

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Udara

Udara merupakan campuran beberapa komponen yang terdiri dari gas, partikel padat, partikel cair, energi, ions, serta zat organik yang terdistribusi secara acak dan bebas mengikuti volume bentuk ruang. Udara dikelompokkan menjadi dua macam yaitu udara luar ruangan (*outdoor air*) dan udara dalam ruangan (*indoor air*). Udara luar ruangan atau dikenal dengan istilah udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan lainnya. Udara bersih dan kering memiliki komposisi Nitrogen (N₂) 78,09%, Oksigen (O₂) 21,94%, Argon (Ar) 0,93%, Karbon dioksida 0,032% dan gas-gas lain dalam udara seperti gas-gas mulia, Nitrogen oksida (NO_x), Hidrogen (H-), Metan, Belerang oksida (SO_x), Ammonia, dan lain-lain. Sedangkan udara dalam ruang (*indoor air*) adalah udara di dalam gedung yang terperangkap sedikitnya satu jam yang dihuni oleh manusia dengan status kesehatan yang bervariasi. Dimana ruangan tersebut dapat berupa kantor, sekolah, fasilitas transportasi, pusat perbelanjaan, rumah sakit, dan rumah hunian. (Sohilaw, Kaliky and Tuharea).

B. Pencemaran Udara

Udara dapat mengalami pencemaran yaitu masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau bersubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan

manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan kurang atau tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (Undang-Undang RI No. 23 Tahun 1997).

Pencemaran udara juga diartikan sebagai masuknya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan kesehatan manusia secara umum, serta dapat menurunkan kualitas lingkungan. Pencemaran dapat terjadi di dalam maupun di luar ruangan. Pencemaran yang terjadi di dalam rumah, di ruang-ruang sekolah ataupun di ruang-ruang perkantoran disebut sebagai pencemaran dalam ruang (*indoor pollution*). Sedangkan pencemaran yang terjadi di lingkungan rumah, perkotaan, bahkan regional maka disebut sebagai pencemaran di luar ruang (*outdoor pollution*) (Kamali Zaman and Muhamadiyah, 2016).

C. Pencemaran Udara dalam Ruang

Udara dalam ruang adalah udara di dalam gedung atau bangunan, terutama yang berkaitan dengan kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan. Sedangkan pencemaran udara dalam ruang adalah suatu kondisi dimana salah satu lebih kontaminan dalam suatu ruangan dapat menimbulkan risiko bahaya bagi kesehatan penghuninya karena konsentrasi polutannya (Permenkes, 2023).

Pengertian udara dalam ruang atau *indoor* air menurut NHMRC (*National Health Medical Research Council*) adalah udara yang berada di dalam suatu ruang gedung yang ditempati oleh sekelompok orang yang

memiliki tingkat kesehatan yang berbeda-beda selama minimal satu jam. Ruang gedung yang dimaksud dalam pengertian ini meliputi rumah, sekolah, gedung untuk umum, hotel, RS, dan perkantoran.

Sumber pencemaran udara dalam ruangan berdasarkan penelitian *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) berasal dari lima sumber berikut (Dewi, Raharjo and Wahyuningsih, 2021):

1. Pencemaran akibat kegiatan penghuni dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan pembersih ruangan;
2. pencemaran dari luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, cerobong asap dapur karena penempatan lubang ventilasi yang tidak tepat;
3. pencemaran dari bahan bangunan ruangan seperti formaldehid, lem, asbestos, fibreglass, dan bahan lainnya;
4. pencemaran mikroba meliputi bakteri, jamur, virus atau protozoa yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin ruangan beserta seluruh sistemnya; dan
5. kurangnya udara segar yang masuk karena gangguan ventilasi udara dan kurangnya perawatan sistem peralatan ventilasi.

D. Sick Building Syndrome (SBS)

1. Pengertian *Sick Building Syndrome*

Sick building syndrome adalah suatu keadaan yang menyatakan bahwa gedung-gedung industri, perkantoran, perdagangan, dan rumah tinggal memberikan dampak penyakit dan merupakan kumpulan gejala

yang dialami oleh pekerja dalam gedung perkantoran berhubungan dengan lamanya berada di dalam gedung serta kualitas udara (*Environmental Protection Agency and Environments Division, 1991*).

Sick Building Syndrome didefinisikan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) Amerika sebagai situasi di mana penghuni gedung mengalami gejala akut dan efek ketidaknyamanan yang berkaitan dengan lamanya waktu yang dihabiskan di dalam gedung, tapi tidak ada penyakit atau penyebab spesifik yang dapat diidentifikasi. Keluhan tersebut dapat dilokalkan di suatu ruangan atau zona tertentu, atau mungkin tersebar luas di seluruh gedung.

2. Gejala *Sick Building Syndrome*

Seseorang dikatakan mengalami gejala SBS jika mengalami setidaknya dua atau lebih dari gejala tersebut secara bersamaan selama berada di dalam ruangan, dan gejala tersebut perlahan-lahan menghilang saat meninggalkan ruangan atau gedung tersebut. SBS dianggap signifikan ketika lebih dari 20% atau bahkan 50% penghuni suatu gedung mengalami keluhan-keluhan. SBS dapat memicu masalah pernapasan yang bersifat akut dan dapat menghilang jika meninggalkan gedung atau ruangan yang ditempati. Kejadian ini tidak dapat dijelaskan secara jelas sumber dan akibat yang ditimbulkan dari keberadaan manusia di dalam ruangan atau gedung tersebut (Hefnita, Budiyo and Suhartono, 2023).

World Health Organization (WHO) menjelaskan gejala-gejala yang timbul berkaitan dengan buruknya kualitas udara dalam sebuah gedung yang paling umum terjadi di antaranya sebagai berikut.

- a. Iritasi mata, kering atau berair (kadang-kadang digambarkan sebagai gatal, kelelahan, kemerahan, terbakar atau kesulitan melihat)
 - b. Iritasi hidung, berair atau tersumbat (kadang-kadang digambarkan sebagai hidung tersumbat, mimisan, gatal)
 - c. Tenggorokan kering atau sakit (kadang-kadang digambarkan sebagai iritasi saluran napas atas atau kesulitan menelan)
 - d. Kulit kering, gatal atau iritasi, kadang disertai ruam
 - e. Gejala yang kurang spesifik seperti sakit kepala, lesu atau lemas, mudah marah dan konsentrasi yang buruk
3. Faktor Penyebab *Sick Building Syndrome*

Sick Building Syndrome terjadi karena beberapa faktor yang disebabkan oleh pencemaran udara dalam ruangan atau buruknya kualitas udara di sebuah ruangan yang mengakibatkan terganggunya kesehatan dan kenyamanan penghuninya. Beberapa faktor penyebab *Sick Building Syndrome* di antaranya sebagai berikut (*Environmental Protection Agency and Environments Division, 1991*).

- a. Kualitas ventilasi

Kualitas ventilasi yang memadai mengacu pada kondisi dimana udara bersirkulasi dan masuk dengan cukup ke dalam

ruangan secara alami. Kualitas ventilasi yang buruk atau tidak memadai salah satunya dapat terjadi akibat sistem *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) tidak efektif mendistribusikan udara ke orang-orang yang ada dalam gedung. Dalam upaya mencapai *Indoor Air Quality* (IAQ) yang dapat diterima sambil meminimalkan konsumsi energi, *The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) telah merevisi standar ventilasinya untuk menyediakan minimal 15 cfm udara luar perorang (20 cfm/orang di ruang kantor). Hingga 60cfm/orang mungkin diperlukan di beberapa tempat tergantung pada aktivitas yang biasanya terjadi di ruang tersebut (ASHRAE Standar 62-1989).

b. Kontaminan Kimia yang Bersumber Dari Dalam Ruangan

Polusi udara dalam ruangan sebagian besar berasal dari sumber yang ada di dalam ruangan itu sendiri. Contohnya berasal dari perekat, pestisida, pelapis, karpet, produk kayu buatan, dan pembersih yang mengandung senyawa organik yang mudah menguap (*Volatile Organic Compounds*) salah satunya formaldehid. VOCs paling tinggi disumbangkan oleh asap dari tembakau. Beberapa penelitian menyebutkan VOCs pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan efek kesehatan secara akut dan kronis.

c. Kontaminan Kimia yang Bersumber Dari Luar Ruangan

Polusi udara di dalam ruangan juga dapat berasal dari udara luar yang masuk ke dalam ruangan. Contohnya seperti polutan yang berasal dari knalpot kendaraan, pembuangan bangunan, dan pipa saluran air. Polutan tersebut dapat masuk akibat ventilasi udara yang buruk, jendela serta bangunan terbuka lainnya. Di samping itu, produk pembakaran juga dapat masuk ke dalam gedung dari garasi terdekat.

d. Kontaminan Biologi (Bioaerosol)

Bakteri, virus, jamur, dan serbuk sari adalah jenis kontaminan biologis. Kontaminan ini dapat berkembang biak di dalam pipa saluran udara dan alat pelembab udara serta berasal dari alat pembersih karpet. Salah satu bakteri dalam ruangan, *Legionella*, telah menyebabkan Penyakit Legiuner dan Demam Pontiac. Gejala fisik yang berhubungan dengan kontaminasi biologis termasuk batuk, dada sesak, demam, menggigil, nyeri otot, dan alergi respons seperti iritasi membran mukosa dan sesak napas bagian atas.

Keempat unsur tersebut dapat bekerja sama dalam kombinasi dan mungkin saling melengkapi sehingga menimbulkan keluhan lain karena adanya suhu, kelembaban, atau pencahayaan yang kurang memadai. Namun demikian penyebab spesifik keluhan mungkin tetap tidak diketahui secara pasti. *Sick Building Syndrome* disebabkan oleh banyak

faktor diantaranya faktor fisik, kimia, dan biologis. Faktor fisik berkaitan dengan suhu, kelembaban, pencahayaan, dan kecepatan aliran udara. Faktor kimia contohnya berasal dari CO, CO₂, *Volatile Organic Compounds* (VOCs), formaldehid, asbestos, ozon, dan partikulat. Sedangkan faktor biologi contohnya berasal dari bakteri, virus, dan jamur. Selain itu, SBS juga disebabkan faktor karakteristik individu seperti jenis kelamin, usia, lama kerja, dan lain-lain (Azhar Ulfa, Asnifatima and Fathimah, 2022).

a. Faktor Fisik

Faktor fisik di lingkungan kerja perkantoran menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 48 tahun 2016 di antaranya suhu, kelembaban, pencahayaan, dan kecepatan aliran udara.

Berikut persyaratan minimum kualitas fisik udara dalam ruangan di lingkungan kerja perkantoran agar dapat memenuhi aspek kenyamanan dan kesehatan di tempat kerja.

Tabel 2.1 Persyaratan Minimum Kualitas Fisik Udara dalam Ruang Perkantoran

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Metode	Keterangan
1	Kebisingan a. Ruang kantor (umum/terbuka) b. Ruang kantor (pribadi) c. Ruang umum & kantin d. Ruang pertemuan & rapat	dBA	55-65 50-55 65-75 65-75	<i>Direct Reading</i>	Batas minimum & maksimum

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Metode	Keterangan
2	Pencahayaan a. Ruang kerja b. Ruang gambar c. Resepsionis d. Ruang arsip e. Ruang rapat f. Ruang makan	Lux	300 750 300 150 300 250	<i>Direct Reading</i>	Batas minimum
3	Suhu a. Ruang Kerja b. Lobi & Koridor	C	23° – 26°C 23° – 28°C	<i>Direct Reading</i>	Batas minimum & maksimum
4	Kelembaban a. Ruang Kerja b. Lobi & Koridor	%	40-60 30-70	<i>Direct Reading</i>	Batas minimum & maksimum
5	Pergerakan udara/ kecepatan aliran udara	m/dtk	0,15- 0,5	<i>Direct Reading</i>	Batas minimum & maksimum

Sumber: Permenkes Nomor 48 Tahun 2016

1) Suhu

Suhu yang tinggi dapat mempercepat metabolisme sehingga seseorang mudah mengalami kelelahan. Saat seseorang terpapar suhu yang rendah, sistem saraf merespon dengan mengirimkan sinyal kepada otot untuk berkontraksi dengan cepat dan berirama sehingga akan mengalami kelelahan (Handayani, 2021). Suhu juga erat kaitannya dengan pertumbuhan mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme tumbuh pada suhu yang rendah dan beberapa pada suhu yang tinggi.

2) Kelembaban

Kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan proses pertumbuhan mikroorganisme karena kandungan uap air yang tinggi di udara serta meningkatkan intensitas polutan kimia di udara. Adapun kelembaban yang rendah dapat menyebabkan pelepasan dari material bangunan senyawa *volatile* yang ada di bangunan seperti formaldehid, ammonia, dan senyawa lain yang mudah menguap dan larut dalam kelembaban yang tinggi menjadi uap yang kemudian terpajan pada pekerja (Mawarni *et al.*, 2021).

3) Pencahayaan

Jika mata melihat objek dengan kondisi pencahayaan yang kurang maka mata akan berakomodasi maksimal agar benda tersebut dapat terlihat, pada kondisi mata berakomodasi maksimal ini yang dapat menyebabkan otot-otot pada mata akan tegang dan mudah terjadi kelelahan pada mata. Begitupun jika cahaya terlalu terang dapat menyebabkan silau pada mata. Kedua kondisi tersebut menyebabkan kelelahan pada organ mata (Purwaningtyas, 2021).

4) Kecepatan Aliran Udara

Tingkat kecepatan aliran udara memengaruhi sirkulasi udara dan pergantian udara dalam ruangan. Apabila kecepatan udara terlalu tinggi akan menyebabkan kebisingan di dalam

ruangan. Sebaliknya, aliran udara yang lambat dapat mengakibatkan stagnasi polutan di dalam ruangan, sehingga udara yang terkontaminasi dapat mengendap di daerah ventilasi dan pada akhirnya dihirup oleh individu (Hefnita, Budiyo and Suhartono, 2023).

b. Faktor Kimia

Faktor kimia adalah kandungan zat kimia dalam bentuk padat (debu/partikel/fiber), gas (uap/vapor zat kimia), maupun cair (cairan bahan kimia di udara. Faktor kimia di lingkungan kerja perkantoran menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 48 tahun 2016 meliputi gas CO, CO₂, formaldehid, ozon, *Volatile Organic Compounds* (VOCs), debu respirabel (PM₁₀), dan asbestos. Berikut persyaratan minimum kualitas kimia udara dalam ruangan di lingkungan kerja perkantoran agar dapat memenuhi aspek kenyamanan dan kesehatan di tempat kerja.

Tabel 2.2 Persyaratan Minimum Kualitas Kimia Udara dalam Ruang Perkantoran

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Metode	Keterangan
1	Karbon Monoksida (CO)	ppm/8jam	10,0	NDIR, <i>electrochemical</i>	Batas maksimum
2	Karbon Dioksida (CO ₂)	ppm	1000	<i>Direct Reading</i>	Batas maksimum
3	Volatile Organic Compounds (VOCs)	ppm	3	<i>Direct Reading</i>	Batas maksimum

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Metode	Keterangan
4	Formaldehid	ppm	0,1	Gas Chromatography	Batas maksimum
5	Ozon	ppm	0,5	Direct Reading	Batas maksimum
6	Debu Respirabel (PM ₁₀)	mg/m ³	0,15	Gravimetri	Batas maksimum
7	Asbes Bebas	f/cc	0,1	PCM	Batas maksimum

Sumber: Permenkes Nomor 48 Tahun 2016

1) CO

Kandungan CO di dalam udara ruang kerja perkantoran agar memenuhi persyaratan kesehatan maka perlu dilakukan upaya, seperti jendela ruang perkantoran tertutup, dan ventilasi secara mekanik dengan sirkulasi pertukaran udara yang cukup sesuai standar (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

2) CO₂

Karbon Dioksida (CO₂) merupakan salah satu indikator untuk mengetahui efektivitas dari sistem ventilasi dalam ruangan. Kadar CO₂ dalam suatu ruangan harus <1000 ppm agar dapat memenuhi aspek kenyamanan dan kesehatan (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

3) VOCs

Bahan-bahan yang ada di gedung perkantoran dapat menjadi sumber emisi *volatile organic compounds* seperti cat, bahan pelapis (*coating*), perekat (*adhesive*), bahan pembersih,

penyegar udara, dan furnitur (misalnya dari bahan pengawet kayu dan furnitur lainnya) (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016). Efek kesehatan yang ditimbulkan dari VOCs adalah sakit kepala, iritasi mata, hidung, dan tenggorokan. Bila dibiarkan dalam jangka waktu yang lama, beberapa jenis organik bahkan dapat menyebabkan kanker.

4) Formaldehid

Formaldehid merupakan gas yang berbau tajam dan tidak berwarna. Paparan formaldehid pada kadar yang rendah 0,05 - 0,5 dapat menyebabkan iritasi berupa mata terbacar, iritasi saluran pernafasan bagian atas serta dicurigai sebagai karsinogen. Bahan-bahan yang ada di gedung perkantoran dapat menjadi sumber emisi formaldehid seperti cat, bahan pelapis (*coating*), perekat (*adhesive*), bahan pembersih, penyegar udara, dan furnitur (misalnya dari bahan pengawet kayu dan furnitur lainnya) (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

5) Ozon

Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF_2). Sumber utama ozon dari kegiatan manusia dalam ruangan berasal dari mesin fotokopi, pembersih udara elektrostatis, dan udara luar. Ozon dapat menyebabkan iritasi pada mata dan bersifat toksik

terhadap saluran pernafasan, paparan ozon secara akut mengakibatkan sakit kepala, kelelahan dan batuk.

6) Debu Respirabel (PM₁₀)

Kadar PM₁₀ maksimal yang diperbolehkan dalam Permenkes Nomor 48 Tahun 2016 adalah sebesar 0,15 mg/m³. Paparan debu respirabel berkontribusi terhadap peningkatan risiko terkena terkena penyakit kardiovaskular dan pernafasan, bahkan berkontribusi terhadap peningkatan risiko kanker paru.

7) Asbes

Asbes adalah campuran berbagai silikat dengan komponen utama magnesium silikat. Asbes biasanya digunakan dalam berbagai bahan bangunan dan produk kendaraan. Debu atau serat asbes yang bertebaran di udara atau terendap dapat terhambur ke udara. Bahaya asbes terhadap kesehatan telah diketahui dengan jelas, terutama pemajanan yang berhubungan dengan pekerjaan salah satunya penyakit asbestosis. Asbestosis merupakan penyakit yang menyerang paru-paru dan berakibat tidak berfungsinya organ paru-paru serta dapat menyebabkan kematian. (Pujiastuti,1998).

c. Faktor Biologi

Faktor biologi merupakan kandungan mikroorganisme (bakteri dan jamur) dalam udara di lingkungan kerja perkantoran. Menurut Permenkes Nomor 48 Tahun 2016, untuk mendapatkan

tingkat kesehatan dan kenyamanan dalam ruang perkantoran kandungan jumlah bakteri maksimum 700 cfu/ m³ udara bebas mikroorganismen patogen. Sedangkan Jamur/Kapang: 1000 cfu/ m³.

Kualitas biologi udara dalam ruangan sangat berpengaruh dalam kenyamanan bekerja. Tingginya jumlah mikroorganismen dapat mengakibatkan gangguan kesehatan berupa infeksi, alergi, dan iritasi. Kontaminasi mikroorganismen pada sumber air sistem ventilasi yang terdistribusi ke seluruh ruangan dapat menyebabkan reaksi yang beragam seperti batuk, dada sesak, demam, mengigil, nyeri otot dan reaksi alergi seperti iritasi membran mukosa dan kongesti saluran napas atas. Kualitas biologi udara dalam ruangan kerja harus memenuhi aspek kenyamanan dan Kesehatan. Berikut persyaratan minimum kualitas biologi udara dalam ruangan perkantoran dalam rangka mencapai kedua aspek tersebut.

Tabel 2.3 Persyaratan Minimum Kualitas Biologi Udara dalam Ruang Perkantoran

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Metode	Keterangan
1	Angka Mikroorganismen	koloni/ m ³	700	cfu/ m ³	Batas maksimum
2	Angka Kupang/Jamur	koloni/ m ³	1000	cfu/ m ³	Batas maksimum

Sumber: Permenkes Nomor 48 Tahun 2016

d. Faktor Individu

Faktor individu dapat menjadi faktor risiko terjadinya *Sick Building Syndrome* di antaranya sebagai berikut.

1) Usia

Usia memiliki pengaruh terhadap daya tahan tubuh seseorang. Semakin tua usia seseorang, maka daya tahan tubuhnya semakin menurun. Namun dalam hal terjadinya *Sick Building Syndrome*, usia yang lebih muda turut berperan dalam menimbulkan gejala dan keluhan SBS karena di usia produktif dituntut untuk bekerja secara optimal sehingga. (Ridwan, Nopiyanti and Susanto, 2019). *National Institute for Safety and Health* (NIOSH) menyatakan bahwa pekerja yang berumur lebih dari 40 tahun memiliki risiko mengalami SBS yang lebih tinggi.

2) Jenis Kelamin

Sebuah studi di Swedia oleh Stenberg dan Wall (1995) yang dilakukan terhadap staf kantor ditemukan prevalensi keseluruhan SBS untuk perempuan menjadi tiga kali lipat daripada laki-laki. Gejala SBS yang terjadi pada perempuan sering dikaitkan dengan tingkat stres akibat peran ganda yang mereka jalani antara bekerja di kantor dan aktivitas rumah tangga (Wibisono *et al.*, 2022).

3) Riwayat Penyakit

Beberapa penelitian lain menyatakan bahwa banyaknya pegawai yang memiliki riwayat penyakit akut karena kondisi lingkungan kerja yang kurang mendukung, sehingga

menyebabkan gejala SBS. Riwayat penyakit seperti asma berkaitan dengan timbulnya gejala SBS. Gangguan pernafasan seperti asma disebabkan karena lingkungan kerja yang kurang baik. Suhu dan kelembaban yang tidak sesuai dengan standar menyebabkan lingkungan kerja terganggu dan menyebabkan penyakit bagi pegawai yang ada di dalamnya (Asri *et al.*, 2019)

4) Kebiasaan Merokok

Asap rokok merupakan salah satu jenis bahan pencemar dimana biasanya memiliki kuantitas paling banyak dibanding dengan bahan pencemar lain yang disebabkan oleh besarnya aktivitas merokok di dalam ruangan. Asap rokok memiliki banyak kandungan berbahaya bagi yang menghirupnya. Oleh karena itu, perokok pasif lebih sensitif terkena gejala SBS dibanding perokok aktif. Asap rokok memiliki kandungan bahan berbahaya seperti karbonmonoksida. Asap rokok dapat memicu timbulnya gejala SBS seperti gangguan pernafasan, mata perih, batuk (Asri *et al.*, 2019).

5) Lama kerja

Lama kerja adalah lamanya seorang pekerja bekerja setiap harinya. Lama kerja merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya keluhan atau gejala SBS. Lama kerja yang cukup lama mempengaruhi tingkat keterpaparan

responden terhadap polusi di dalam ruang dan dapat menimbulkan gejala SBS (Asri *et al.*, 2019).

6) Riwayat Alergi

Riwayat alergi dapat menjadi pemicu munculnya gejala SBS. Sebagian besar penderita dengan riwayat alergi dapat lebih memungkinkan mengalami gejala SBS. Riwayat alergi pada seseorang akan berpengaruh meskipun alergi sering terjadi saat masa kecil dan kemudian berhenti bertahun-tahun kemudian (Muniarti, 2019).

4. Patofisiologi *Sick Building Syndrome*

Patofisiologi terjadinya SBS masih belum jelas karena gejalanya yang tidak spesifik dan penyebab utamanya yang tidak dapat diidentifikasi. Namun saat ini ada 3 hipotesis yang menjelaskan patofisiologi terjadinya gejala SBS antara lain, hipotesis kimia, hipotesis bioaerosol, dan faktor penjamu.

a. Hipotesis Kimia

Hipotesis ini menyatakan bahwa *Volatile Organic Compounds* (VOCs) yang berasal dari perabot, karpet, cat serta debu, karbon monoksida atau formaldehid yang terkandung dalam pewangi ruangan dapat menginduksi respons terhadap reseptor iritasi terutama pada mata dan hidung. Iritasi pada saluran nafas menyebabkan asma dan rhinitis melalui interaksi radikal bebas sehingga terjadi pengeluaran histamin, degradasi sel mast, dan

pengeluaran mediator inflamasi yang menyebabkan bronkokonstriksi. Selanjutnya pergerakan silia menjadi lambat karena tidak dapat membersihkan saluran nafas, peningkatan produksi lendir akibat iritasi oleh bahan pencemar, rusaknya sel pembunuh di saluran nafas, membengkaknya saluran nafas dan merangsang pertumbuhan sel. Akibatnya terjadi kesulitan bernafas sehingga bakteri atau mikroorganisme lain tidak dapat dikeluarkan dan memudahkan terjadinya infeksi saluran nafas (Ikhsan, 2018).

b. Hipotesis Bioaerosol

Hipotesis kedua adalah hipotesis bioaerosol yang ditunjukkan pada sebuah penelitian potong lintang bahwa individu yang mempunyai riwayat atopi akan memberikan reaksi terhadap *Volatile Organic Compounds* (VOCs) konsentrasi rendah dibandingkan individu tanpa atopi.

c. Faktor Penjamu

Hipotesis ketiga adalah faktor penjamu yaitu kerentanan individu yang mempengaruhi timbulnya gejala SBS.

Menurut Aditama (2002), bahan pencemar yang mengganggu kualitas udara dalam dedung dapat menimbulkan masalah kesehatan dengan cara 4 tahap mekanisme yaitu mengganggu sistem kekebalan tubuh (imunologik), menyebabkan terjadinya infeksi, bersifat racun (toksik) dan mengiritasi (Susanto, et al 2017).

5. Cara Penanggulangan *Sick Building Syndrome*

Prevalensi SBS dapat mengalami penurunan dengan melakukan beberapa upaya penanggulangan sebagai berikut (Hefnita, Budiyo and Suhartono, 2023).

- a. Memperbaiki sistem tata ruang dan AC dalam gedung dengan mengupayakan alat-alat seperti pemanas ruangan, ventilasi, dan sistem pendingin memenuhi syarat minimum dari sistem tata udara yang baik dalam suatu gedung. Selain itu, pastikan sistem tata udara selalu beroperasi dengan baik dan optimal serta rutin dilakukan pembersihan minimal 3 bulan sekali.
- b. Mengidentifikasi dan mengendalikan sumber polutan dalam gedung seperti asap rokok, bakteri, jamur, dan bahan kimia berbahaya.
- c. Memperbaiki atau menghilangkan sumber polutan dalam gedung misalnya dengan melakukan pemeliharaan rutin terhadap sistem pendingin ruangan/AC, membersihkan tempat-tempat yang terdapat genangan air, larangan merokok di dalam gedung atau menyediakan tempat khusus untuk merokok dengan ventilasi yang langsung mengarah ke luar bangunan.
- d. Memasang penyaring udara di dalam gedung untuk mengurangi jumlah polutan yang masuk.
- e. Mengontrol tingkat paparan melalui pendekatan administratif seperti merelokasi individu yang rentan dari area dimana mereka

mengalami keluhan, meningkatkan kesadaran penghuni gedung untuk menghindari sumber-sumber kontaminan melalui pendidikan dan promosi kesehatan.

- f. Melakukan evaluasi tata ruang untuk memastikan kondisi yang mendukung kenyamanan dan kesehatan penghuni gedung dengan mempertimbangkan berbagai aspek seperti pencahayaan alami, tata letak ruangan, serta penggunaan material yang aman bagi kesehatan.

E. Suhu, Kelembaban, dan Pencahayaan

1. Suhu

Suhu merupakan panas atau dinginnya udara yang dinyatakan dengan satuan derajat tertentu. Suhu di ruang kerja memiliki peranan penting terhadap kesehatan dan kenyamanan pekerja. Hal ini karena manusia menghasilkan panas yang digunakan untuk metabolisme basal dan muskular, namun dari semua energi yang dihasilkan tubuh hanya 20% saja dipergunakan dan sisanya akan dibuang ke lingkungan. Variasi suhu udara tubuh dengan ruangan memungkinkan terjadinya pelepasan suhu tubuh, sehingga tubuh merasa nyaman. Sebaliknya suhu ruangan yang tinggi merupakan beban tambahan bagi seseorang yang sedang bekerja (Rilatupa, 2021).

Suhu yang direkomendasikan di tempat kerja khususnya perkantoran agar dapat memenuhi aspek kesehatan dan kenyamanan para pekerja berkisar antara $23^{\circ} - 26^{\circ}\text{C}$. Agar suhu nyaman dapat

tercapai pengaturan suhu dilakukan perzona tidak terpusat (*centralized*). Hal ini agar tenaga kerja mempunyai fleksibilitas untuk menyesuaikan suhu ruangan yang juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan diluar gedung (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

Suhu yang terlalu tinggi akan mempercepat kelelahan tenaga kerja begitupun sebaliknya suhu tempat kerja yang kurang atau terlalu rendah akan memperlambat kelelahan tenaga kerja karena suhu yang terlalu dingin. Suhu yang terlalu dingin juga menyebabkan metabolisme tubuh lebih lambat mengeluarkan keringat (Suudi *et al.*, 2023). Suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat berdampak buruk bagi kesehatan. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan seseorang bekerja lebih keras untuk mempertahankan suhu tubuhnya agar tetap pada kondisi normal. Pada kondisi yang ekstrem suhu yang terlalu dingin dapat menyebabkan *frost bite*. Sedangkan jika suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan seseorang kehilangan cairan lebih cepat dan kondisi ekstrem bisa menyebabkan *heat stroke*. Pada kedua kondisi tersebut, baik suhu rendah maupun tinggi, tubuh bisa mengalami kelelahan lebih cepat dan dapat mengalami berbagai gejala termasuk gejala-gejala SBS (Widuri and Ardi, 2019).

Pada suhu yang tinggi atau panas, seseorang cenderung lebih mudah mengalami kelelahan, mengantuk, dan kurang konsentrasi. Sedangkan pada suhu yang dingin dapat mengurangi efisiensi kerja dan keluhan otot, alergi, dan kulit kering (Alwi, Setyaningsih and Wahyuni,

2020). Hal itu terjadi karena pada saat seseorang terpapar suhu yang rendah, sistem saraf merespon dengan mengirimkan sinyal kepada otot untuk berkontraksi dengan cepat dan berirama (Handayani, 2021).

Gangguan kesehatan yang ditimbulkan oleh suhu yang terlalu tinggi diantaranya sebagai berikut:

a. *Heat Cramps*

Penyakit ini dialami ketika berada di lingkungan yang suhunya tinggi sebagai akibat bertambahnya keringat yang menyebabkan hilangnya garam natrium dalam tubuh dan sebagai akibat minum banyak air, tetapi tidak diberi garam untuk mengganti garam natrium yang hilang. Penyakit ini ditandai dengan otot tubuh yang kejang-kejang dan perut yang sakit.

b. *Heat Exhaustion*

Penyakit ini terjadi karena banyaknya kehilangan cairan tubuh melalui keringat yang disertai dengan kehilangan elektrolit tubuh.

c. *Heat Stroke*

Heat stroke terjadi akibat tidak berfungsinya thermoregulator dan pengeluaran keringat yang terganggu.

d. *Heat Collapse*

Heat Collapse terjadi pada pekerja di area yang panas, kelembaban yang tinggi sehingga proses pengeluaran keringat

menjadi terganggu yang mengakibatkan kulit menjadi basah dan lembab.

e. *Heat Rashes*

Terjadi pada pekerja di area yang panas, kelembaban yang tinggi sehingga proses pengeluaran keringat menjadi terganggu yang mengakibatkan kulit menjadi basah dan lembab.

f. *Heat Fatigue*

Keadaan ini terjadi akibat pajanan panas karena tidak adanya proses aklimatisasi atau penyesuaian diri yang baik antara pekerjaan dengan lingkungan kerja yang panas.

Suhu udara yang terlalu rendah dapat mengakibatkan gangguan kesehatan berupa:

a. *Hypothermia*

Penurunan suhu tubuh dari suhu normal atau kedinginan jika tidak ditangani secara cepat akan berakibat fatal. *Hypothermia* juga disebut sebagai gangguan medis dimana terjadi penurunan suhu tubuh yang tidak wajar karena tubuh tidak mampu lagi menghasilkan panas tubuh untuk mengimbangnya dan menggantikan panas tubuh yang hilang karena pengaruh suhu yang rendah di sekitar lingkungannya.

b. Dehidrasi

Dehidrasi adalah gangguan yang terjadi pada keseimbangan cairan atau air dalam tubuh seseorang. Hal ini terjadi karena

banyaknya cairan tubuh yang keluar ketimbang yang masuk. Di daerah suhu dingin akan menyebabkan peningkatan metabolisme pada tubuh seseorang sehingga mengeluarkan banyak energi dan cairan yang berlebih dan menyebabkan dehidrasi. Selain hal tersebut, keinginan untuk minum pun menjadi berkurang sehingga tubuh tidak mendapatkan tambahan cairan.

c. Kulit kering

Suhu yang dingin dapat menyebabkan kulit seseorang menjadi kering dan keriput. Keluhan ini biasanya bersifat sementara tetapi jika dibiarkan terus menerus akan menimbulkan efek bekas-bekas kulit kering akan nampak jelas terlihat berupa keriput dan garis-garis halus

2. Kelembaban

Kelembaban adalah banyaknya air yang terkandung dalam udara, biasanya dinyatakan dengan persentase. Kelembaban dipengaruhi oleh suhu udara, keduanya juga merupakan pemicu tumbuhnya jamur dan bakteri. Sama halnya dengan suhu, kelembaban di tempat kerja khususnya perkantoran juga harus memenuhi aspek kesehatan dan kenyamanan para pegawainya. Kelembaban yang direkomendasikan dalam rangka memenuhi kedua aspek tersebut berkisar antara 40-60% sedangkan untuk lobi dan koridor adalah 30-70% (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

Kelembaban yang relatif rendah yaitu kurang dari 20% dapat menyebabkan kekeringan selaput lendir membran, sedangkan kelembaban

yang tinggi akan meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme dan pelepasan formaldehid dari material bangunan (Suma'mur, 1996). Selain itu, angka kelembaban ruangan yang terlalu tinggi maupun rendah dapat menyebabkan suburnya pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menimbulkan bibit penyakit, seperti ISPA, TBC, dan lainnya.

Kelembaban dapat meningkatkan gejala dari SBS dikarenakan bahwa kelembaban yang tinggi dapat memberi dampak pertumbuhan bakteri dan virus. Kelembaban yang tinggi mendorong pengelompokan partikel di udara dan partikel yang berukuran besar diyakini cenderung menyebabkan infeksi dibanding partikel yang kecil. Pengelompokan partikel udara yang terhirup dapat membuat celah kecil pada saluran pernapasan atas yang dapat menjadi tempat terjadinya infeksi. Selain itu dalam kondisi kelembaban tinggi, fungsi mukosa akan menurun dalam melawan mikroorganisme yang masuk (Anisa Putri, Rahardjo and Wahyuningsih, 2020).

Kelembaban udara lebih dari 60% merupakan kondisi lingkungan yang sangat baik bagi pertumbuhan bakteri dan mempertahankan keberlangsungan hidup mikroorganisme parasit karena mengandung uap air di udara, serta melepaskan senyawa *volatile* yang ada di bangunan seperti *formaldehyde*, amonia, dan senyawa lain yang mudah menguap dan larut dalam kelembaban yang tinggi menjadi uap yang kemudian terpajan pada pekerja. Banyaknya mikroorganisme di udara disebabkan oleh kondisi ruangan yang kotor serta memiliki kelembaban yang cukup tinggi kira-kira

85%. Fakta menemukan bahwa 90% orang yang berada dalam ruangan memiliki risiko terpapar polutan 100 kali lebih banyak akibat sirkulasi udara yang buruk (Mawarni *et al.*, 2021).

Kelembaban udara yang tidak memenuhi syarat dapat menimbulkan gangguan pada sistem pernapasan manusia karena berkaitan langsung dengan udara yang dihirup. Pada saluran pernafasan, terjadi proses inspirasi dan ekspirasi yang menghasilkan sekret (produk hasil dari proses sekresi). Sekret kemudian dibersihkan melalui mekanisme *mucociliary transport/mucociliare clearance* yang membentuk dahak (*mucus*) sebagai proses perlawanan non spesifik terhadap infeksi saluran pernaapasan dan dikeluarkan dengan gerakan silia. Dahak yang semakin banyak dan menumpuk menjadi media yang ideal dalam kolonisasi bakteri dan akan menyebabkan infeksi pada saluran pernapasan terutama apabila terjadi gangguan pada mekanisme transportasi *mucus* dan kerusakan pada sel silia. Oleh karena itu, kelembaban udara yang tinggi berpotensi menimbulkan berbagai macam gejala yang dapat dikategorikan sebagai gejala akibat SBS (Mawarni *et al.*, 2021).

Untuk mendapatkan tingkat kelembaban yang nyaman diperlukan rekayasa *engineering* untuk menurunkan tingkat kelembaban didalam ruangan ke tingkat nyaman yang optimal misalnya dengan sistem pendingin, ventilasi udara, dan *dehumidifier* (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

3. Pencahayaan

Pencahayaan didefinisikan sebagai jumlah penyinaran pada suatu bidang kerja yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan secara efektif. Pencahayaan diukur dalam satuan lux – lumen per meter persegi. Untuk mengukur kadar pencahayaan, digunakan alat pengukur cahaya (*lux meter*) yang diletakkan pada permukaan tempat kerja (misalnya meja) atau setinggi perut untuk penerangan umum (kurang lebih 1 meter). Aspek kebutuhan (*visual performance*) dan harapan pemakai ruangan kantor intensitas pencahayaan harus terpenuhi untuk menunjang kinerja, rasa nyaman, kesehatan, dan tidak mengakibatkan gangguan kesehatan. Untuk kenyamanan mata disyaratkan pencahayaan 300-500 lux, pekerjaan menggambar 500 lux, *meeting room* 300 lux, resepsionis 300 lux, koridor 100 lux, arsip 200 lux (Permenkes Nomor 48 Tahun 2016).

Pencahayaan merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan visual suatu ruang selain warna. Pencahayaan ruang kerja sangat berpengaruh terhadap tingkat produktifitas kerja. Kondisi pencahayaan yang tidak memenuhi standar akan mengakibatkan produktifitas kerja kurang optimal (Adji, 2022).

Pencahayaan sangat mempengaruhi kemampuan manusia untuk melihat objek secara jelas, cepat, dan tanpa menimbulkan kesalahan. Kebutuhan akan pencahayaan yang baik akan makin diperlukan apabila kita mengerjakan suatu pekerjaan yang memerlukan ketelitian pencahayaan. Tingkat pencahayaan di tempat kerja mampu memberi dampak yang

signifikan dalam produktivitas. Dengan pencahayaan yang cukup, pekerja mampu menghasilkan karya yang lebih banyak dengan kesalahan yang lebih sedikit, sehingga mampu meningkatkan produktivitas sebesar 10 – 50%. Pencahayaan di tempat kerja yang baik dapat mengurangi tingkat kesalahan sebesar 30 – 60% serta mengurangi keluhan pada mata dan sakit kepala, *nausea*, dan sakit leher yang dapat berkembang menjadi *eyestrain* (Erix Extrada *et al.*, 2021).

Pencahayaan yang terlalu terang dapat menyebabkan gejala sakit kepala dan menurunnya daya konsentrasi. Pencahayaan yang buruk juga akan mengakibatkan kelelahan mata sebagai akibat dari berkurangnya daya efisiensi kerja, kelelahan mental, keluhan pegal di daerah mata dan kerusakan indera penglihatan, serta meningkatkan kecelakaan (Vestabilivy, Sapoetra and Hadien, 2023).

Pencahayaan yang buruk dapat berkontribusi dalam kejadian SBS. Pencahayaan yang buruk dapat menjadi penyebab efisiensi kerja pegawai menurun dan beresiko terjadinya kecelakaan kerja. Tingkat pencahayaan juga memiliki hubungan dengan kenaikan atau penurunan suhu dalam ruangan, apabila tingkat pencahayaan alami maupun buatan masuk ke dalam ruangan maka akan menurunkan suhu dalam ruangan. Apabila mengalami penurunan suhu maka akan memungkinkan bertumbuhnya mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang dapat memicu terjadinya SBS pada pekerja yang berada di dalam ruangan (Hefnita, Budiyono and Suhartono, 2023).

Pencahayaan yang kurang dari Nilai Ambang Batas dapat mengakibatkan kelelahan mata, akan tetapi pencahayaan yang terlalu kuat juga akan mengakibatkan kesilauan. Jika mata melihat objek dengan kondisi pencahayaan yang kurang maka mata akan berakomodasi maksimal agar benda tersebut dapat terlihat, pada kondisi mata berakomodasi maksimal ini yang dapat menyebabkan otot-otot pada mata akan tegang dan mudah terjadi kelelahan pada mata (Adji, 2022).

Pencahayaan di tempat kerja yang kurang memenuhi persyaratan baik kondisi penerangan yang tinggi, rendah, maupun yang menyilaukan akan memperburuk penglihatan. Pada saat pencahayaan terlalu besar ataupun kecil, pupil mata harus berusaha menyesuaikan cahaya yang diterima oleh mata yang menyebabkan kontraksi. Pupil merupakan sebuah lubang bundar di bagian tengah iris yang menjadi tempat masuknya cahaya ke interior mata. Ukuran pupil dapat disesuaikan oleh kontraksi otot-otot iris untuk menerima cahaya yang besar atau kecil. Serat otot akan memendek ketika terjadi kontraksi, pupil menjadi kecil ketika otot sirkular berkontraksi dan membentuk cincin yang lebih kecil. Hal itu terjadi pada saat kondisi cahaya yang terang dimana bertujuan untuk mengurangi cahaya yang masuk ke mata. Sebaliknya, pada saat cahaya redup, otot radial berkontraksi sehingga ukuran pupil akan bertambah (Sheerwood, 2014).

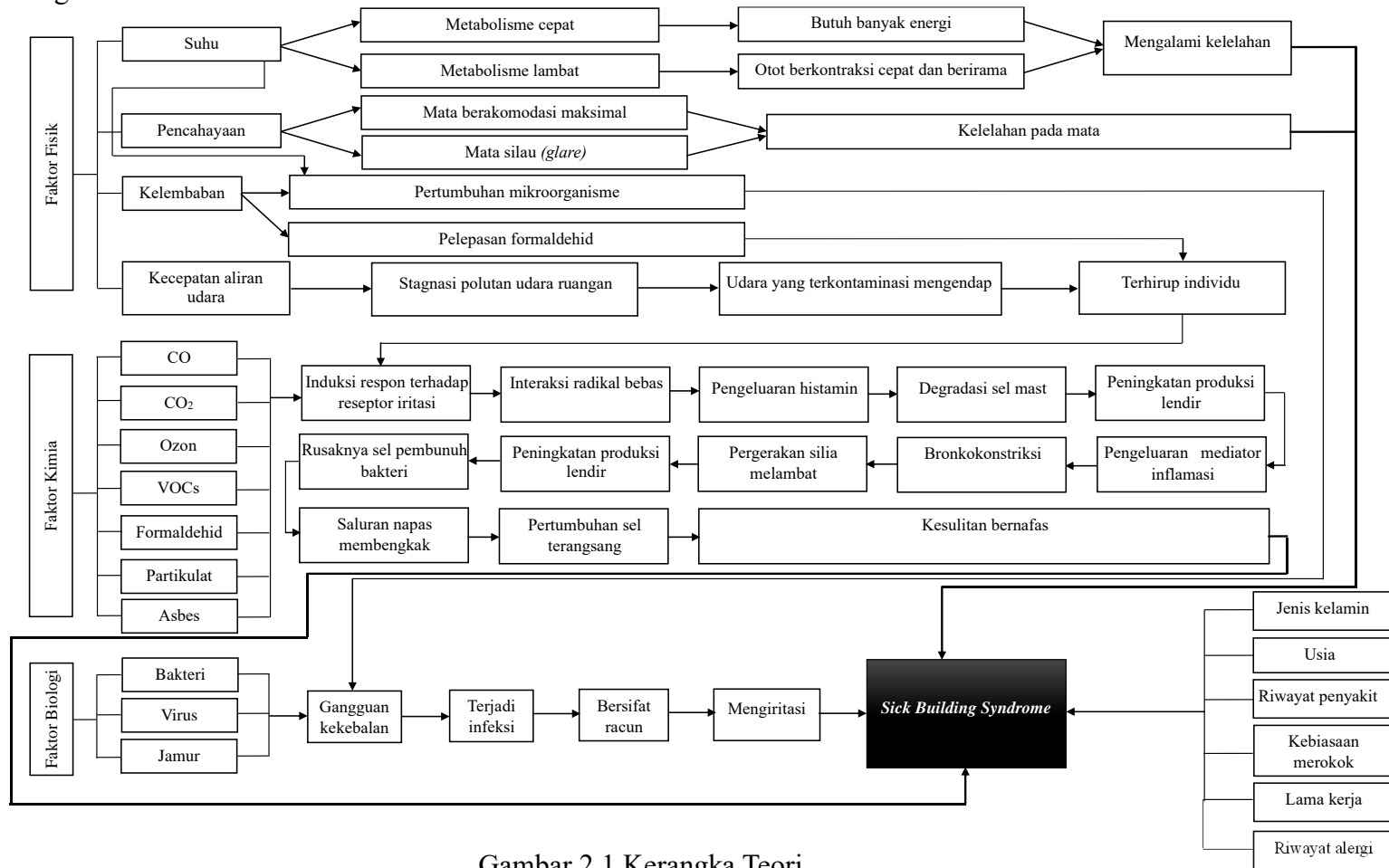
Ketika mata merasa kurang pencahayaan, mata akan semakin kuat untuk berakomodasi saat melihat suatu benda. Akomodasi yaitu dimana lensa mampu untuk mencembung. Hal ini terjadi karena adanya kontraksi

otot siliar pada mata. Akibat dari akomodasi daya pembiasan pada lensa akan bertambah. Akomodasi akan meningkat dengan sendirinya menyesuaikan kebutuhan. Mata harus semakin kuat berakomodasi ketika kita melihat benda pada jarak yang dekat (Daniel 2000).

Kontraksi dari otot akomodasi ini mengakibatkan kelelahan pada mata serta meningkatkan asam laktat dan retinan sehingga mengalami tekanan ketika ada kontras/perbedaan berlebih pada mata yang terjadi terus menerus (Ilyas 2004). Mata yang terakomodasi dalam waktu lama akan lebih cepat mengalami penurunan ketajaman penglihatan (Manumpil 2015).

Kelelahan mata merupakan gangguan yang dialami mata karena otot-ototnya yang dipaksa bekerja terutama saat harus melihat objek dekat dalam jangka waktu lama. Kelelahan mata disebabkan oleh stres yang terjadi pada fungsi penglihatan. Stres pada otot akomodasi dapat terjadi saat seseorang berupaya untuk melihat objek berukuran kecil dan pada jarak yang dekat dalam waktu yang (Purwaningtyas, 2021). Selain itu, pencahayaan yang terlalu terang dapat menimbulkan gejala sakit kepala dan menurunnya daya konsentrasi (Mawarni *et al.*, 2021).

6. Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori

Sumber: *Indoor Air quality U.S. Environmental Protection Agency*, Permenkes Nomor 48 Tahun 2016, Aditama (2002), Sherwood (2014), Susanto, et.al (2018), Handayani (2021), Purwaningtyas (2021), dan Hefnita et.al (2023)