	ICU	22-23
8	Jenazah/ autopsi	21-24
9	Penginderaan medis	19-24
10	Laboratorium	19-24
11	Radiologi	22-26
12	Sterilisasi	22-26
13	Dapur	22-30
14	Gawat darurat	19-24
15	Administrasi, pertemuan	21-24

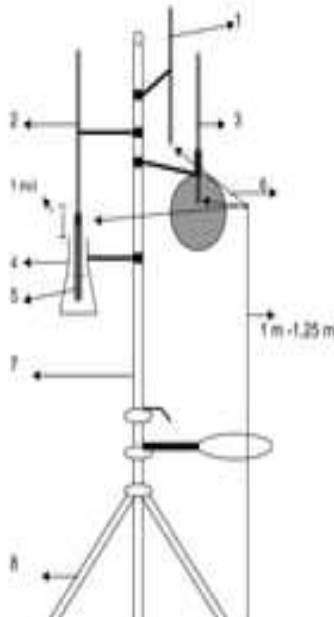
16	Ruang lukabakar	24-26
----	-----------------	-------

Sumber : Kepmenkes No.1204/Menkes/SK/X/2004

7.1.5 Indeks Standar Basah dan Bola (ISBB)

Suhu ruangan dapat digunakan sebagai ukuran udara kerja (panas). Iklim kerja dihasilkan dari kombinasi suhu, kelembaban, kecepatan pergerakan udara dan panas radiasi serta tingkat penyerapan panas fisik oleh karyawan melalui pekerjaannya. Berdasarkan SNI 16-7061-2004, tingkat pengukuran iklim kerja (panas) dengan parameter indeks suhu basah dan bola (ISBB) adalah sebagai berikut:

- Tentukan titik yang akan diukur. Titik pengukuran ditentukan di tempat kerja tenaga kerja, jumlah titik pengukuran disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan tugas.
- Lakukan setting seperti dibawah ini :



Gambar 7.2 : Peralatan untuk Pengukuran ISBB

Keterangan gambar :

- a. Termometer suhu kering dengan kisaran -5°C dan skala maksimum $0,5^{\circ}\text{C}$
- b. Termometer suhu basah alami dengan kisaran suhu -5° hingga 50°C dan skala maksimum $0,5^{\circ}\text{C}$.
- c. Termometer bola dengan suhu -5°C hingga 100°C dan skala maksimum $0,5^{\circ}\text{C}$
- d. Erlenmeyer 125 mililiter diisi air suling
- e. Kain kasa
- f. Diameter bola tembaga adalah 15cm
- g. Statis
- h. Tripot
 - a) Rendam kain kasa putih pada termometer suhu basah alami dengan air suling, jarak antara bagian bawah perut termometer dan permukaan tangki air adalah 1 inci. 30 menit - 60 menit.
 - b) Terkena bola kering selama 30 sampai 60 menit
 - c) Termometer bola dengan bola tembaga hitam disinari cahaya selama 20 - 30 menit.
 - d) Waktu pengukuran dilakukan 3 kali dalam 8 jam kerja yaitu. H. di awal shift kerja, di tengah shift kerja dan di akhir shift kerja.

Perhitungan Rumus ISBB

- a. Rumus dasar ISBB

Ada 2 (dua) jenis rumus perhitungan ISBB , yaitu :

- 1) Rumus pengukuran mempertimbangkan radiasi matahari, yaitu. H. tempat kerja yang terpapar sinar matahari langsung:

$$\text{ISBB} = 0,7 \text{ SBA} + 0,2 \text{ SB} + 0,1 \text{ SK}$$

SBA = Suhu Basah Alami

SB = Suhu Bola

Sk = Suhu Kering

2) Rumus untuk mengukur tempat kerja tanpa radiasi matahari:

$$ISBB = 0,7 SBA + 0,3 SB$$

SBA = Suhu Basah Alami

SB = Suhu Bola

b. Rumus yang dikembangkan berdasarkan pergerakan pekerjaan

Menurut ISBB, rumus yang dikembangkan berdasarkan rotasi pekerjaan adalah sebagai berikut:

$$(ISBB1) (t1) + (ISBB2) (t2) + + (ISBBn) (tn)$$

$$ISBB \text{ rata -rata} = \frac{ISBB1(t1) + ISBB2(t2) + \dots + ISBBn(tn)}{t1 + t2 + \dots + tn}$$

$$ISBB1 = \text{Indeks Suhu Basah dan Bola Menurut waktu 1}$$

$$ISBB2 = \text{Indeks Suhu Basah dan Bola menurut waktu 2}$$

$$ISBBn = \text{Indeks Suhu Basah dan Bola menurut waktu n}$$

$$T1, t2, tn = \text{waktu pemaparan dalam menit dari standar}$$

$$ISBB1, ISBB2 \text{ dan } ISBBn \text{ yang relevan.}$$

Tabel 7.3 : ISBB

Pengaturan waktu Kerja setiap jam	ISBB(°C)		
	Beban Kerja Ringan	Beban Kerja Sedang	Beban Kerja Berat
75%-100%	31,0	28,0	-
50%-75%	31,0	29,0	27,5
25%-50%	32,0	30,0	29,0
0%-25%	32,0	31,1	30,5

Indeks suhu basah dan bola luar ruangan dalam panas radiasi:

$$ISBB = 0,7 \text{ Suhu Basah alami} + 0,2 \text{ Suhu Bola} + 0,1 \text{ Suhu kering}$$

Indeks suhu basah dan bola lampu untuk ruang dalam dan luar ruangan tanpa pancaran panas:

$$ISBB = 0,7 \text{ Suhu basah Alami} + 0,3 \text{ Suhu Bola}$$

Catatan :

- Beban kerja ringan membutuhkan kalori hingga 200 kilokalori per jam
- Jumlah kerja yang wajar membutuhkan lebih dari 200 kalori hingga kurang dari 350 kalori/jam
- Beban kerja yang berat membutuhkan lebih dari 350 kalori dan kurang dari 500 kilokalori per jam.

7.2 Kelembaban

7.2.1 Definisi

Kelembaban adalah persentase uap air di udara dibandingkan dengan uap air jenuh pada suhu yang sama. Sederhananya, kelembaban adalah jumlah uap air yang tersuspensi di udara. Kelembaban berhubungan erat dengan suhu, tetapi tidak selalu berbanding lurus antara suhu dan kelembaban. Hubungan suhu terhadap kelembaban sangat bervariasi tergantung pada variabel elemen iklim lainnya seperti radiasi matahari, tekanan barometrik, pergerakan udara, aktivitas manusia, perangkat elektronik, furnitur, dan tempat tidur. Kelembaban di dalam ruangan biasanya berasal dari penguapan air yang merambat/mengalir dari lantai, dinding dan manusia. Kelembaban dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh kondisi material lantai, dinding, aktivitas manusia, furniture, peralatan penunjang ruangan seperti AC, ventilasi, pintu dan jendela.

7.2.2 Dampak

Di ruangan dengan kelembaban rendah, kulit cepat terasa kering. Saat kelembaban tinggi, uap air keluar dari mulut saat Anda bernapas. Kelembaban merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba di udara. Semakin tinggi kelembaban, semakin banyak kuman di udara dan bau tidak sedap. Jumlah mikroba yang tinggi di udara merupakan risiko penyebaran penyakit.

7.2.3 Cara pengukuran

Pengukuran kelembaban biasanya menggunakan gelang psikrometer dan psikrometer, higrometer atau termohigrometer. Pengukurannya adalah sebagai berikut:

- Tempelkan dengan air suling pada kapas/kain di ujung thermometer yang nampak basah sedangkan kering kering, tidak dibatasi. Putar sabuk 360° dan kenakan sambil berjalan di ruangan/area yang akan diukur selama 15 menit. Kelembaban diperoleh dengan mengubah data suhu bola basah dan data suhu bola kering ke skala peta Psychro.
- Psychrometer dan Psychrocar dibasahi dengan aquadest pada bagian kapas/kain di ujung termometer yang terlihat basah sedangkan yang kering tidak basah, letakkan di atas meja atau meja kering di ruangan/tempat yang digunakan untuk 2-5 ; Menit terukur (hingga konstan) Suhu psikrometer basah (basah) dan kering (kering) Lihat dan catat suhunya.
- Higrometer atau termohigrometer terlebih dahulu dikalibrasi, higrometer dibawa ke titik yang akan diukur kemudian diletakkan setinggi meteran di dinding atau berdiri di atas meja atau dengan tripod. Jalankan thermo-hygrometer selama ± 5 menit, baca hasil yang ditunjukkan indikator. Skala bawah menunjukkan kelembaban sedangkan skala atas menunjukkan suhu udara.



Gambar 7.3 : Psychrometer

7.2.4 Nilai Ambang Batas

Tabel 7.4 : Nilai Ambang Batas Kelembapan Udara Ruangan

Nilai Ambang Batas	Lokasi	Sumber
40%-60%	Perkantoran	PerMenkes No.48 Tahun 2016
40%-60%	Rumah	PerMenkes No.1077/MENKES /PER/V/2011

Tabel 7.5 : Kelembapan Udara Menurut Fungsi Ruangan atau Unit Pada Rumah Sakit

No	Ruang atau Unit	Kelembapan (%)
1	Operasi	45-60
2	Bersalin	45-60
3	Pemulihan /perawatan	45-60
4	Observasi bayi	45-60
5	Perawatan bayi	35-60
6	Perawatan prrematur	35-60
7	ICU	35-60
8	Jenazah / autopsi	-
9	Penginderaan medis	45-60
10	Laboratorium	35-60
11	Radiologi	45-60
12	Strelisasi	35-60
13	Dapur	35-60
14	Gawat darurat	45-60
15	Administrasi, pertemuan	-
16	Ruang luka bakar	35-60

7.3 Pecahayaan

7.3.1 Definisi

Sumber cahaya memancarkan energi ke segala arah dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Ada dua sumber cahaya di sekitar kita, yaitu sumber cahaya matahari alami dan sumber cahaya buatan. Panjang gelombang tampak berkisar dari 380 mμ hingga 780 mμ menurut tabel di bawah ini.

Tabel 7.6 : panjang gelombang

Warna	Panjang Gelombang (nm)
Ungu	380-420
Biru	420-495
Hijau	495-566
Kuning	566-589
Jingga	589-627
merah	627-780

7.3.2 Dampak

Dampak pencahayaan yang tidak sesuai dengan kebutuhan yaitu:

1. Kelelahan mata
2. Kelelahan mental
3. Pegal sekitar mata dan sakit kepala sekitar mata
4. Kerusakan indra mata
5. Produktivitas rendah
6. Kecelakaan kerja
7. Kesalahan kerja
8. Kualitas kerja kerja

7.3.3 Cara pengukuran

Pengukuran cahaya di area kerja tertentu dapat dilakukan sebagai berikut:

Lux meter dikalibrasi dengan menyalakan lux meter, menutup imager/sensor, melihat ke layar, jika terbaca 0, berarti perangkat OK. Nyalakan lux meter yang telah dikalibrasi, buka penutup sensor dan bawa lux meter ke meter yang ditentukan. Biarkan lux meter menyala sebentar, lalu lihat layar dan catat angka yang stabil/sering muncul. Harap dicatat bahwa ketinggian lux meter ± 85 cm dari tanah atau di atas meja, jarak dari pengemudi adalah 60-90cm.



Gambar 7.4 : luxmeter

7.3.4 Nilai Ambang Batas

Tabel 7.7 : Nilai Ambang Batas Pencahayaan Ruangan

Nilai Ambang Batas	lokasi	Sumber
≥ 150	Perkantoran	PerMenkes no.48.Tahun 2016
≥ 60	rumah	Permenkes NO.1077/MENKES/PER/V/2011

Tabel 7.8 : Nilai Ambang Batas Pencahayaan Ruangan atau unit pada Rumah Sakit

No	Ruang atau unit	Intensitas Cahaya (lux)	keterangan
1	Ruang pasien -saat tidak tidur -saat tidur	100-200 Maksimal 50	Warna cahaya sedang
2	Ruang operasi umum		
3	Meja operasi	10.000-20.000	Warna cahaya sejuk atau

No	Ruang atau unit	Intensitas Cahaya (lux)	keterangan
			sedang tanpa bayangan
4	Anestesi, pemulihan	300-500	
5	Endoscopy,lab	75-100	
6	Sinar X	Minimal 60	
7	Koridor	Minimal 60	
8	Tangga	Minimal 100	Malam hari
9	Administrasi / kantor	Minimal 100	
10	Ruangan alat /gudang	Minimal 200	
11	Farmasi	Minimal 200	
12	Dapur	Minimal 200	
113	Ruang cuci	Minimal 100	
14	Toilet	Minimal 100	
15	Ruanga isolasi khusus penyakit tetanus	0,1-0,5	Warna cahaya biru
16	Ruang luka bakar	100-200	

Tabel 7.9 : pencahayaan Zona lalu lintas dan Area Umum dalam Gedung Industri

Jenis Area, pekerjaan / aktivitas	Lux
Lorong: tidak ada pekerja	20
a. Pintu masuk b. Ruang istirahat	100
Area sirkulasi dan koridor	100
Elevator , lift	100
Ruang penyimpanan	100
Area bongkar muat	150

Jenis Area, pekerjaan / aktivitas	Lux
Tangga, eskalator, travolator	150
Lorong: ada pekerja	150
a. Rak penyimpanan b. Ruang tunggu c. Ruang kerja umum , Ruang <i>Switch Gear</i> d. Kantin e. Pantry	200
Ruang ganti, kamar mandi, toilet	200
a. Ruangan aktifitas fisik (olahraga) b. Area penanganan pengiriman pesanan	300
a. Ruangan P3K b. Ruangan untuk memberikan perawatan medis c. Ruangan <i>switchboar</i>	500
a. Ruangan aktivitas fisik (olahraga) b. Area penanganan pengiriman pesanan	300

7.4 Kebisingan

7.4.1 Pemahaman

Kebisingan adalah munculnya suara yang tidak diinginkan karena tidak sesuai dengan waktu dan tempat, atau mengganggu dan membahayakan kesehatan baik pada tingkat rendah maupun tinggi, termasuk pola kedatangan suara. Suara keras dapat merusak lapisan gendang telinga, merusak alat bantu dengar bahkan ketulian. pada intensitas rendah mempengaruhi kenyamanan mendengarkan.

Audio atau kualitas suara dapat dilihat dari perspektif berikut:

- Frekuensi disebut jumlah siklus per detik atau hertz (Hz), yaitu jumlah gelombang yang mencapai telinga per detik.

- Intensitas energi atau arus per satuan luas, sering dinyatakan dalam desibel, adalah rasio kekuatan suara fundamental terhadap frekuensi (dB(A)) yang diterima oleh telinga normal.

Klasifikasi suara dapat didasarkan pada rangkaian waktu peristiwa bunyi, sehingga kenyaringan dapat dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu:

- a. Intensitas suara kontinu/tetap
 - 1) Intensitas suara kontinu dengan tekanan suara yang sama
 - 2) Intensitas suara kontinu dengan tekanan suara yang berubah-ubah.
- b. Intensitas suara terputus
 - 1) Intensitas suara terputus dengan tekanan suara yang sama.
 - 2) Intensitas suara terputus dengan tekanan suara yang berubah-ubah.
- c. Intensitas Impulsive/impact

7.4.2 Dampak

Dampak dari kebisingan antara lain :

- Efek fisiologis dapat menyebabkan tekanan darah, peningkatan denyut jantung, ketegangan otot, pembuluh darah tepi terutama di tangan dan kaki, pucat, gangguan sensorik, pusing dan sakit kepala.
- Efek psikologis adalah reaksi seseorang terhadap kebisingan, perasaan tidak nyaman, sulit berkonsentrasi, sulit tidur, sensitif, mudah tersinggung, dll. Jika berlangsung lama dapat menyebabkan penyakit psikomatik berupa penyakit lambung, jantung, stres, kelelahan dan penyakit lainnya.
- Efek organik-patologis dapat menyebabkan kerusakan organ pendengaran, ketulian (perubahan ambang pendengaran sementara = tts), perubahan ambang

pendengaran permanen = pts, trauma akustik, tinnitus/ringing atau prebicus (gangguan pendengaran pada volume tinggi).

- Pengaruh komunikasi, yaitu dapat mempengaruhi kemampuan memahami dan memahami materi yang dikomunikasikan.

Menurut International Organization for Standardization (ISO), derajat gangguan pendengaran adalah:

- Tidak dapat mendengar secara normal pada tingkat kebisingan 0-25 dB (A).
- Tidak dapat mendengar suara pada tingkat kebisingan 25-40 dB (A), gangguan pendengaran ringan.
- Tidak dapat mendengar suara pada tingkat kebisingan 40-55 dB(A), gangguan pendengaran sedang.
- Tidak dapat lagi mendengar suara pada tingkat kebisingan > 55 dB (A), gangguan pendengaran berat.

Faktor-faktor yang menyebabkan kerasnya suatu bunyi menjadi kebisingan atau gangguan adalah sebagai berikut:

1. Intensitas tinggi merupakan risiko tinggi gangguan pendengaran
2. Frekuensi tinggi banyak hubungannya dengan gangguan pendengaran.
3. Kebisingan konstan menempatkan Anda pada risiko gangguan pendengaran yang lebih besar.
4. Paparan jangka panjang membawa risiko tinggi gangguan pendengaran.
5. durasi paparan kebisingan, risiko tinggi gangguan pendengaran atau sebaliknya.
6. Sensitivitas dan pendengaran menurun seiring bertambahnya usia, risiko gangguan pendengaran.

7. Kepekaan individu terhadap kondisi stres, ada yang peka, ada yang acuh tak acuh.

7.4.3 Cara Pengukuran

Cara pengukuran intensitas suara/kebisingan menurut Kepmenih No.Kep-48/MENLH/11/1996, Lampiran II adalah :

1. Pengukuran sesaat

- 1) Cara termudah untuk menggunakan sound level meter sesuai petunjuk alat adalah dengan mengukur tekanan suara dalam dB (A) selama 10 (sepuluh) menit pada setiap pengukuran. Pembacaan dilakukan setiap 5 (lima) detik.
- 2) Metode langsung menggunakan sound meter terintegrasi dengan kapasitas ukur L^{TM5} yaitu leq dan waktu ukur setiap 5 detik, ukur selama 10 (sepuluh) menit.

2. Pengukuran 24 jam

Pengukuran temporal dilakukan selama aktivitas 24 jam (L^{SM}) dengan aktivitas puncak pada siang hari selama 16 jam (L_s) dari pukul 06:00 hingga 22:00 dan pada malam hari setiap 8 jam (L_m). mulai pukul 10:00 malam. sampai pukul 06:00 pagi Setiap pengukuran harus dapat mewakili interval waktu tertentu dengan menetapkan minimal 4 kali pengukuran pada siang hari dan minimal 3 kali pengukuran pada malam hari, yaitu:

- L1 diambil pada jam 07.00 mewakili jam 06.00-09.00.
- L2 diambil pada jam 10.00 mewakili jam 09.00-11.00.
- L3 diambil pada jam 15.00 mewakili jam 14.00-17.00.
- L4 diambil pada jam 20.00 mewakili jam 17.00-22.00.
- L5 diambil pada jam 23.00 mewakili jam 22.00-24.00.
- L6 diambil pada jam 01.00 mewakili jam 24.00-03.00.
- L7 diambil pada jam 04.00 mewakili jam 03.00-06.00.

KETERANGAN

L_{eq} : Equivalent continuous noise level atau tingkat kebisingan sinambung setara ialah nilai tingkat kebisingan dari kebisingan yang berubah – ubah (fluktuatif) tetap (steady) pada selang waktu yang sama . satuannya adalah dB (A) .

$L_{TM5} = L_{eq}$ dengan waktu sampling tiap 5 detik .

$L_S = L_{eq}$ selama siang hari.

$L_M = L_{eq}$ selama malam hari .

$L_{sm} = L_{eq}$ selama siang hari .

METODE PERHITUNGAN

L_S dihitung sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log \frac{1}{16} (T1.10^{0.1L1} + \dots + T4.10^{0.1L4}) \text{dB(A)}$$

L_M dihitung sebagai berikut :

$$L_M = 10 \log \frac{1}{8} (T5.10^{0.1L5} + \dots + T7.10^{0.1L7}) \text{dB(A)}$$

Untuk mengetahui apakah tingkat kebisingan sudah melampaui baku tingkat kebisingan , maka perlu dicari nilai L_{SM} dihitung dari rumus :

$$L_{SM} = 10 \log \frac{1}{24} (16.10^{0.1L_S} + 8.10^{(L_M + 5)}) \text{dB(A)}$$

METODE EVALUASI

Nilai L_{SM} yang dihitung dibandingkan dengan nilai baku tingkat kebisingan yang di tetapkan dengan toleransi + dB(A).



Gambar 7.5 : Sound Level Meter

7.4.4 Nilai Ambang Batas

Tingkat/ambang batas kebisingan normal (nilai batas) adalah tingkat kebisingan yang aman atau batas paparan untuk jangka waktu tertentu, tingkat maksimum kebisingan yang dapat dipancarkan ke lingkungan tempat usaha dengan cara yang tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia. . dan kenyamanan lingkungan.

Tabel 7.10 : Nilai Ambang Batas Kebisingan

Nilai Ambang Batas	Lokasi	Sumber
45-55	Lingkungan Permukaan	kepmenkes no.829/menkes/sk/vii/1999

Volume atau kebisingan yang normal dalam ruang kantor sesuai peruntukannya sebagai berikut:

Tabel 7.11 : Standard Kebisingan Ruang Perkantoran

Peruntukan Ruang	Standard Kebisingan (dBA)
Ruang Kantor (umum/terbuka)	55-65
Ruang kantor (pribadi)	50-55
Ruang umum dan kantin	65-75
Ruang pertemuan dan rapat	65-70

Sumber : Permenkes No.48 Tahun 2016

Tabel 7.12 : Indeks Kebisingan Menurut Ruangan atau Unit Rumah Sakit

No	Ruangan atau Unit	Maksimum Kebisingan (Waktu pemaparan 8 dan satuan Db (A)
1	Ruang Pasien 1. Saat Tidur 2. Saat tidak tidur 3. Saat Tidur	45 40
2	Ruang Operasi Umum	45
3	Anastesi , pemulihan	45
4	Endoskopi , laboratorium	65
5	Sinar X	40
6	Koridur	40
7	Tangga	45
8	Kantor/Loby	45
9	Ruang alat / gudang	45
10	Farmasi	45
11	Dapur	78
12	Ruang Cuci	78
13	Ruang Isolasi	40
14	Ruang Poli gigi	80

Sumber : Kepmenkes NO :1204/MENKES/SK/X/2004

Tabel 7.13 : Nilai Ambang Batas Kebisingan di Tempat Kerja

Waktu pemaparan per hari		Intensitas Kebisingan dalam dBA
8	Jam	85
4	Jam	88
2	Jam	91
1	Jam	94
30	Menit	97
15	Menit	100
7,5	Menit	103
3,75	Menit	106
1,88	Menit	109
0,94	Menit	112
28,12	Detik	115
14,06	Detik	118
7,03	Detik	121
3,52	Detik	124
1,76	Detik	127
0,88	Detik	130
0,44	Detik	133
0,22	Detik	136
0,11	Detik	139

Contoh: Tidak boleh terpajan lebih dari 140 dBA, walaupun sesaat.

Sumber : Permenaker No. 13/Men/X/2011

Tabel 7.14 : Baku Tingkat Kebisingan

Peruntukan kawasan/Lingkungan Kegiatan		Tingkat Kebisingan dB (A)
1.	Peruntukan kawasan	
	1. Perumahan dan Pemukiman	55
	2. Perdagangan dan jasa	70
	3. Perkantoran dan Perdagangan	65
	4. Ruang Terbuka Hijau	50
	5. Industri	70
	6. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
	7. Rekreasi	70
	8. Khusus : - Pelabuhan Laut - Cagar Budaya	70 60
B.	Lingkungan Kegiatan	
	1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
	2. Sekolah atau sejenisnya	55
	3. Tempat ibadah atau sejenisnya	55

Sumber : Keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup , Nomor : Kep - 48/MENLH/11/1996, tentang :Baku tingkat kebisingan .

7.5 Kecepatan Angin/Laju Ventilasi

7.5.1 Definisi

Angin adalah massa udara yang bergerak, berayun, dan berubah secara dinamis secara horizontal atau diagonal. Faktor pendorong terjadinya pergerakan angin adalah tekanan udara yang dipengaruhi oleh suhu, sedangkan suhu dipengaruhi oleh sinar matahari atau sumber panas lainnya. Selain itu, ventilasi atau

ventilator, exhaust fan dan air conditioner berperan dalam penyaluran angin ke segala arah. Kehadiran angin mempengaruhi distribusi kelembaban dan partikel di udara. Melibatkan penyebaran mikroorganisme atau bakteri dari ruangan ke ruangan. Adanya angin yang membawa udara dingin juga menyebabkan manusia menggigil, sehingga udara hangat yang bergerak seharusnya membuat Anda merasa hangat. Kecepatan angin dalam ruangan atau pergerakan angin dapat menyebabkan mikroorganisme atau bakteri, debu dan kelembaban tetap tersuspensi/mengambang di udara lebih lama.

7.5.2 Dampak

Angin yang bergerak ke arah tertentu (misalnya kipas angin, pipa knalpot, AC, pengendara sepeda motor hanya terkena angin sakal, atau membuka jendela mobil saat mengemudi dengan tekanan konstan yang diterapkan langsung ke wajah atau badan). melihat sebagai lumpuh. Bahkan, salah satu saraf wajah mengalami kelumpuhan, sehingga wajah bengkok karena kontraksi otot tidak simetris. Oleh karena itu, sebaiknya tekanan/angin dengan kecepatan tertentu tidak langsung mengenai muka atau badan, tetapi terlebih dahulu dipantulkan ke dinding, atau kecepatannya diminimalkan agar muka atau badan tidak bereaksi.

Salah satu penyebab Bell's Palsy yaitu angin yang menembus tengkorak atau foramen mastoid. Angin dingin ini membengkak saraf di wajah Anda dan kemudian melebar. Pembengkakan atau radang saraf ketujuh, atau saraf wajah, menghentikan aliran darah ke saraf. Hal ini menyebabkan kematian sel, sehingga rangsangan atau penghantaran impuls terganggu. Akibatnya, perintah otak untuk menggerakkan otot wajah tidak bisa diteruskan.

7.5.3 Cara Pengukuran

Kecepatan angin biasanya diukur dengan anemometer, satuan kilometer atau mil per satuan waktu. Selain itu, ada cara untuk mengetahui kecepatan angin khususnya di luar ruangan dengan melihat fenomena alam. Metode yang cukup terkenal adalah dengan menggunakan skala Beaufort. Skala Beaufort antara 0-12. Penggunaan anemometer adalah mengarahkan baling-baling ke arah mata angin kemudian melihat kecepatan angin dan satuannya di layar.



Gambar 7.6 : Anemometer

Sumber : <https://velascoindonesia.com/wind-speed-anemometer/>

7.5.4 Nilai Ambang Batas

Untuk udara dalam ruangan, ambang batas kecepatan angin tercermin dalam kecepatan angin. Kecepatan ventilasi normal adalah 0,15 – 0,25 meter/detik di kawasan pemukiman (PerMenKes NO 1077/MENKES/PER/V/2011 dan 0,15 – 0,50 meter/detik di perkantoran (PerMenKes No 48, 2016). 0,57 m³/menit/orang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono Tri, 2017. Penyakit Udara. Yogyakarta : CV. ANDI OFFSET
- Chandra, B. 2007. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Departemen Kesehatan R.I. 2007. Parameter Pencemar Udara Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. Jakarta: Depkes RI.
- Kristanto, P. 2013. Ekologi Industri. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Manahan. 2005. Environmental Chemistry 8th Edition. New York: CRC Press.
- Prabowo, Kuat dan Burhan Muslim, 2018. Penyakit Udara. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

BAB 8

PENGUKURAN DAN PENENTUAN KUALITAS KIMIA UDARA

Oleh Th Teddy Bambang S

8.1 Definisi Kualitas Udara

Atmosfer yang melingkupi bumi yang fungsinya sangat penting dan diperlukan bagi kehidupan manusia disebut udara. Udara adalah campuran beberapa gas tidak berwarna dan tidak berbau, yang proporsinya tidak tetap tergantung pada suhu udara, tekanan udara, dan kondisi lingkungan. Udara berada dimana-mana dan menjadi salah satu komponen abiotik yang menjadi kebutuhan setiap makhluk hidup. Kualitas udara atau kualitas udara adalah tingkat konsentrasi udara berdasarkan konsentrasi polutan di lokasi tertentu. Kualitas udara ini disesuaikan dengan *Air Quality Index* (AQI). Indeks kualitas udara adalah nilai yang menyatakan kualitas atau kebaikan udara menurut sifat-sifat komponennya.

8.2 Karakteristik Kimia Udara Bersih

Lingkungan tempat manusia dan organisme lain hidup di permukaan bumi disebut atmosfer bumi. Atmosfer Bumi mengandung udara, campuran gas yang mengelilingi lapisan atmosfer Bumi. Kualitas udara di sekitarnya sangat menentukan atmosfer bumi. Peran utama atmosfer bumi dalam mendukung kehidupan di permukaan bumi adalah untuk mencegah pemanasan dan pendinginan suhu bumi serta menyediakan gas-gas tertentu bagi organisme hidup.

Perubahan komposisi gas di atmosfer bumi dapat menyebabkan terganggunya kesejahteraan, kesehatan manusia,

tumbuhan dan hewan, serta gangguan iklim. Pencemaran udara dari industri dan kendaraan bermotor dapat menyebabkan perubahan komposisi gas atmosfer. Jika dibiarkan, hal itu menurunkan kualitas udara luar Bumi. Untuk mengetahui tingkat pencemaran udara dan pencemaran udara perlu diketahui komposisi gas-gas atmosfer.

Campuran mekanis beberapa gas disebut komposisi udara atmosfer. Komposisi gas di atmosfer bumi relatif konstan. Untuk menentukan komposisi gas di atmosfer bumi, perlu dilakukan pengukuran komposisi udara bersih dan kering yang terkumpul di sekitar laut. Komposisi gas-gas di atmosfer bumi ditunjukkan pada tabel di bawah ini

Tabel 8.1 : Komposisi gas-gas di Atmosfer

Komponen	Formula	Persen Volume	ppm
Nitrogen	N ₂	78,08	780800
Oksigen	O ₂	20,95	209500
Argon	Ar	0,934	9340
Karbon Dioksida	CO ₂	0,0134	314
Neon	Ne	0,00182	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH ₄	0,0002	2
Kripton	Kr	0,000114	1

Udara di atmosfer bumi tidak pernah ditemukan bersih dan bebas dari polutan. Berbagai gas seperti sulfur dioksida (SO₂), hidrogen sulfida (H₂S), karbon monoksida (CO) dan gas-gas NO_x, NH₃ serta partikel-partikelnya selalu terlepas ke udara sebagai produk sampingan dari dekomposisi proses alam seperti aktivitas gunung berapi, sampah organik, kebakaran hutan, industri dan pertambangan. Selain itu, partikel padat atau cair kecil dapat tersebar di udara oleh angin, letusan gunung berapi, atau gangguan

alam lainnya. Selain faktor alam, partikel juga terlepas ke udara oleh aktivitas manusia seperti pertambangan, proses industri dan kebakaran hutan.

8.3 Pencemaran Udara

Udara merupakan faktor penting dalam kehidupan, namun dengan perkembangan fisik kota dan pusat industri, kualitas udara telah berubah. Udara yang dulu segar kini kering dan kotor. Jika perubahan tersebut tidak segera diatasi dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Pencemaran udara didefinisikan sebagai adanya di udara zat asing atau zat yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Adanya zat atau zat asing di udara dalam jumlah tertentu dan dalam waktu yang lama di udara dapat mempengaruhi kehidupan manusia. Ketika situasi seperti itu terjadi, udara dikatakan tercemar.

Berdasarkan Keputusan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah pelepasan atau lepasnya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia sehingga kualitas udara turun sampai tingkat tertentu, , menyebabkan polusi udara. tidak memenuhi misinya. Pencemaran udara pada umumnya bersifat alami, misalnya dari gas pembusukan, debu akibat erosi, dan serbuk sari yang terbawa angin. Kemudian, selain aktivitas manusia, jumlah dan konsentrasi polutan semakin meningkat, sehingga paparan terhadap polutan tersebut menjadi semakin tinggi. Padahal, alam telah menyediakan unsur-unsur dasar yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk kehidupan yang memadai dan berkelanjutan, namun dengan ditambahnya polusi udara dari aktivitas manusia, maka udara tidak lagi dapat membersihkan dirinya sendiri (self-cleaning).

8.4 Sumber Pencemar Udara

Bersama-sama ditentukan bahwa kualitas udara telah menjadi masalah global karena udara telah tercemar oleh aktivitas manusia dan proses alam. Masuknya polutan ke udara dapat terjadi secara alami, misalnya asap dari kebakaran hutan, asap dari gunung berapi, debu meteorit, dan emisi garam dari laut; juga terutama melalui aktivitas manusia, mis. kegiatan transportasi, industri, pembuangan limbah akibat proses dekomposisi atau pembakaran dan kegiatan domestik.

1. Aspek Klimatologi Pencemaran Udara

Pencemaran udara bervariasi dari satu tempat ke tempat lain karena perbedaan tingkat cahaya, kelembaban, suhu, angin dan hujan, yang berdampak signifikan terhadap distribusi dan penyebaran pencemaran udara baik secara lokal (kota) maupun regional. (kota dan sekitarnya).

(1) Kelembaban

Kelembaban menunjukkan jumlah uap air di udara. Konsentrasi uap air penting karena uap air memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi terestrial, yang menentukan hilangnya panas secara cepat dari bumi dan dengan demikian juga mengatur suhu udara. Kabut terbentuk ketika udara lembab dan mengembun. Jenis partikel cair ini berbahaya karena memfasilitasi konversi SO_3 menjadi H_2SO_4 . Selain itu, kabut di daerah lembab mencegah matahari memanaskan permukaan bumi untuk menghilangkan inversi, dan karenanya sering memperpanjang keberadaan polusi udara. Kelembapan yang relatif rendah ($< 60\%$) di area yang terkontaminasi SO_2 mengurangi korosifitas bahan kimia ini, sedangkan kelembapan relatif minimal 80% di area yang terkontaminasi SO_2 meningkatkan korosifitas SO_2 . Kondisi udara yang lembab mendukung terjadinya pengendapan polutan karena pada kondisi udara yang

lembab beberapa partikel pencemar berupa partikel (misalnya debu) berikatan dengan air di udara dan membentuk partikel yang lebih besar sehingga mudah mengendap di permukaan bumi di bawah pengaruh kekuatan alam. menyeret bumi.

(2) Suhu

Salah satu sifat terpenting atmosfer adalah stabilitas atmosfer itu sendiri, yaitu kecenderungan untuk menambah atau mengurangi pergerakan udara vertikal. Dalam kondisi stabil, pergerakan udara terbatas atau tidak banyak pergerakan vertikal. Kondisi ini dipengaruhi oleh distribusi suhu udara. Suhu udara turun $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk setiap ketinggian 100 m, tetapi pada malam hari lapisan udara yang dekat dengan tanah mendingin terlebih dahulu, sehingga suhu lapisan udara lapisan bawah bisa lebih rendah daripada lapisan atas. Kondisi cuaca ini disebut inversi, yaitu H. suhu udara meningkat dengan ketinggian lapisan udara, yang membutuhkan kondisi stabil dan tekanan tinggi. Dengan kondisi tersebut, gradien tekanan melemah, sehingga angin berkurang, mengurangi penyebaran polutan secara horizontal. Pada saat yang sama, tidak ada migrasi udara vertikal, yang menyebabkan polutan turun secara vertikal dan meningkatkan akumulasi lokal. Ini dapat membahayakan kesehatan manusia. Namun inversi tersebut dapat menghilang setelah pagi ketika radiasi matahari mengenai permukaan bumi.

Suhu dapat menyebabkan polutan udara menjadi lebih rendah dan tidak menyebar. Kenaikan suhu dapat menjadi katalisator atau membantu mempercepat reaksi kimia dari perubahan polusi udara. Pada musim kemarau, saat udara lebih kering dan suhu cenderung naik serta angin bertiup lebih lambat dibandingkan saat musim hujan, tingkat pencemaran udara biasanya tinggi pada musim

kemarau karena tidak ada pengenceran polutan di udara. Penurunan suhu permukaan bumi dapat menyebabkan peningkatan kelembaban relatif, yang meningkatkan efek korosif polutan. Pada saat yang sama, peningkatan suhu juga meningkatkan reaksi zat kimia. Pembalikan suhu dapat menyebabkan polusi yang parah karena pembalikan dapat menyebabkan polutan terakumulasi di atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar. Selain itu suhu udara yang tinggi membuat udara menjadi rapuh sehingga konsentrasi polutan menurun, sebaliknya pada suhu dingin udara lebih padat sehingga konsentrasi polutan di udara lebih tinggi. Temperatur udara yang tinggi menyebabkan bahan pencemar udara berupa partikel mengering dan menjadi lebih ringan sehingga dapat bertahan di udara lebih lama, terutama pada musim kemarau yang jarang hujan. Selain itu, pergerakan udara di atmosfer bisa vertikal atau horizontal. Pergerakan horizontal disebabkan oleh aliran angin, ketika angin yang bertiup cukup aktif dan kuat, polusi tidak sempat menumpuk, karena menyebar dengan cepat. Suasana di sekitar pegunungan, perbukitan, dan bangunan di perkotaan melambat dan menghalangi pergerakan angin, mengurangi pergerakan udara horizontal karena pergerakan horizontal dibatasi. Radiasi matahari dapat mempengaruhi keadaan polutan oksigen, terutama O_3 atmosfer. Keadaan ini dapat menyebabkan meningkatnya eksitasi bahan pencemar hingga merusak bahan tersebut. Dengan demikian, fitur iklim tertentu, spesifik dalam sifat dan karakteristik lokasinya, memengaruhi variasi dan variasi temporal konsentrasi polusi udara di lokasi tersebut, dan model iklim kompatibel dengan karakteristik dan intensitas emisi polusi udara dari lokasi lain. Oleh karena itu, tinjauan iklim polusi udara akan bersifat temporal dan makrospasial.

8.5 Jenis Bahan Pencemar Udara

Ada berbagai jenis polusi udara yang umum terjadi di kota-kota. Bahan pencemar udara yang sering terdapat di kota-kota besar adalah Particulate Matter (PM), Carbon Monoxide (CO), Sulphur Oxide (SO_x), Photochemical Oxidizers (Ozon, NO_x dan PAN).

Materi partikulat digunakan untuk menggambarkan cairan di udara atau partikel padat dengan ukuran mulai dari 0,001 µm hingga 500 µm. Ukuran partikel dapat digunakan untuk menggambarkan seberapa jauh angin dapat membawa partikel, apa efek yang ditimbulkannya, dari sumber polusi mana, dan berapa lama partikel tersebut bertahan di udara. Bentuk paling berbahaya dari padatan ini adalah partikel yang sangat kecil dan halus yang dapat masuk ke paru-paru dan hanya dilindungi oleh dinding tipis setebal molekul. Sering disebut PM10 karena partikelnya lebih kecil dari 10 mikron.

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida alami terbentuk melalui salah satu proses berikut: (1). Pembakaran karbon atau komponen karbon yang tidak sempurna. (2). Reaksi antara karbon dioksida dan komponen karbon pada suhu tinggi. (3). Karbon dioksida terdisosiasi pada suhu tinggi menjadi CO dan O₂. Kendaraan bermotor merupakan sumber utama polusi CO₂ (sekitar 59,2%), oleh karena itu daerah padat penduduk dengan lalu lintas padat memiliki polusi CO₂ yang tinggi.

Gas sulfoksida atau sering ditulis SO_x terdiri dari gas SO₂ dan SO₃ yang keduanya memiliki sifat yang berbeda. Gas SO₂ memiliki bau yang sangat menyengat dan tidak mudah terbakar sedangkan gas SO₃ sangat reaktif. Gas SO₃ mudah bereaksi dengan uap air di udara membentuk asam sulfat atau H₂SO₄. Kehadiran SO₃ dalam bentuk gas di udara hanya dimungkinkan jika konsentrasi uap airnya sangat rendah. Biasanya, ketika ada cukup uap air, SO₃ dan air segera bergabung membentuk tetesan asam sulfat (H₂SO₄).

Ketika ada beberapa SO_2 di atmosfer, itu diubah menjadi SO_3 (kemudian H_2SO_4) melalui proses fotolitik dan katalitik.

Oksidator fotokimia adalah komponen atmosfer yang dihasilkan melalui proses fotokimia, yaitu proses kimiawi yang memerlukan cahaya untuk mengoksidasi komponen yang tidak dapat dengan mudah dioksidasi oleh gas oksigen. Agen pengoksidasi utama adalah ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2) dan peroxyacyl nitrat (PAN). NO_2 dibentuk oleh reaksi fotokimia NO dengan oksigen atmosfer. Di sisi lain, ozon dan PAN berasal dari reaksi fotokimia NO, NO_2 , SO_2 dan radikal hidrokarbon.

8.6 Pengukuran Kualitas Kimia Udara

Tujuan pengukuran kualitas kimia udara adalah untuk mengetahui konsentrasi polutan kimia di udara. Pengukuran bahan kimia di udara diperlukan untuk berbagai keperluan, seperti menentukan pencemaran udara di suatu daerah atau mengevaluasi keberhasilan suatu program pengendalian pencemaran udara. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang valid (representatif) dari pengambilan sampel udara hingga analisis laboratorium, perangkat, metode, dan pengguna yang bertanggung jawab (teknisi, teknisi laboratorium, dan analis) harus digunakan. Perlu diketahui bahwa konsentrasi pencemar udara sangat dipengaruhi oleh: 1. Sumber emisi (alam dan buatan) 2. Faktor meteorologi (suhu, tekanan, kelembaban, intensitas matahari, curah hujan, tinggi pencampuran, arah dan kecepatan angin) 3. Faktor topografi.

8.6.1 Konsep Pengambilan Sampel

Langkah pertama dalam pengambilan sampel udara adalah memilih lokasi yang cocok sehingga dapat memberikan data yang dibutuhkan. Langkah selanjutnya adalah merencanakan prosedur pengambilan sampel udara untuk setiap lokasi yang akan diambil sampelnya. Konsentrasi parameter sampel udara yang dianalisis harus sesuai dengan udara aslinya. Sampel udara yang representatif sangat bergantung pada teknik pengambilan sampel

dan penyimpanan. Serangkaian sampel udara yang diambil selama periode waktu tertentu dianggap valid jika memberikan gambaran yang akurat tentang kualitas udara di lokasi pengambilan sampel. Sampling udara adalah rangkaian kegiatan pemantauan kualitas udara di mana keakuratan dan kebenaran hasil bergantung pada sampel yang representatif dan keakuratan analisis. Jika sampel udara tidak ada atau tidak representatif, ada kerugian besar dalam analisis dan dapat menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan. Karena kondisi setempat dan peralatan yang tersedia mempengaruhi pilihan metode pengambilan sampel udara, uraian berikut menjelaskan metode yang direkomendasikan oleh Menteri Lingkungan Hidup. Saat mengumpulkan informasi tentang parameter polusi udara yang akan diukur, lokasi pengambilan sampel yang dapat mewakili kondisi lingkungan terukur harus ditentukan terlebih dahulu. Oleh karena itu, wilayah tersebut harus dipetakan dan hasil pemetaan tersebut menjadi titik awal penentuan lokasi sampel udara. Biasanya, titik pengambilan sampel untuk pengukuran udara sejajar dengan sumber pencemar. Misalnya, jika sumber pencemar berbentuk lingkaran, maka titik pengambilan sampel juga berbentuk lingkaran dengan jarak tertentu dari sumber. Jika sumber pencemar berupa garis, maka titik pengambilan sampel juga berupa garis yang sejajar dengan sumber.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam penentuan lokasi sampling adalah arah angin. Tempat pengumpulan harus ditempatkan di tempat terbuka, melawan angin, agar bangunan dan pepohonan tidak menghalangi aliran udara. Penentuan lokasi pengukuran udara luar menurut sumber pencemar adalah sebagai berikut:

1. Sumber titik adalah sumber pencemar yang tidak bergerak (stasioner), memiliki lokasi tertentu, dapat diidentifikasi dan berperan dalam pendeteksian pencemar udara. Misalnya pabrik.

2. Sumber daerah adalah sumber yang memiliki wilayah tertentu. Contohnya adalah sekelompok beberapa industri dalam satu kawasan (kawasan industri), TPA MSW dalam satu kawasan, atau sejumlah sumber titik dalam jarak dekat, yang dapat berupa sumber tidak bergerak atau sumber bergerak. Sulit untuk menentukan lokasi yang tepat kecuali di satu area, mis. B. kota dengan lalu lintas padat.
3. Sumber garis adalah sumber polusi memanjang yang cenderung menyebabkan polusi terus menerus.

Dalam pengambilan sampel udara, kita dapat membagi area pemantauan menjadi tiga area dengan persyaratan dan metode pengujian yang berbeda, yaitu:

1. Ranah lingkungan Ranah lingkungan adalah wilayah tempat tinggal masyarakat (pemukiman) yang digunakan untuk memperkirakan paparan manusia terhadap pencemaran selama periode 24 jam. Oleh karena itu, konsentrasi pencemar udara harus serendah mungkin dan memenuhi baku mutu udara yang dipersyaratkan.
2. Tempat kerja adalah area di mana seseorang bekerja untuk jangka waktu tertentu. Pada umumnya seseorang bekerja 8 jam sehari di suatu industri/pabrik, sehingga diharapkan paparan polusi yang dialami oleh pekerja tersebut tidak mempengaruhi kesehatannya.
4. Daerah Sumber Pencemaran Udara Daerah sumber pencemaran udara dari cerobong asap pabrik harus dipantau jenis dan konsentrasi pencemarnya paling tidak setiap kali terjadi perubahan teknologi proses dan penggunaan bahan baku yang berbeda.

Saat mengukur kualitas udara menggunakan metode dan perangkat manual dan konvensional, langkah pertama adalah pengambilan sampel, diikuti dengan analisis di laboratorium. Teknik filter biasanya digunakan untuk pengumpulan debu,

dimana debu tetap berada di permukaan filter dengan porositas tertentu, sedangkan teknik pengumpulan tertentu diperlukan untuk mengumpulkan gas dari udara sekitar. Teknik pengumpulan gas yang sering digunakan untuk menangkap gas kotor dari udara ambien meliputi penyerapan, adsorpsi, pendinginan, dan pengumpulan di kantong udara (sampler kantong atau sampler tabung). Sampling disini berarti mengambil sampel udara dari lokasi tertentu dimana diharapkan konsentrasi polutan yang diperoleh dari hasil pengukuran akan mencerminkan konsentrasi sampel secara keseluruhan. Ada beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan saat melakukan pengambilan sampel udara ini:

1. Lokasi dan titik pengambilan sampel harus mencerminkan kondisi aktual di area tertentu dan pada waktu tertentu. Oleh karena itu, lokasi dan titik pengambilan sampel harus memastikan bahwa kami mendapatkan sampel yang representatif. Penentuan lokasi dan lokasi uji coba berjalan dengan baik apabila fasilitas dan aksesibilitas ke lokasi tersebut memadai.
2. Parameter kualitas lingkungan sangat bergantung pada persyaratan dan peraturan perundang-undangan standar kualitas udara, serta tujuan pengambilan sampel yang ditentukan. Mengetahui parameter yang akan diuji, pengawas sampel dapat mempertimbangkan volume dan kuantitas minimum yang akan dibuat, cara penyimpanan dan pengolahan sampel.
3. Ukuran, jumlah dan volume sampel yang akan diambil tergantung dari parameter yang akan diperiksa, metode pemeriksaan dan sebaran polutan di udara. Jika sampel terlalu besar, biaya dan waktu akan bertambah, tetapi jika sampel tidak mencukupi, akan menyebabkan masalah pengujian.
5. Homogenitas sampel Homogenitas sampel memainkan peran yang sangat penting dalam pengambilan sampel udara. Sampel yang diambil dari lingkungan udara yang homogen diharapkan dapat mewakili kondisi kualitas udara yang sebenarnya.

8.6.2 Teknik Pengambilan Sampel

Dari segi pengamatan, teknik pengambilan sampel udara dibagi menjadi dua kategori, yaitu teknik pengambilan sampel emisi dan teknik pengambilan sampel luar ruangan. Pengambilan sampel udara buangan adalah teknik yang digunakan untuk mengambil sampel udara pada sumbernya, seperti B. cerobong asap pabrik dan gas buang kendaraan. Teknik pengambilan sampel kualitas udara adalah pengambilan sampel kualitas udara dengan media yang menyerap pencemar udara/emisi udara. Untuk pengambilan sampel kualitas udara, teknik pengambilan sampel kualitas udara saat ini dibagi menjadi dua kelompok besar, pemantauan kualitas udara aktif (tradisional) dan pasif.

Pemantauan kualitas udara terdiri dari pemantauan gas dan partikel sesuai dengan parameter yang akan diukur. Teknik pengumpulan gas yang sering digunakan untuk menangkap gas pencemar di udara adalah teknik absorpsi, teknik adsorpsi dan teknik evakuasi yaitu pendinginan dan pengumpulan dalam kantung udara (pocket collector atau tube collector), sedangkan teknik pengumpulan partikel/debu yang umum digunakan adalah pengumpulan gas teknik. mempengaruhi, penyaringan dan teknik penyaringan elektrostatik.

1. Teknologi absorpsi adalah teknologi pengumpulan gas berdasarkan kemampuan suatu gas pencemar untuk diserap/direaksikan dengan larutan reagen tertentu (larutan serapan). Reagen kimia yang digunakan harus spesifik, artinya hanya dapat bereaksi dengan gas pencemar tertentu yang sedang dianalisis. Kinerja Rapatnya sangat dipengaruhi oleh:
 - a. Sifat gas pencemar yaitu daya serap/polutan dalam larutan tertentu
 - b. Waktu kontak antara gas beracun dan reagen tertentu
 - c. Area kontak/ukuran blister.

Untuk merekam konsentrasi gas berbahaya secara konvensional dengan pengambilan sampel udara dengan penyadap, langkah kerjanya adalah:

- a. Gunakan pompa hisap untuk menyedot udara ke dalam tabung kejut yang berisi larutan pemulihan.
- b. Ukur kontaminan yang terperangkap atau bereaksi dengan larutan perangkap menggunakan metode konvensional dan instrumental.
- d. Menghitung konsentrasi polutan udara berdasarkan volume udara yang dipompa dan hasil pengukuran.

Semua perangkat Impinger terdiri dari:

- 1) Pompa vakum : Diproduksi dengan sistem getaran ganda tahan korosi. Kecepatan hisap stabil dan dapat disesuaikan dengan potensiometer.
 - 2) Tabung impinger : titik reaksi antara polutan udara dan larutan pengumpul (mungkin ada lebih dari satu tabung).
 - 3) Moisture absorber : Tabung berisi bahan penyerap uap (pengering) untuk melindungi pompa dari korosi.
 - 4) Flow meter, yaitu alat untuk mengukur kecepatan aliran udara dengan metode bubble flow.
 - 5) Penyerap diperlukan untuk menjebak gas pencemar.
2. Teknologi adsorpsi didasarkan pada kemampuan gas pencemar untuk menyerap pada permukaan padatan adsorben. Jenis adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif, TENAX-GC atau Amberlite XAD). Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan gas-gas organik seperti senyawa hidrokarbon, benzena, toluena dan berbagai senyawa organik yang dapat teradsorpsi pada permukaan adsorben yang digunakan. Efisiensi pengumpulan gas analit/gas polutan dalam adsorben bergantung pada:

- a. Konsentrasi gas polutan di sekitar permukaan adsorben. Semakin tinggi konsentrasi gas berbahaya, semakin tinggi efisiensi pemisahannya.
 - b. Luas permukaan adsorben, semakin kecil diameter adsorben, semakin besar luas permukaan maka semakin banyak gas analit yang teradsorpsi.
 - c. Suhu. Semakin tinggi suhu, semakin rendah efisiensi pemulihan gas analit, sehingga teknik ini jarang digunakan untuk mengumpulkan gas pencemar dari sumber emisi (cerobong asap) yang suhu gasnya tinggi.
 - d. Persaingan dengan gas organik lainnya. Senyawa organik lainnya juga diserap pada permukaan padat, mengurangi efisiensi pengumpulan.
 - e. Sifat/sifat adsorben yang akan digunakan Jenis adsorben yang cocok untuk gas analit yang akan diukur harus digunakan. Karbon aktif non-polar cocok untuk gas organik dengan polaritas rendah, mis. B. senyawa hidrokarbon.
3. Teknik evakuasi membutuhkan reservoir gas berupa botol inert yang dievakuasi, atau kantong udara yang terbuat dari bahan Tedlar atau Teflon, atau injektor gas. Teknik ini sering digunakan untuk gas pencemar yang sangat padat dan tidak memerlukan konsentrasi sampel udara.
 4. Dengan teknologi pembacaan langsung, konsentrasi pencemar udara dapat ditentukan secara langsung dengan alat ini. Alat ini menggunakan sistem sensor berdasarkan sifat kimia dan fisik bahan pencemar.
 5. Teknologi yang efektif untuk mengumpulkan partikel/debu dari udara berbeda dengan pengumpulan gas. Yang harus diperhatikan saat mengumpulkan partikel adalah diameter partikel. Ukuran partikel dalam matriks gas atau udara bervariasi dari lebih besar dari ukuran molekul (0,0002 mikron) hingga sebesar 500 μm . Setiap teknik pengumpulan

memiliki kemampuan untuk mengumpulkan ukuran partikel tertentu

6. Teknik filter, mengumpulkan partikel/debu menggunakan teknik filter adalah teknik yang paling populer. Jenis filter yang digunakan adalah filter fiber glass, selulosa, busa poliuretan. Setiap jenis filter memiliki karakteristik khusus yang cocok untuk aplikasi tertentu. Filter fiber glass adalah filter yang paling umum digunakan untuk pengukuran SPM (Suspended Particulate Matter) atau TSP (Total Suspended Particulate), terbuat dari microfiber kaca dengan porositas $< 0,3 \mu\text{m}$, dengan efisiensi 95% untuk mengumpulkan partikel berdiameter $0,3 \mu\text{m}$. Filter ini tahan korosi dan dapat digunakan pada suhu 540°C . Namun, kekurangannya adalah filter ini mudah sobek.
7. Elektrostatika pemisahan, susunan alat pengambilan sampel udara untuk polutan debu membutuhkan alat pengambilan sampel udara, yang biasanya terdiri dari kolektor, flow meter dan pompa vakum. Peralatan yang sering digunakan dalam pengambilan sampel kualitas udara adalah peralatan pengambilan sampel gas di udara. Saat mengumpulkan gas berbahaya dengan metode ini, perhatian harus diberikan pada efisiensi pemulihan gas berbahaya. Oleh karena itu, jika terjadi, penyerap, reagen kimia, waktu sampel, dan laju aliran harus digunakan sesuai dengan prosedur standar yang telah ditetapkan. Penataan Peralatan Pengumpul Gas/Debu Untuk mengumpulkan sampel gas atau debu polutan, diperlukan peralatan pengambilan sampel udara, yang biasanya terdiri dari kolektor, flow meter, dan pompa vakum. Fungsi kolektor adalah untuk mengumpulkan gas/debu yang terkumpul, misalnya:
 - a. Saringan kertas untuk mengumpulkan debu
 - b. Impinger tube, bubbler dengan frit untuk pengumpulan gas melalui proses absorpsi

- c. Tabung adsorpsi karbon aktif untuk mengumpulkan gas hidrokarbon melalui proses adsorpsi.
- d. Flowmeter (rotameter) : berguna untuk mengetahui laju aliran udara sekitar yang akan dikumpulkan sehingga volume gas/udara yang terkumpul dapat diketahui
- e. Pompa vacuum : menghisap gas/udara dari luar ke kolektor dan flow meter.

Pemasangan yang terbuat dari bahan inert yang tidak akan bereaksi dengan gas berbahaya lingkungan atau mencemari sampel gas digunakan untuk menghubungkan kolektor ke flow meter (rotameter) dan pompa. Kaca atau bahan plastik atau tabung silikon atau jenis tabung lainnya umumnya digunakan. Perlu juga dicatat bahwa perangkat pengambilan sampel tidak memiliki kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Kastiyowati I. Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara. Jakarta: Staf Puslitbang Tek Bakitbang Dephan; 2001.
- Kepmenkes No.876 Tahun 2001 Tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL)
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi No. 13 Tahun 2011 Tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika Dan Faktor kimia Di Tempat kerja
- Purwana, R. 2005. PM10 as Prediction of Ventilation Efficiency of Houses to Health Effects. Medical Journal Indonesia, Volume 14 No. 4, October – Desember 2005.
- Rahman A. Prinsip Dasar, Metode, dan Aplikasi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Jakarta: UI Depok; 2011.
- Sumardjo, D. 2006. Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta. Jakarta
- Toksikologi Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press; 2005
- Wardana W. Dampak Pencemaran Lingkungan Ed II. Yogyakarta: Andi Offset; 1995.

BAB 9

PENGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI UNTUK PROTEKSI CEMARAN UDARA

Oleh Sri Ayu M.U Buamona

9.1 Pendahuluan

Pencemaran udara masih terjadi setiap tahun dan merupakan masalah kesehatan yang belum terpecahkan. Pencemaran udara terjadi sebagai akibat dari perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang dilakukan oleh manusia untuk memenuhi aktivitasnya di era yang semakin modern ini. Penggunaan teknologi yang semakin canggih dan semakin banyaknya industri yang menggunakan mesin bermotor serta semakin banyaknya kendaraan yang digunakan manusia setiap harinya akan menghasilkan zat berbahaya yang dapat mencemari udara. Perlindungan polusi udara merupakan sumber daya lingkungan yang selalu ada di Bumi dan termasuk polusi. Pencemaran udara merupakan aspek teknis pengelolaan sumber daya lingkungan karena pentingnya upaya peningkatan kualitas lingkungan. (Basri, 2010).

Dampaknya adalah udara yang menjadi sumber pernafasan manusia menjadi tidak bersih dan dapat menimbulkan gangguan kesehatan baik di tempat-tempat kerja atau di kalangan masyarakat secara umum, dengan demikian pemakaian alat pelindung diri perlu diterapkan dalam dunia pekerjaan.

Alat Pelindung Diri (APD) merupakan suatu kewajiban dimana para pekerja bangunan atau buruh yang mengerjakan suatu proyek atau konstruksi pada suatu bangunan biasanya

diwajibkan untuk menggunakannya. Kewajiban ini telah dipublikasikan melalui Pemerintah Kementerian bekerja di Republik Indonesia. Perangkat harus memenuhi spesifikasi untuk jaga jarak pekerjaan lebih jauh lagi, berikan keamanan yang layak untuk kesehatan dan keselamatan pekerja dalam penggunaan Alat Pelindung Diri (APD).

Menurut (Buntarto, 2015) Berdasarkan Pasal 14 huruf C UU NO. 1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja, pengusaha/pengggurus perusahaan wajib menyediakan APD secara cuma-cuma terhadap tenaga kerja dan orang lain yang memasuki tempat kerja. Apabila kewajiban pengusaha/pengggurus perusahaan tersebut tidak dipenuhi maka akan dapat suatu pelanggaran undang-undang. Berdasarkan pasal 12 huruf b, tenaga kerja diwajibkan memakai APD yang telah disediakan.

Di masa lalu, ketika teknologi mulai berkembang, desain alat pelindung diri sama sekali tidak memadai, atau pekerja tidak menggunakannya sama sekali karena lebih suka tanpa pelindung, yang mengakibatkan kemungkinan kecelakaan pada kepala, mata, kaki, dan lain sebagainya. Bahkan sampai saat ini, alat pelindung masih dipandang sangat berbahaya bagi kinerja karyawan, dan efek perlindungannya kurang dari pagar pengaman. Desain dan pembuatannya merupakan kendala utama. Harus ada standar tertentu yang ditetapkan tentang hal itu. Selain itu, peralatan perlindungan diri harus diuji terlebih dahulu kemampuan perlindungannya.

APD disediakan oleh pemberi kerja untuk digunakan dan pekerja harus memuaskan persyaratan produksi, pengujian dan pengesahan. Buruh berhak menolak menggunakannya saat APD diberikan tidak mematuhi persyaratan.

Alat Pelindung Diri, atau APD, adalah setiap peralatan yang dirancang untuk melindungi pekerja dari satu atau lebih bahaya terhadap kesehatan dan keselamatannya di tempat kerja. Dalam hal ini, pakaian yang dikenakan untuk melindungi diri dari unsur-unsur, seperti sepatu bot, sarung tangan, helm, pelindung mata, dan

sebagainya. Pakaian dan seragam biasa, misalnya, tidak dianggap sebagai APD karena tidak secara khusus melindungi pekerja dari bahaya kesehatan dan keselamatan kerja..

1. Lapisan Pelindung Tubuh

Situasi berikut membutuhkan penggunaan pelindung tubuh:

- a. Bekerja dalam cuaca buruk atau di luar ruangan;
- b. Bekerja dalam suhu yang sangat tinggi;
- c. Mengerjakan jalan yang harus mudah dilihat dari area sekitarnya;
- d. Kegiatan yang melibatkan bahan kimia yang bisa berbahaya;
- e. Pemadam api;
- f. Pengelasan dan pemotongan item dilengkapi dengan perangkat mekanis;

2. Pelindung kepala

Pelindung kepala dipakai dalam situasi berikut:

- a. Pekerja di bawah, atau dekat tangga.
- b. Pekerja konstruksi bangunan besar dan bertingkat tinggi.
- c. Bekerja melalui terowongan dan saluran
- d. Kegiatan transportasi yang melibatkan bahaya dari benda jatuh.
- e. Kegiatan dalam risiko item yang digantung.

3. Keamanan untuk Wajah dan Mata

Pelindung wajah dan mata diperlukan untuk aktivitas berisiko berikut:

- a. Saat Anda menggunakan alat bergerak, potongan, partikel, atau abrasif terlempar.
- b. Memanfaatkan perkakas tangan yang membuang potongan dan partikel lainnya.
- c. Menggunakan bahan kimia yang dapat mengiritasi dan melukai Anda.
- d. Melakukan pekerjaan peleburan logam.

- e. Pengelasan dengan intensitas tinggi atau radiasi optik lainnya;
- f. Menggunakan gas atau uap bertekanan;

4. Pelindung Pendengaran.

Bila ada banyak kebisingan yang dapat melukai gendang telinga, gunakan pelindung telinga. Di tempat kerja, tingkat intensitas dan frekuensi suara yang tinggi dapat mengakibatkan gangguan pendengaran. Namun perlu diperhatikan bahwa penggunaan suara peringatan tidak boleh dibatasi dengan memakai pelindung pendengaran.

5. Perlindungan Lengan dan Tangan

Berbagai kegiatan sangat berbahaya diperlukan perlindungan lengan dan tangan, yaitu:

- a. Aktivitas luar ruangan yang melibatkan bahan abrasif atau suhu ekstrim. Kemampuan dan keterampilan tangan dapat dilemahkan dalam suhu dingin. Tangan dapat dilindungi dari tanah yang terkontaminasi bahan kimia dengan sarung tangan;
- b. Bekerja dengan mesin yang bergerak, terutama dalam cuaca dingin;
- c. Pindahkan barang dengan kemasan rusak, ujung tajam, atau suhu ekstrim;
- d. Paparan bahan panas atau dingin.
- e. Buruh dengan bahaya keterbukaan terhadap listrik, konsumsi atau suhu tinggi.
- f. Penggunaan atau pemindahan mesin yang mengandung bahan sintesis termasuk spesialis pembersih bahan.

6. Pelindung untuk Kaki dan Telapak Kaki

Kegiatan yang memerlukan pelindung alas kaki meliputi:

- Bekerja dengan resiko terbentur material yang mengakibatkan kerusakan kulit seperti semen atau resiko penetrasi oleh pelaku.
- Memindahkan material dengan risiko terpeleset, jatuh dan mendarat di permukaan keras, kontak dengan tumpahan bahan kimia.
- Pekerjaan kelistrikan dengan risiko sengatan listrik dan mudah terbakar.
- Di bawah kondisi dingin atau panas yang ekstrim.

Dari beberapa pemenuhan persyaratan ini harus diperhitungkan, dimana APD harus:

1. Bagus dan mudah dipakai
2. Keharmonisan tempat kerja tidak boleh terganggu, dan mobilitas pekerja tidak boleh dibatasi
3. Secara efektif melindungi dari semua bahaya atau potensi bahaya
4. Memenuhi standar estetika
5. Pertimbangkan potensi dampak negatif dari penggunaan APD
6. Perawatan mudah, ukuran pas, jumlah pas, dan harga terjangkau

9.2 Proteksi Cemaran Udara

Pencemaran udara menurut Kepmen KLH No.02/MENKLH/I/1993 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara serta perubahan struktur udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia. atau proses alami yang mengakibatkan penurunan kualitas udara ke tingkat tertentu, membuat udara menjadi kurang efektif atau tidak dapat

menjalankan fungsi yang telah ditetapkan (Pomalingo dan Ali, 2002). Jika terjadi cemaran udara maka akan mempengaruhi ekosistem dan kesehatan makhluk hidup. Pengaruh polusi udara terhadap kesehatan sudah berlangsung lama. Hingga Pada tahun 1930, polusi udara menyebabkan wabah penyakit paru-paru di Belgia. Pada tahun-tahun berikutnya, polusi udara berkontribusi secara signifikan terhadap wabah penyakit dan kematian di seluruh dunia. Tujuh bencana global yang disebabkan oleh polusi udara terjadi antara tahun 1930 dan 1956. Bencana yang mencemari udara menyebabkan berbagai penyakit, khususnya penyakit pernapasan. (Aryanta, 2014).

Udara dikatakan tercemar jika memenuhi standar udara bersih, yang menandakan adanya peningkatan konsentrasi karbondioksida (CO_2) di udara, yang dapat menaikkan suhu planet (Basri, 2010). Sumber racun yang paling banyak di muka bumi ini adalah gas asap yang dihasilkan oleh industri dan kendaraan bermotor sebagai karbondioksida (CO_2), bahkan sumber gas beracun ini berasal dari keluarga yang dibawa oleh gas untuk memasak, radiator luar angkasa dan asap tembakau serta kobaran api. fakta bahwa gas itu tidak berbahaya namun dapat menyebabkan kenaikan suhu dunia (Sengkey *et al.*, 2011).

Udara yang tercemar partikel dan gas dapat menimbulkan gangguan kesehatan dalam berbagai tingkatan dan jenis, tergantung jenis, ukuran dan komposisi kimianya.. Oleh karenanya untuk petugas/tenaga kerja baik di lingkungan Industri pertambangan atau di lingkungan kerja yang berisiko terpapar pencemaran udara dan pencemaran lainnya sebaiknya menggunakan alat perlengkapan Pelindung Diri (APD) ketika sebelum daftar tugas terhindar di luar bahaya dan resiko dari kecelakaan dan kesehatan kerja (Gunawan, 2018).

9.2.1 Alat Pelindung Diri untuk Proteksi Cemaran Udara

Penggunaan alat pelindung diri pada tempat-tempat kerja wajib dikenakan karena di tempat kerja tertentu sering udaranya kotor yang disebabkan oleh berbagai faktor penyebab termasuk yang lain :

1. Debu dari operasi seperti penginderaan.
2. Racun yang berhubungan dengan cat dan asap serta debu halus.
3. Gas atau uap beracun dari pabrik kimia
4. CO₂, yang mengurangi jumlah oksigen di udara dan tidak beracun,.

Kami memiliki akses ke alat yang dapat menghentikan masuknya kotoran ini dan dapat melindungi dari bahaya cemaran udara yang dikenal sebagai "Masker". Saat menggunakan masker, pertimbangkan hal berikut:

1. Cara mengaplikasikan masker dengan benar.
2. Jenis debu yang harus dihindari
3. Berapa lama alat tersebut digunakan.



Gambar 9.1 : Peralatan untuk Perlindungan Pernapasan
(Amiruddin, 2020)

Penggunaan berbagai masker yaitu :

1. Masker Saluran Debu

Masker saluran debu sangat berharga untuk melindungi pernapasan dari bubuk logam, kecantikan atau bubuk kasar lainnya.

2. Masker Hidung

Jika kita kesulitan bernapas saat menggunakan alat ini, hidung harus diganti karena filternya tersumbat debu dan masker ini dapat menarik benda hingga berukuran 0,5 mikron.

Saat menggunakan masker hidung, ingatlah hal-hal ini:

- 1) Saat dipakai, masker ini harus menempel dengan baik di wajah. Pegang selebar kertas atau telapak tangan Anda di depan hidung untuk memeriksanya. Jika tutupnya sangat melekat pada wajah, kertas atau telapak tangan akan menempel tertarik.
- 2) Saat memasangnya, jangan dibalik karena memiliki dua hidung.
- 3) Bersihkan setelah menggunakan masker, dan keluarkan hidungnya.

3. Masker Tabung

Filter pada masker tabung lebih unggul dari pada masker hidung. Jika Anda ingin pernapasan Anda aman dari gas tertentu, masker ini sangat cocok. Berbagai silinder yang dapat dipasang ke masker sesuai dengan jenis gas yang akan digunakan.

Berikut ini adalah hal-hal yang harus diperhatikan :

1. Saat dipakai, masker ini harus menempel dengan baik di wajah. Selebar kertas atau telapak tangan ditempelkan di ujung pipa yang disambungkan ke tabung untuk memeriksanya. Kertas di telapak tangan akan tertarik ke dalam jika masker menempel dengan baik di wajah.

2. Periksa untuk melihat bahwa tabung diletakkan dengan cara yang benar.
3. Ganti silinder setelah digunakan.
4. Bersihkanlah komponen yang melekat pada wajah setelah digunakan.

Selubung ini dapat digunakan untuk pencemaran udara apa pun, tetapi dibatasi untuk waktu penggunaannya, tergantung pada volume silinder. Silinder yang sebenarnya dapat diturunkan dengan kuat di atas panggung, menghilangkan kebutuhan akan pipa elastis yang panjang. Regulator mengontrol aliran udara dari tabung ke komponen yang terpasang di muka. Tegangan pneumatik ditunjukkan pada kaca ajudan, jika tegangan gas berada di bawah sejauh mungkin, perangkat akan mengeluarkan suara peringatan.

Hal-hal yang perlu diingat adalah :

1. Untuk menentukan apakah tekanan udara cukup, periksa instruksi gelas kimia.
2. Periksa Katub.
3. Periksa tabung dalam kondisi baik.
4. Pastikan tidak ada indikasi tekanan berbahaya pada jarum pengeluaran.
5. Bersihkanlah dan jika perlu, tambahkan udara ke dalam tabung.

Penggunaan Alat Pelindung Diri “Masker” wajib di gunakan di tempat-tempat kerja yang berisiko terpaparnya sumber penyakit, apabila tidak menggunakan alat pelindung diri “Masker” maka akibatnya berdampak pada kesehatan yaitu gangguan pernafasan dan dampak kesehatan lainnya.

9.2.2 Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan

Pencemaran udara masih terjadi setiap tahun dan merupakan masalah kesehatan yang belum terpecahkan. Pencemaran udara terjadi sebagai akibat dari perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang dilakukan oleh manusia untuk memenuhi aktivitasnya di era yang semakin modern ini. Penggunaan teknologi yang semakin canggih dan semakin banyaknya industri yang menggunakan mesin bermotor serta semakin banyaknya kendaraan yang digunakan manusia setiap harinya akan menghasilkan zat berbahaya yang dapat mencemari udara. Dampaknya udara yang menjadi sumber pernafasan manusia menjadi tidak bersih dan dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia, selain kematian juga dapat berupa penyakit, antara lain :

1. Gangguan Saluran Pernafasan, Masalah pernapasan adalah efek utama dari polusi udara. Karena udara yang Anda hirup masuk ke paru-paru, ini sudah menjadi rahasia umum. Polutan juga bisa masuk ke paru-paru dan menyebabkan kerusakan jaringan jika udara ini tercemar.
2. Penyakit Jantung: Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa paparan partikulat (PM) meningkatkan risiko penyakit jantung dan pembuluh darah (kardiovaskular). Ketika Anda berhenti mengonsumsi PM, polutan ini akan masuk ke pembuluh darah Anda, di mana mereka dapat menyebabkan masalah dengan cara kerja pembuluh darah Anda dan membiarkan plak menumpuk di arteri Anda, yang dapat membuat Anda lebih mungkin terkena penyakit jantung seperti penyakit arteri koroner.
3. Kanker di berbagai organ tubuh, serta pengaruh polusi udara terhadap aspek kesehatan lainnya, sama-sama penyakit. Risiko kanker jenis lain, selain kanker paru-paru, bisa meningkat. Satu studi besar terhadap lebih dari 57.000 wanita, misalnya, menemukan bahwa wanita yang tinggal

dekat dengan jalan raya utama memiliki risiko lebih tinggi terkena kanker payudara.

4. Gangguan Kesehatan Reproduksi

Selain risiko secara umum, ibu hamil yang terpapar polusi udara saat hamil berisiko mengalami masalah kesehatan tambahan bagi janinnya. Misalnya, wanita hamil yang terpapar partikel lebih mungkin melahirkan anak autis, memiliki berat lahir rendah, dan memiliki masalah kognitif dan emosional saat remaja.

5. Salah satu dampak kesehatan dari polusi udara juga dapat berupa penyakit neurodegeneratif, yaitu penyakit saraf yang disebabkan oleh penurunan fungsi otak (neurodegeneratif). Sejumlah penelitian, salah satunya dilakukan di University of Washington, juga menunjukkan hal ini. Menurut temuan penelitian, paparan polutan di udara terkait dengan peningkatan risiko demensia seperti Parkinson dan Alzheimer.

Oleh karena itu dampak pencemaran udara perlu di hindari dengan menggunakan alat pelindung diri (APD) untuk proteksi cemar udara yaitu “Masker”.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, A. 2020. *Jenis dan Fungsi Alat pelindung Diri K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja)*. Wwww.Ahmadamir.Com.
- Aryanta, I. W. R. 2014. Pengaruh Pencemaran Lingkungan terhadap Kesehatan Masyarakat. *Prosiding Seminar Nasional Prodi Biologi F. MIPA UNHI*, 224–231.
- Basri, I. S. 2010. Pencemaran Udara Dalam Antisipasi Teknis Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan. *Jurnal SMARTEK*, 8(2), 120–129.
- Buntarto. 2015. *Panduan Praktis Keselamatan dan Kesehatan Kerja untuk Industri* (1st ed.). PustakaBaruPress.
- Gunawan, G. 2018. Tingkat Pencemaran Udara Debu Dan Timbal Di Lingkungan Gerbang Tol (Air Pollution Levels of Dust and Lead At the Toll Gate). *Jurnal JalanJembatan*, 32(2), 115–124.
- Sengkey, S. L., Jansen, F., & Wallah, S. 2011. Tingkat Pencemaran Udara Co Akibat Lalu Lintas Dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro. *Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING*, 1(2), 119–126.

BAB 10

INDEKS STANDAR PENCEMARAN UDARA (ISPU)

Oleh Bambang Suhartawan

10.1 Pendahuluan

Menurut "*The Engineers*" Joint Council in Air Pollution and Its Control, bahwa pencemaran udara dapat diartikan sebagai terkontaminasinya satu atau beberapa zat pencemar di dalam udara berupa debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap dalam kuantitas yang tidak diijinkan, berbagai sifat dan lama terkontaminasinya menyebabkan timbulnya gangguan terhadap kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme (Altshuller, 1969). Sedangkan menurut peraturan pemerintah republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara disebutkan bahwa Pencemaran udara atau polusi udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia (Mukhtar, Aprishanty and Fauzi, 2018)

Udara ambien merupakan udara yang bebas di atmosfer yang paling dekat dengan permukaan bumi (troposfer) yang dibutuhkan dibutuhkan bagi segala kehidupan di muka bumi termasuk manusia, hewan dan tumbuhan serta unsur lingkungan hidup lainnya.

Guna melindungi masyarakat dari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh adanya pencemar udara ambien, pemerintah melalui Permen LHK Nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara terdapat 7 (tujuh) parameter yang dapat digunakan untuk menentukan ISPU,

yakni PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC. (Permen LHK, 2020)

10.2 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) diperkenalkan oleh kelompok kerja EPA, pada tahun 1976 yang diprakarsai oleh Thorn dkk. Ada enam kategori yaitu baik, aman, berpotensi menurunkan tingkat kesehatan, kurang sehat, tidak sehat dan berbahaya bagi kesehatan (Budyono, 2001).

10.2.1 Pengertian Indeks Standar Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemaran Udara yang selanjutnya disingkat ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya (Permen LHK, 14 2020).

Tujuan dibuatnya nilai indeks standar pencemaran udara untuk informasi tentang mutu udara ambien kepada masyarakat dalam suatu area dan waktu tertentu. Selain itu sebagai bahan pertimbangan untuk pengambilan kebijakan guna melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara baik bagi pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

10.2.2 Parameter dasar Indeks Standar Pencemaran Udara

Sesuai Permen LHK nomor 14 Tahun 2020, terdapat 7 (tujuh) parameter pencemaran udara yang menentukan besarnya Indeks Standar Pencemaran Udara, yaitu partikulat (PM₁₀); partikulat (PM_{2.5}); karbon monoksida (CO); nitrogen dioksida (NO₂); sulfur dioksida (SO₂); ozon (O₃) dan hidrokarbon.

10.2.3 Rentang nilai, kategori dan simbol warna ISPU

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) hasil perhitungan dapat dikelompokkan menjadi 5 (lima) katagori, masing-masing katagori diperoleh dari rentang nilai ISPU dan disimbolkan dengan warna, seperti tabel berikut:

Tabel 10.1 : Katagori dan simbol warna ISPU

Rentang Nilai	Katagori dan Warna	Penjelasan
0 - 50	Baik	Kualitas udara ini tidak berdampak negatif bagi Kesehatan manusia dan hewan juga tidak mempengaruhi tumbuhan serta tidak merusak bangunan dan estetika.
51 - 100	Sedang	Kualitas udara ini tidak berdampak negatif bagi Kesehatan manusia dan hewan namun mempengaruhi pertumbuhan tanaman serta dapat merusak estetika.
101 - 200	Tidak Sehat	Mempengaruhi Kesehatan manusia dan hewan yang sensitif juga menimbulkan kerusakan tumbuhan dan merusak estetika.
201 - 300	Sangat Tidak Sehat	Mempegaruhi Kesehatan semua manusia, hewan dan sejumlah populasi yang terpapar serta dapat mematikan tumbuhan.
>300	Berbahaya	Membahayakan semua makhluk hidup dan berdampak negatif terhadap Kesehatan yang serius pada semua populasi.

Dalam rangka mengantisipasi dampak negatif yang timbul dari setiap katagori ISPU, maka perlu dilakukan tindakan yang signifikan sebagai berikut:

Tabel 10.2 : Katagori ISPU dan tindakan yang dianjurkan

Katagori	Keterangan	Tindakan
Sehat	Kualitas udara yang sangat baik dan tidak berdampak negatif bagi manusia, hewan dan tumbuhan.	Sangat mendukung segala kegiatan di luar rumah
Sedang	Kualitas udara yang cukup baik dan dapat diterima oleh pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.	Setiap orang masih dapat beraktivitas di luar namun tidak disarankan bagi yang sensitif.
Tidak Sehat	Kualitas udara merugikan manusia, hewan dan tumbuhan.	Kelompok sensitive: Bisa beraktifitas ringan di luar rumah tetapi harus banyak istirahat. Tidak disarankan bagi penderita asma karena dapat memicu sesak nafas dan batuk. Tidak disarankan untuk penderita penyakit jantung karena akan berdampak serius.

Katagori	Keterangan	Tindakan
Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.	Kelompok sensitive: Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas di dalam ruangan atau lakukan penjadwalan ulang pada waktu dengan kualitas udara yang baik. Setiap orang : Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam ruangan.
Berbahaya	Sangat merugikan kesehatan serius pada manusia, hewan dan tumbuhan serta perlu penanganan cepat.	Menghindari aktifitas di luar rumah.

Sumber : Permen LHK, 14 2020)

10.2.4 Batas Indeks Standar Pencemaran Udara

Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/ 7/2020 terdapat 7 (tujuh) parameter pencemar udara yang merupakan koversi Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) (Permen LHK, 2020).

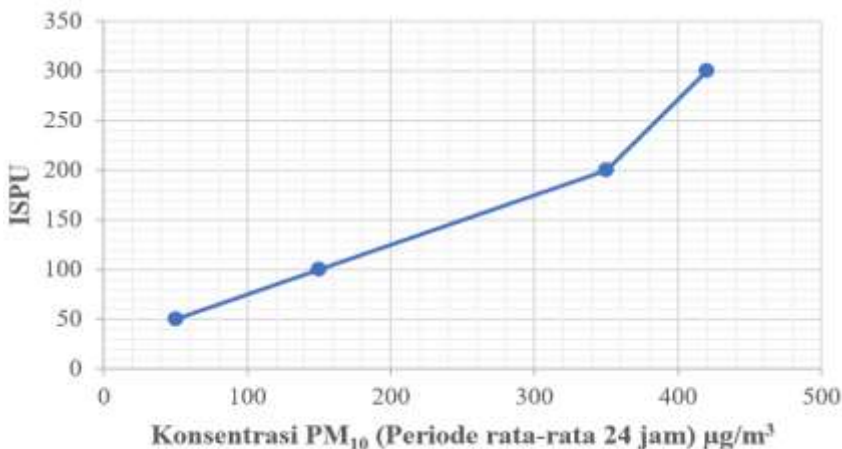
Tabel 10.3 : Tabel Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU

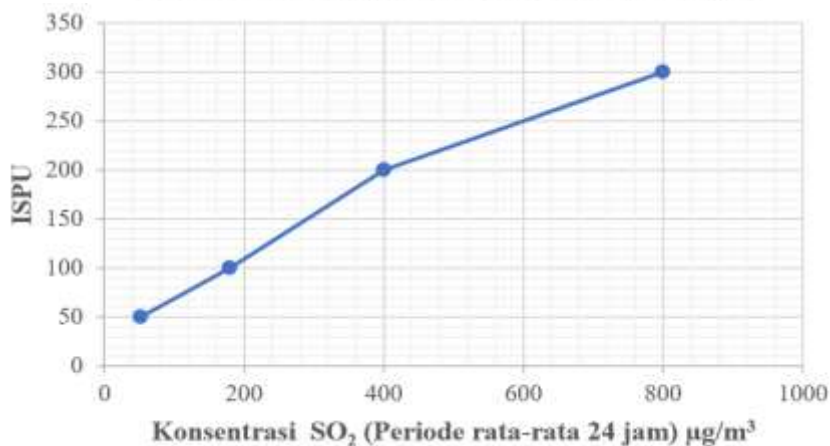
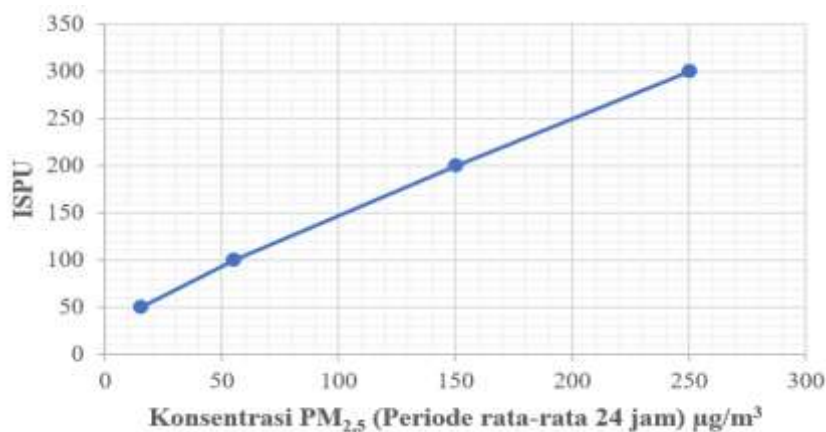
ISPU	Konsentrasi selama 24 jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	HC
0 – 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 – 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

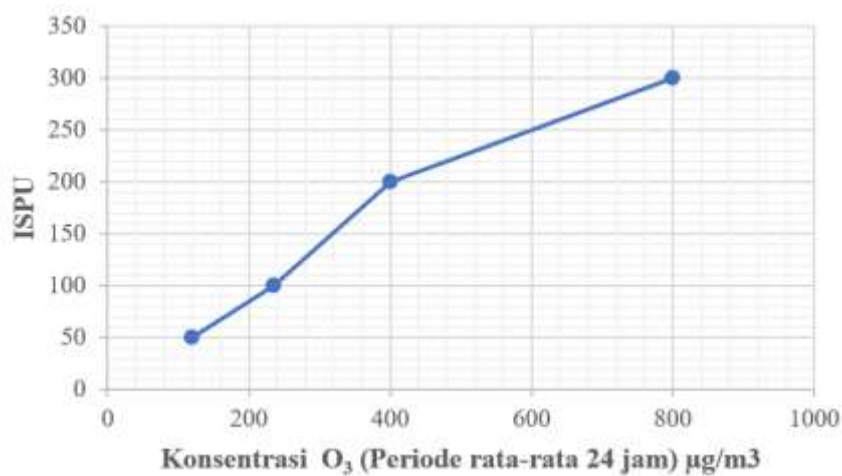
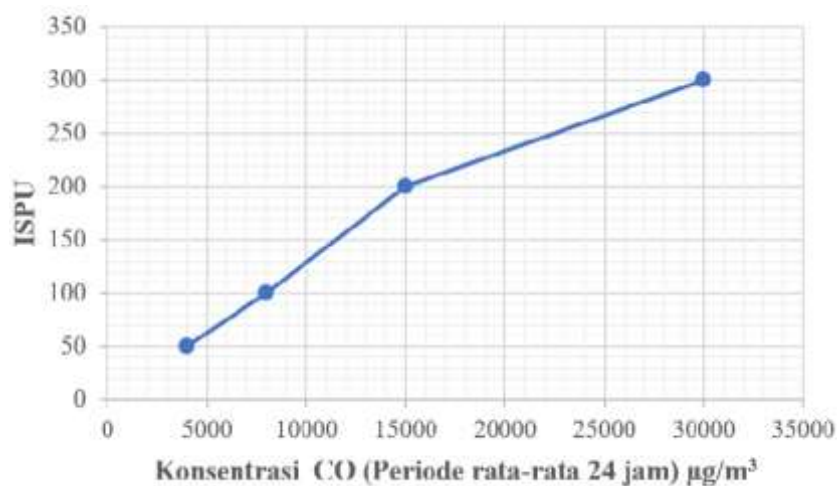
Keterangan :

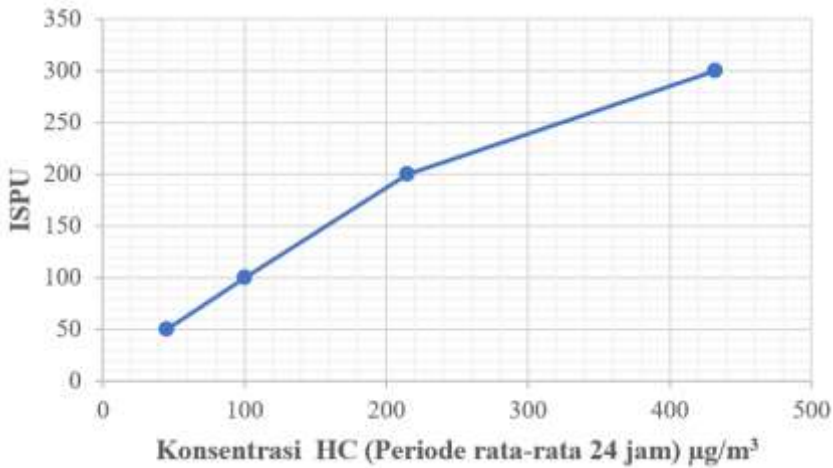
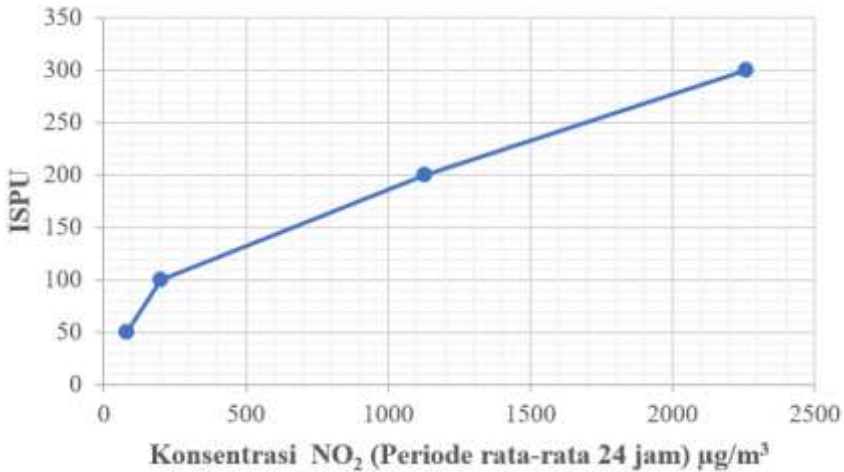
1. Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
2. Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{2,5}) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
3. Hasil perhitungan partikulat (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00 (Permen LHK, 14, 2020)

Selain dalam bentuk tabel juga disajikan dalam bentuk grafik :









10.2.6 Perhitungan Indeks Standar Pencemaran Udara

Untuk menentukan besarnya Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) perlu diketahui data ISPU batas atas dan bawahnya, kualitas udara ambien atas dan bawahnya dan konsentrasi udara ambien hasil pengukuran. Persamaan matematika perhitungan ISPU (Irianto, 2015) sebagai berikut:

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b$$

Dimana,

- I = ISPU hasil perhitungan
- I_a = data ISPU batas atas
- I_b = data ISPU batas bawah
- X_a = Konsentrasi udara ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- X_b = Konsentrasi udara ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- X_x = Konsentrasi udara ambien hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Contoh perhitungan ISPU :

1. Pengukuran terhadap pencemaran $\text{PM}_{2,5}$ selama 24 jam berturut-turut diperoleh hasil sebagai berikut :

Waktu pukul	Hasil Pengukuran
00.00	22
01.00	23
02.00	23
03.00	22
04.00	24
05.00	25
06.00	28
07.00	32
08.00	39
09.00	43
10.00	45
11.00	44
12.00	39

Waktu pukul	Hasil Pengukuran
13.00	44
14.00	42
15.00	43
16.00	38
17.00	36
18.00	37
19.00	37
20.00	38
21.00	24
22.00	22
23.00	22
Jumlah	792
Rata-rata	33

Tentukan:

- 1) Besarnya Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) PM_{2,5}!
- 2) Kategori tingkat pencemaran PM_{2,5}!

Jawab :

a. Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) PM_{2,5}

- Konsentrasi udara rata-rata harian (24 jam) hasil pengukuran PM_{2,5} = 33 µg/m³
- Konsentrasi udara ambien batas atas parameter PM_{2,5} = 55,4 µg/m³
- Konsentrasi udara ambien batas bawah parameter PM_{2,5} = 15,5 µg/m³
- Data ISPU batas atas = 100
- Data ISPU batas bawah = 50

$$\begin{aligned} I &= \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b \\ &= \frac{(100 - 50)}{(55,4 - 15,5)} (33 - 15,5) + 50 \\ &= \frac{(50)}{(39,9)} (17,5) + 50 \\ &= 71,93 \end{aligned}$$

b. Kategori tingkat pencemaran PM_{2,5} dengan nilai ISPU hitung sebesar 71,93 adalah **sedang**.

2. Diketahui konsentrasi udara ambien untuk jenis parameter NO₂ adalah 312 µg/m³, tentukan:

- a. Besarnya Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) NO₂!
- b. Kategori tingkat pencemaran NO₂!

Jawab :

- a. Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) NO₂
- Konsentrasi udara rata-rata hasil pengukuran NO₂ = 312 µg/m³
 - Konsentrasi udara ambien batas atas NO₂ = 1.130 µg/m³
 - Konsentrasi udara ambien batas bawah NO₂ = 200 µg/m³
 - Data ISPU batas atas = 200
 - Data ISPU batas bawah = 100

$$\begin{aligned} I &= \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b \\ &= \frac{(200 - 100)}{(1.130 - 200)} (312 - 200) + 100 \\ &= \frac{(100)}{(930)} (112) + 100 \\ &= 112,04 \end{aligned}$$

- c. Kategori tingkat pencemaran NO₂ dengan nilai ISPU hitung sebesar 112,04 adalah ***tidak sehat***.

1) Data ISPU batas bawah = 100

$$\begin{aligned}(200 - 100) &= (312 - 200) + 100 (1.130 - 200) (100) \\ &= (112) + 100(930) \\ &= 112,04\end{aligned}$$

Kategori tingkat pencemaran NO₂ dengan nilai ISPU hitung sebesar 112,04 adalah ***tidak sehat***.

DAFTAR PUSTAKA

- Altshuller, A.P. 1969. 'Air Pollution', *Analytical Chemistry*, 41(5), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1021/ac60274a006>.
- Budiyono, A. 2001. 'Indeks Kualitas Udara', *Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan*, 02(01), pp. 1–8.
- Hidup, K.L., Standar, I. and Udara, P. 2020. '(ISPU) SEBAGAI INFORMASI MUTU', 2(2), pp. 3–4.
- Irianto, I.K. 2015. 'Buku Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan', *Universitas Warmadewa*, pp. 1–88.
- mukhtar, R., Aprishanty, R. and Fauzi, R. 2018. 'Perhitungan Indeks Kualitas Udara Dki Jakarta Menggunakan Berbagai Baku Mutu', *Jurnal Ecolab*, 12(1), pp. 32–41. Available at: <https://doi.org/10.20886/jklh.2018.12.1.32-41>.

BIODATA PENULIS



Deli Syaputri, SKM. M. Kes,

Dosen tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik
Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan

Deli Syaputri, SKM. M. Kes, lahir di Medan, pada tanggal 02 Juni 1989. Ia menyelesaikan kuliah dan mendapat gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan di Universitas Sumatera Utara pada tahun 2011 dan melanjutkan studi S2 serta mendapatkan gelar Magister Kesehatan pada tahun 2013. Pada Tahun 2015 ia bekerja pada Rumah Sakit Umum Bunda Thamrin sebagai Koordinator Sanitasi. Ia juga pernah menjadi dosen tidak tetap di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara dan Tahun 2019 ia menjadi dosen tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan.

BIODATA PENULIS



Risnawati Tanjung, SKM. M. Kes
Dosen Jurusan Kesehatan Lingkungan
Poltekkes Kemenkes Medan

Penulis lahir di Medan, pada tanggal 04 Mei 1975. Ketertarikan penulis pada ilmu kesehatan lingkungan dimulai pada tahun 1994 dan memilihnya sebagai peminatan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara (USU). Pada tahun 2004 sampai dengan tahun 2006 penulis melanjutkan Pendidikan Program Pasca Sarjana (S2) ke Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta Peminatan Kesehatan Lingkungan. Karir sebagai Dosen dimulai sejak tahun 2001 di Propinsi Bengkulu dan Menjadi Dosen Tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Medan pada tahun 2009. Penulis memiliki kepakaran di bidang kesehatan lingkungan khususnya terkait dengan Sanitasi Rumah Sakit, Sanitasi Industri dan K3, Sanitasi Pemukiman, Penyehatan Udara. Penulis juga pernah menjadi Koordinator Penjaminan Mutu, Koordinator Akademik, Koordinator Kemahasiswaan dan Menjadi Koordinator Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan. Penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang didanai oleh internal perguruan tinggi dan Kemenristek DIKTI. Beberapa hasil penelitian tersebut telah dipublikasikan pada Jurnal Internasional, Nasional dan Prosiding. Penulis memiliki harapan buku dapat memberikan

kontribusi positif bagi bangsa dan negara serta dapat mengembangkan keilmuan kesehatan lingkungan.

BIODATA PENULIS



Tiwi Yuniastuti, S.Si, M.Kes

Dosen Program Studi S1 Kesehatan Lingkungan
Stikes Widyagama Husada

Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi S1 Kesehatan Lingkungan Stikes Widyagama Husada sejak tahun 2012. Pendidikan S1 ditempuh di Jurusan Biologi Universitas Brawijaya dan melanjutkan studi S2 di Program Studi Biomedik Universitas Brawijaya dengan bidang minat Farmakologi dan Toksikologi. Mengajar mata kuliah berbasis Biomedik, seperti Mikrobiologi, Parasitologi, Biomedik dan Toksikologi. Sebagai Ketua Kelompok Riset Kesehatan Lingkungan Dasar, saat ini sedang melakukan penelitian tentang Pengendalian Penyakit Menular Pada Iklim Tropis.

BIODATA PENULIS



Dr. RAHMAWATI, S. Si, M. Kes.

Dosen Tetap Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis
(TLM) Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Desa Kasiwang Kecamatan Suli Kabupaten Luwu pada tanggal 12 April 1980, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Abd. Muis dan Rapidah Hasan. Penulis adalah dosen tetap yayasan pada Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis (TLM) Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 20 Cimpu Kecamatan Suli Kabupaten Luwu pada tahun 1992. Pada tahun 1995 telah menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama pada SMP Negeri 2 Kabupaten Takalar. Kemudian pada tahun 1998 menyelesaikan pendidikan sekolah menengah atas pada Sekolah Menengah Farmasi (SMF) Depkes Ujungpandang, Makassar.

Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin pada tahun 2003. Pada tahun 2004 melanjutkan S2 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) Universitas Hasanuddin dan berhasil menyelesaikan studi pada tahun 2006. Kemudian pada tahun 2013 melanjutkan S3 pada jurusan Ilmu Kimia Fakultas

MIPA Universitas Hasanuddin dan berhasil meraih gelar Doktor pada tahun 2018. Penulis menekuni bidang ilmu kimia analitik dan biokimia serta toksikologi klinik.

BIODATA PENULIS



Hairudin La Patilaiya, SKM. M.Kes.

Dosen tetap Yayasan Non-PNS di Universitas Muhammadiyah Maluku Utara pada Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Kesehatan Masyarakat

Hairudin La Patilaiya, SKM. M.Kes. di lahirkan di Desa Soligi, Kec.Obi Selatan Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara pada tanggal 25 Juni 1982. Penulis memiliki istri bernama Sarifani, S.S, penulis dianugrahi 3 orang Putra yaitu M.Fa'iz Asyraf Patilaya, M.Fadhlun Azmi Patilaya, dan M.Farid Azzam Patilaya. Penulis Menempuh pendidikan SD Inpres Soligi lulus pada tahun 1994. Selanjutnya melanjutkan Studi pada SLTP Negeri 2 Obi kemudian lulus pada tahun 1997. Penulis kemudian melanjutkan lagi Studi SMU Negeri 1 Pasarwajo dan lulus pada tahun 2000. Universitas Muhammadiyah Maluku Utara adalah Universitas yang dipilih untuk melanjutkan Studi S1 (SKM) pada Program Studi Kesehatan Masyarakat Minat PKIP yang lulus pada tahun 2006. Penulis menempuh pendidikan S2 di Universitas Indonesia Timur di Makassar Program Pascasarjana S2 (M.Kes) Minat MARS dan lulus di tahun 2013. Saat ini penulis bekerja sebagai Dosen tetap Yayasan Non-PNS di Universitas Muhammadiyah Maluku Utara pada Fakultas Ilmu Kesehatan Program Studi Kesehatan Masyarakat sejak tahun 2007 sampai sekarang. Selain aktif sebagai

Dosen penulis juga aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian masyarakat serta publikasi jurnal nasional dan internasional. Penulisan telah menghasilkan beberapa karya Buku Ajar maupun Book Chapter. Pengalaman organisasi penulis diantaranya adalah sebagai Pengurus (PKBM) Rutan Ternate tahun 2007, menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Kesehatan Masyarakat tahun 2009-2013, Ketua Peminatan PKIP Fikes UMMU tahun 2014-Sekarang, penulis juga menjadi Pengurus PERSAKMI Provinsi Maluku Utara 2011-Sekarang, sebagai Pengurus Majelis Kesehatan Umum dan Pelayanan Sosial PWM Malut dari tahun 2015-Sekarang, Pengurus PPPKMI Cabang Provinsi Maluku Utara 2016-Sekarang, Pengurus IAKMI Provinsi Maluku Utara 2018-Sekarang, Pengurus FOKAL UMMU sebagai Sekretaris Jenderal tahun 2019-2023 dan juga sebagai Pengurus PJSI Provinsi Maluku Utara tahun 2019-2023. Penulis selain memiliki pengalaman kerja sebagai Dosen, penulis juga memiliki pengalaman kerja Sebagai Asesor Badan Akreditasi Nasional S/M Provinsi Maluku Utara pada tahun 2016 – 2019. Pendidikan non-formal yang pernah diikuti penulis adalah Pekerti Wilayah Kopertis XII tahun 2013, selain itu di tahun 2013 penulis mengikuti PEKERTI dan AA, serta kegiatan Program Magang Dosen di Universitas Airlangga Surabaya melalui Program Magang Dosen Kemendikbudristek.

BIODATA PENULIS



Th. Teddy BS, SKM.M.Kes

Dosen di Poltekkes Kemenkes RI Medan, Jurusan Kesehatan
Lingkungan

Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 28 agustus 1963. Saat ini penulis tinggal di Jl.Kasuari No.51, Medan. Penulis alumni SMA Negeri 5 Surabaya, kemudian melanjutkan pendidikan di Akademi Penilik Kesehatan -Teknologi Sanitasi Surabaya, lulus dan memperoleh ijazah pada tahun 1986. Lalu meneruskan pendidikan Sarjananya di FKM Universitas Sumatera Utara dan lulus pada tahun 1993. Dan masih haus akan pendidikan sehingga mengambil Pasca Sarjana S2 di Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Kerja di Universitas Airlangga, Surabaya dan lulus pada tahun 2000. Saat ini bekerja sebagai Dosen di Poltekkes Kemenkes RI Medan, Jurusan Kesehatan Lingkungan.

BIODATA PENULIS



Sri Ayu M.U Buamona, SKM., M.Kes.

Penulis lahir di Ternate tanggal 13 April 1995. Penulis Menyelesaikan pendidikan S-1 pada Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat di Universitas Muhammadiyah Maluku Utara Tahun 2017. Dan pada tahun 2018 Penulis melanjutkan Pendidikan S-2 Jurusan Kesehatan Masyarakat di Universitas Negeri Semarang. Penulis juga menekuni bidang Menulis. Pernah Menulis tentang Manfaatkan Sampah di Kota Ternate di Media IndoTimur pada Tahun 2021.

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis meniti karir berawal sebagai Guru SMA pada tahun 1990, tahun 2008 pindah ke Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Provinsi Papua sebagai Kepala Seksi Teknologi dan Informasi Pendidikan, tahun 2011 mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Pengajaran Kabupaten Keerom, tahun 2014 sebagai Staf Ahli Bupati Bidang Pembangunan di

kabupaten yang sama, tahun 2017 sebagai sekretaris Dinas Pemuda dan Olahraga Kabupaten Keerom, tahun 2018 kembali mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Keerom dan baru tahun 2021 mutasi sebagai Dosen PNS berstatus diperbantukan di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura hingga saat ini.