

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN GAS KARBON
MONOKSIDA DAN KADAR KARBOKSIHEMOGLOBIN DALAM
DARAH PADA PEKERJA SEKITAR BASEMEN DI GEDUNG GRAHA
PENA DAN GEDUNG MTOS**

**HEALTH RISK ANALYSIS OF CARBON MONOXIDE EXPOSURE AND
CARBOXYHEMOGLOBIN LEVELS IN THE BLOOD OF WORKERS
AROUND THE BASEMENT IN THE GRAHA PENA BUILDING AND
MTOS BUILDING**

**RAHMI AMIR
K013181009**



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN GAS KARBON MONOKSIDA
DAN KADAR KARBOKSIHEMOGLOBIN DALAM DARAH PADA
PEKERJA SEKITAR BASEMEN DI GEDUNG GRAHA PENA DAN
GEDUNG MTOS**

DISERTASI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi S-3

Ilmu Kesehatan Masyarakat

Disusun dan diajukan oleh :

RAHMI AMIR

K013181009

Kepada :

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

DISERTASI

ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAJANAN GAS KARBON MONOKSIDA DAN
KADAR KARBOKSIHEMOGLOBIN DALAM DARAH PADA PEKERJA
SEKITAR BASEMEN DI GEDUNG GRAHA PENA DAN GEDUNG MTOS

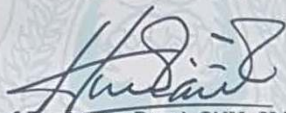
Disusun dan diajukan oleh

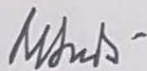
RAHMI AMIR
Nomor Pokok K013181009

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 17 September 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

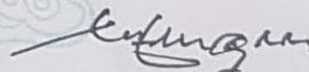
Menyetujui

Komisi Penasehat,


Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.Kes
Promotor



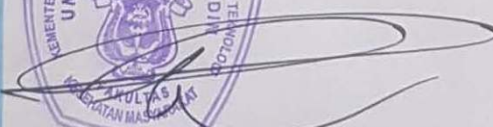
Prof. Dr. H. Indar, SH., MPH
Ko-Promotor




Dr. M. Furgaan Naiem, M.Sc., Ph.D
Ko-Promotor

Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin,

Ketua Program Studi Doktor (S3)
Ilmu Kesehatan Masyarakat



Dr. Aminuddin Syam, SKM, M. Kes, M. Med. Ed.



Prof. Dr. Ridwan A, SKM, M. Kes, M. Sc. PH

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmi Amir

NIM : K013181009

Program Studi : Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan disertasi yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dengan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika pedoman penulisan disertasi.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

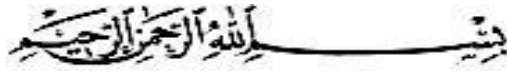
Makassar, September 2021



Yang Menyatakan,

Rahmi Amir

PRAKATA



Puji dan syukur kehadiran Allah Swt. Penulis panjatkan atas limpahan rahmat, hidayah, serta anugerah-Nya sehingga disertasi yang berjudul “**Analisis Risiko Kesehatan Paparan Gas Karbon Monoksida dan Kadar Karboksihemoglobin Dalam Darah Pada Pekerja Sekitar Basemen di Gedung Graha Pena dan Gedung MTos**” dapat diselesaikan. Disertasi ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar doktor pada Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Semoga rahmat dan kenikmatan yang diberikan oleh Allah Swt. dapat mengantarkan penulis kelak menjadi insan yang berguna. Salam dan salawat penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad S.A.W. sebagai suri teladan umat hingga akhir zaman.

Upaya maksimal telah penulis tempuh dengan sebaik-baiknya untuk menyempurnakan penyelesaian disertasi ini. Namun, penulis menyadari sepenuhnya bahwa disertasi ini masih memiliki banyak kekurangan dan kekeliruan, baik dari segi isi, maupun dari segi penulisan. Oleh karena itu, dengan ikhlas dan terbuka penulis mengharapkan saran, masukan, dan kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan disertasi ini.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan disertasi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik berupa dukungan, bimbingan, nasihat, maupun motivasi sejak proposal disusun hingga selesainya disertasi ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Anwar Daud, S.K.M, M.Kes selaku Promotor, Prof. Dr. H. Indar

S.H.,M.P.H. selaku Co-Promotor 1, dan Dr. M. Furqaan Naiem, M.Sc,Ph.D, selaku Co-Promotor 2 yang dengan penuh kesabaran membimbing, menasihati, mengarahkan, dan memberikan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini.

Rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan pula kepada Prof. Dr. dr. H. Nadjib Bustan, M.P.H, Prof. Dr. Darmawansyah, S.E., MS dan DR. Suriah, SKM, M.Kes. selaku penguji yang telah memberikan arahan, saran, dan masukan untuk perbaikan disertasi ini,

Kepada penilai eksternal, Bapak Prof. Dr,dr, H.J Mukono, M.S, M.P.H. Penulis sampaikan terima kasih banyak karena telah meluangkan waktu untuk memberikan saran serta nasihat demi kesuksesan dalam menyelesaikan disertasi ini. Tidak hanya itu, beberapa referensi terkait yang telah diberikan sangatlah berarti demi terwujudnya penyempurnaan disertasi ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih sekali lagi atas segala kebaikan yang bernilai ibadah .

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Dwia Anies Tina Pulubuhu,M.A, Rektor Universitas Hasanuddin, yang telah memberi izin dan kesempatan untuk menimba ilmu di Program Doktor Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
2. Dr. Aminuddin Syam, S.K.M., M.Kes, M.Med, selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin, para Wakil Dekan, dosen pengajar, dan seluruh pegawai yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama mengikuti pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

3. Prof. Dr. Ridwan Amiruddin, SKM,M.Kes, M.Sc,PH, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
4. Rektor dan Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Parepare yang telah memotivasi dan memberi kesempatan penulis untuk melanjutkan pendidikan.
5. Teman-teman mahasiswa Program Doktor pada Program Pascasarjana Kesehatan Masyarakat angkatan 2018 atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.
6. Pemimpin Graha Pena dan HRD Makassar Town Square yang turut membantu dalam penelitian ini;
7. Seluruh responden yang telah bersedia meluangkan waktunya selama penelitian berlangsung.
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang turut membantu serta menyumbangkan pemikirannya kepada penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.

Khusus kepada suami tercinta, Faisal Syarif, penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan atas perhatian, kesabaran, dan ketulusan dalam mendukung langkah penulis. Pengorbanan waktu untuk menempuh perjalanan panjang dalam meraih kesuksesan akademik penulis, bukanlah hal yang mudah. Peran terbaik untuk bersama mendidik generasi penerus kami tercinta, Zaky Akhmad Farham, Zaskia Alya Fahira, Afiqa Farah Syakira dan Amira Fasmi Ramadhani bukanlah hal yang ringan bagi seorang suami. Selain itu, ketulusan dan kesetiaan yang senantiasa terbangun dalam mendampingi, menemani konsultasi dengan Dosen pembimbing dan Dosen penguji serta

memberikan semangat sampai penulis menyelesaikan disertasi ini patutlah menjadi acungan jempol.

Ucapan terima kasih juga tidak lupa penulis sampaikan kepada saudara-saudaraku, Rahma Amir, Husna Amir, Husni Amir , Hasanah Amir dan Sunarti Sande. Demikian juga kepada ipar-ipar tercinta, Muh. Syahrir Syarief, Hafira Syarief, Muh. Hasyim Syarief, Hanna, dan Hadiah Syarief. Terima kasih atas doa yang senantiasa dipanjatkan untuk kelancaran dan keberhasilan studi penulis .

Penghargaan yang sama penulis haturkan kepada Ibu Anggota DPR RI Dr. Andi Yuliani Paris, M.Si dari Fraksi PAN (Partai Amanat Nasional) yang telah membantu memberikan rekomendasi beasiswa Masyarakat Pendukung Pendidikan (MPP-DN 2019).

Semoga Allah Swt. senantiasa meridhai dan membalas semua amal kebaikan yang telah dicurahkan dengan tulus dan ikhlas kepada penulis, dan semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya. Amin Ya Rabbal Alamin.

Makassar, September 2021

Rahmi Amir

ABSTRAK

RAHMI AMIR. *Analisis Risiko kesehatan Paparan Gas Karbon Monoksida dan Kadar Karboksihemoglobin dalam Darah pada Pekerja Sekitar Basemen di Gedung Graha Pena dan Gedung Mtos (dibimbing oleh Anwar Daud, Indar, dan M Furqaan Naiem).*

Ruang parkir basemen merupakan salah satu kondisi dalam ruangan dengan kontaminan yang sering hadir berupa gas karbon monoksida yang dikeluarkan dari knalpot mesin mobil sehingga bukaan udara pada basemen mengakibatkan gerakan udara terbatas dan gas karbon monoksida terdispersi menjadi lambat. Oleh karena itu, pekerja yang ada di basemen menghirup udara dengan gas CO yang reaktif terhadap Hb dan membentuk senyawa COHb yang sangat stabil dalam darah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan karbon monoksida dan kadar karboksihemoglobin dalam darah pekerja basemen di gedung Graha Pena dan MTos. Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan rancangan potonglintang serta menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Sampel subjek dalam penelitian ini adalah udara ambien yang ada di basemen Graha pena dan Gedung Mtos dan sampel objek adalah pekerja di sekitar basemen, seperti *cleaning service*, tukang parkir, teknisi keamanan dan satpam. Sampel diambil secara *purposive* berjumlah 30 orang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi karbon monoksida pada tempat parkir basemen Graha pena dan Mtos menunjukkan nilai rata-rata 14.863 mg/m³ berada di atas baku mutu standar sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 dan untuk hasil perhitungan Intake / asupan berisiko di Graha Penadengan nilai 1.374 mg/kg/hari, sedangkan di basemen Mtos dengan nilai intake /asupan sebesar 0.969 mg/kg/hari. Data kuantitatif dianalisis dengan perhitungan nilai *Risk Quetion* (RQ) realtime paparan CO masih aman / tidak berisiko dengan RQ < 1, dan untuk RQ Life time (30 tahun) yang didapatkan dari perbandingan antara *intake* dan nilai RfC menunjukkan ada 3 pekerja memiliki RQ < 1, dan ada 27 pekerja memiliki nilai RQ > 1. Diperoleh pula tidak ada hubungan signifikan antara intake realtime dengan kadar karboxihemoglobin dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha pena dan gedung Mtos.

Pada lokasi sekitar basemen Graha Pena diperoleh konsentrasi aman (C) < 1797 mg/m³, dengan nilai tE (*time exposure*) aman < 1 jam/hari dan fE (*frekuensi eksposure*) aman < 44 hari/pertahun, sedangkan untuk basemen Mtos diperoleh konsentrasi aman < 1.079 mg/m³ dengan tE (*time exposure*) aman < 1 hari, dan nilai fE (*frekuensi exposure*) aman < 33 hari. Oleh karena itu, diharapkan kepada Instansi pemerintah yang terkait seperti, dinas tenaga kerja, dinas kesehatan melakukan monitoring secara berkala agar dapat mengambil langkah pencegahan terkait paparan gas karbon monoksida dan efeknya terhadap karboxihemoglobin dalam darah.

Kata kunci: karbonmonoksida, karboksihemoglobi, basemen, analisis risiko kesehatan lingkungan.



ABSTRACT

RAHMI AMIR. Health Risk Analysis of Carbon monoxide Exposure and Carboxyhemoglobin Levels in the Blood of Workers around the basement in the Graha Pena Building and Mtos Building (Supervised by Anwar Daud, Indar, and M Furqaan Naiem))

Basement parking space is one of the indoor conditions with contaminants that are often present in the form of carbon monoxide (CO) gas released from the car engine exhaust, which is the main entrance and becomes the path of passing vehicles. The slight opening of the air in the basement results in limited air movement so that carbon monoxide gas is dispersed slowly. As a result, the workers in the basement breathe air with CO gas which is very reactive to Hb and forms COHb compounds which are very stable in the blood.

This study aims to analyze environment health risks due to carbon monoxide exposure and carboxyhemoglobin levels in the blood of basement workers in the Graha Pena and MTos buildings. This study is an observational study with a cross-sectional design and uses the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) method. The sample of the subjects in this study was the ambient air in the basement of Graha Pena and the Mtos Building and the object samples were workers around the basement such as cleaning services, parking attendants, security technician, and security guards. Total sample was 30 people and taken purposively.

The results showed that the concentration of carbon monoxide (CO) in the basement parking lot of Graha Pena and Mtos showed an average value of 14,863 mg/m³ which was above the quality standard according to government regulation No 22 of 2021. The result of the calculation of risky intakes at Graha Pena was in the value of 1.374 mg/kg/day while in the basement Mtos with an intake value of 0.969 mg/kg/day..

The quantitative data were analyzed by calculating the realtime intake value. CO exposure was still safe / not at risk with RQ <1, and for RQ Life time (30 years) obtained from the comparison between intake and RfC value showed there were 3 workers who had RQ < 1, and there are 27 workers who have an RQ value > 1. There is also no significant relationship between the potential risk (RQ) in real time and the levels of carboxyhemoglobin in the blood of workers around the basement in the Graha Pena building and the Mtos building..

At the location around the basement of Graha Pena, a safe concentration (C) < 1797 mg/m³ was obtained, with a safe tE (time exposure) value of < 1 hours/day and a safe fE (exposure frequency) < 44 days/year. Meanwhile, in the basement of Mtos, a safe concentration of < 1079 mg/m³ was obtained with a safe fE (exposure frequency) value < 33 days and a safe tE (time exposure) < 1 days. Therefore, it is hoped that the relevant government agencies such as the Manpower Service, the Health Service will carry out regular monitoring so that they can take preventive steps related to carbon monoxide gas exposure and its effect on carboxyhemoglobin in the blood..

Keywords: Carbon monoxide, Carboxyhemoglobin, Basement, Environmental Health Risk Analysis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMANJUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI.....	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACK.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
A Latar Belakang.....	11
B. Rumusan Masalah.....	12
C. Tujuan Penelitian	14
D. Manfaat Penelitian.....	16
E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian.....	18

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	21
A. Tinjauan tentang Pencemaran udara	21
B. Tinjauan Karbon monoksida dan karboxyhemoglobin (COHb)	34
C. Tinjauan Ruang Bawah Tanah (<i>Underground/Basemen</i>)	40
D. Tinjauan Paparan	54
E. Tinjauan tentang Pekerja dan Beban Kerja	68
F. Tinjauan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	75
H. Kerangka Teori.....	112
I. Kerangka Konsep.....	114
J. Hipotesis Penelitian.....	115
K. Definisi Operasional.....	116
BAB III METODE PENELITIAN.....	122
A. Jenis dan Desain Penelitian	122
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	124
C. Populasi dan Waktu Penelitian	124
D. Pemeriksaan Kualitas Udara dan Kadar COHb.....	132
E. Metode Pengumpulan Data.....	135
F. Instrumen Penelitian.....	136
G. Variabel Penelitian	137
H. Pengolahan dan Analisis Data	141
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	147
A. Hasil Penelitian	147
B. Pembahasan	196
C. Keterbatasan Penelitian.....	265
BAB V PENUTUP.....	267

A. Kesimpulan	267
B.Saran	269
C.Implikasi Penelitian	272
D..Kebaruan Penelitian.....	274
DAFTAR PUSTAKA.....	276

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sumber Pencemaran karbon monoksida (CO)	24
Tabel 2.2	Indeks Standar Pencemar Udara	25
Tabel 2.3	Konversi jenis kendaraan ke satuan mobil penumpang (smp)	29
Tabel 2.4	Data faktor emisi	31
Tabel 2.5	Dampak pajanan gas karbon monoksida pada tubuh	36
Tabel 2.6	Zat kimia penyebab polusi udara ,sumber dan dampaknya bagi kesehatan	44
Tabel 2.7	Variasi periode paparan untuk konsentrasi karbon monoksida	61
Tabel 2.8	Nilai ambang batas bahan Kimia	64
Tabel 2.9	Prediksi tingkat karboxyhemoglobin dalam keadaan stabil	67
Tabel 2.10	Alternatif Pengelolaan Risiko dan Penggunaannya	106
Tabel 2.11	Defenisi Operasional	116
Tabel 2.12	Pengaruh konsentrasi COHb di dalam darah terhadap Kesehatan manusia	119
Tabel 3.1	Profil pekerja sekitar basemen Gedung Graha Pena dan gedung Mtos	125
Tabel 3.2	Titik Sampel Pengambilan Pengukuran Gas CO	132
Tabel 3.3	Instrumen data,sumber dan jenis data	144
Tabel 4.1	Distribusi Aktivitas Kerja Pada Pekerja di Sekitar Basemen di Gedung Graha Pena dan Gedung MTos	151
Tabel 4.2	Distribusi Frekuensi Keluhan Kesehatan Pekerja	152

Tabel 4.3	Distribusi Frekuensi Sifat Penyakit Dan Usaha Pengobatan Pekerja	153
Tabel 4.4	Distribusi Nilai Mean,Median,Nilai Minimum dan Maksium, serta Standar Deviasi Variabel Meteorologi Berdasarkan Nilai Ambang Batas	159
Tabel 4.5	Karakteristik Pola Waktu Kontak dan Antropometrik Pekerja	162
Tabel 4.6	Data deskriptif umur,berat badan, lama kerja, dan kadar COHb pekerja di sekitar basemen	167
Tabel 4.7	Tabulasi Silang Antara Umur, Jenis Kelamin, Berat Badan, Dan Lama Kerja dengan Kadar COHB Dalam Darah Pekerja Sekitar Basemen	168
Tabel 4.8	Hubungan Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi CO pada Basemen Gedung Graha Pena dan Gedung Mtos	170
Tabel 4.9	Hubungan Konsentrasi Karbon Monoksida dengan Kadar COHb pada Pekerja	171
Tabel 4.10	Distribusi Nilai <i>RQ realtime</i> . <i>RQ Lifetime</i> dan kadar COHb dalam darah	172
Tabel 4.11	Hubungan Nilai Intake Realtime Dan Konsentrasi Cohb pada Pekerja	175
Tabel 4.12	Ringkasan Hasil Uji Statistik	176
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Intake dan RQ Pajanan CO di basemen gedung Graha pena dan Mtos	183
Tabel 4.14	Nilai RQ Pajanan Karbon Monoksida pada Pekerja	188
Tabel 4.15	Intake Paling Berisiko Pekerja di Basemen Graha pena dan Mtos	191
Tabel 4.16	Perhitungan Manajemen Risiko pada Pekerja sekitar	194

	Basemen	
Tabel 4.17	Perhitungan C aman, fE aman,tE aman pada Basemen Graha Pena dan MTos	196

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Distribusi Karakteristik Pekerja di Sekitar Basemen di Gedung Graha Pena dan Gedung Mtos	151
Grafik 4.2	Pengukuran Konsentrasi CO di Sekitar Basemen	156
Grafik 4.3	Distribusi pengukuran Suhu, Kelembaban, Kecepatan angin, dan Pencahayaan	157
Grafik 4.4	Jumlah Kendaraan pada Basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Paradigma <i>Risk Analysis</i> dari NRC. 1983	83
Gambar 2.2	Alur penetapan ARKL	85
Gambar 2.3.	Kerangka teori	113
Gambar 2.4.	Kerangka konsep	114
Gambar 3.1.	Alat yang dipergunakan dalam pengukuran gas CO	133

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran1 Kuesioner penelitian
- Lampiran2 Hasil uji Laboratorium Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar dan nilai COHb Pekerja.
- Lampiran3 Master tabel (tabulasi kuesioner, nilai RQ, nilai COHb, Pekerja Sekitar Basemen Graha Pena dan gedung MTos dan Nilai Parameter Meteorologis
- Lampiran4 Foto-foto kegiatan pengambilan sampel di lapangan
- Lampiran5 Surat izin penelitian dari Badan Koordinasi Penanaman Modal Daerah UPT Pelayanan Perizinan Terpadu Provinsi Sulawesi Selatan
- Lampiran6 *Output* olah data SPSS

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrofotometri</i>
ADKL	Analisis Dampak Kesehatan lingkungan
AMDAL	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
APD	Alat Pelindung Diri
ARKL	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substance Disease Registry</i>
BBM	Bahan Bakar Minyak
BEI	<i>Biological Exposure Indeks</i>
BMUA	Batas Mutu Udara Ambien
BPOM	Balai Pengendalian Obat dan Makanan
BBLK	Balai Besar Laboratorium Kesehatan
BSN	Badan Standarisasi Nasional
BW	<i>Weight Body</i>
C	Konsentrasi ug/Nm ³ atau per 1000 (mg/Nm ³)
CO	Karbon Monoksida
CO ₂	Karbon Dioksida
COHb	Karboxihemoglobin
CI	Koefisien Interval
ECR	<i>Excess Cancer Risk</i>
EHRA	<i>Enviromental Health Risk Assessment</i>

EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
dT	<i>Duration Time</i>
fE	<i>Frekuensi Exposure</i> (frekuensi pajanan dalam satu tahun)
FE	Faktor Emisi
HIA	<i>Health Impact Assesment</i>
Hb	Hemoglobin
HRA	<i>Health Risk Assesment</i>
H ₂ S	Hidrogen sulfide
I	Intake (mg/kg/hari)
IPCS	<i>International Programme on Chemical Safety</i>
ISPA	Infeksi Saluran Napas Akut
Km ²	Kilometer persegi
Mg	Miligram
NO ₂	Nitrogen Dioksida
Nm ³	Normalitas meter kubik
R	Rate (laju inhalasi)
SBS	<i>Sick Building Sindrome</i>
tE	<i>Time Exposure</i>

IPB	Indek Pajanan Biologis
KLH	Kementerian Lingkungan Hidup
Kepmenkes	Keputusan Menteri Kesehatan
LOAEL	<i>Low Observed Adverse Effect Level</i>
mg/m ²	Miligram per meter kubik
mg/kg/hari	Miligram/kilogram/hari
Mean	Rata-rata
Median	Nilai tengah data
µg/m ³	Mikrogram per meter kubik
MTos	Makassar Town square
NAB	Nilai Ambang Batas
NOx	Nirogen oksida
NIOSH	<i>National Institute of Occupational Safety and Health</i>
NOAEL	<i>No Observed Adverse Effect Level</i>
NRC	<i>National Research Council</i>
PUDR	Pencemaran Udara dalam ruangan
PP	Peraturan Pemerintah
P2-PL	Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan
Permen- LH	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup
PPM	Part Per Million

RfD	<i>Reference Dose</i>
RfC	<i>Reference Concentration</i>
RQ	<i>Risk Quotient</i>
SF	<i>Slope Faktor</i>
Smp	Satuan mobil penumpang
SNI	Standar Nasional Indonesia
SD	Standar Deviasi
STEL	<i>Short time exposure Limit</i>
TWA	<i>Time weighted average</i>
UNCED	<i>United Nation Coference on Economic and Development</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
WHO	<i>Word Health Organisation</i>
WTO	<i>Word Trade Organisation (Codex Risk Assesment)</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan sumber pencemar udara dari kegiatan manusia, seperti aktivitas disektor ekonomi dan transportasi mengakibatkan lingkungan mengalami degradasi (Demir, 2015; Raza et al., 2018). Hal tersebut dapat dilihat pada sektor transportasi yang merupakan penyumbang emisi sebesar 77%, dengan penggunaan mobil pribadi sekitar 80% penghasil emisi dari total kendaraan berlalu lintas (Ghorani-Azam, Riahi-Zanjani dan Balali-Mood, 2016).

Bahkan, menurut data Badan Statistik bahwa terjadi penambahan jenis kendaraan, seperti mobil penumpang, bus, mobil, dan sepeda motor pada tahun 2018 berjumlah 126.508.776 unit (Kepolisian Republik Indonesia, 2019).

Dengan demikian, sumber pencemar pada sektor transportasi paling banyak dan berbahaya, misalnya kendaraan bermotor karena mengandung karbon monoksida, nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂), timah hitam (Pb), dan karbon dioksida (CO₂).

Karbon monoksida merupakan polutan terbesar dari sumber transportasi di Indonesia, yaitu 70,50% menyusul gas No_x, SO_x, HC, dan partikel lainnya (Sengkey, Jansen dan Wallah, 2011). Menurut penelitian tersebut tingkat polutan udara pada hari kerja terkonsentrasi paling tinggi pada siang hari, yaitu sebesar 15577,07 µg/m³ dan pada hari libur

tertinggi pada sore hari, yaitu sebesar 13028,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kendaraan yang berputar dalam satu menit menunjukkan semakin besar kadar CO yang diemisikan, selain itu, konsentrasi CO di udara dipengaruhi juga oleh kecepatan emisi, kecepatan dispersi, dan pembersihan CO dari udara. Namun, pada daerah perkotaan proses ini sangat lambat karena aktivitas yang padat dengan sistem penataan ruang hijau yang sedikit sehingga konsentrasi CO yang ada di udara juga akan semakin tinggi (Sekaryadi dan Santosa, 2017).

Karbon monoksida (CO) adalah adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tersebar di atmosfer karena merupakan polutan primer yang berasal dari sumber pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil dan biomassa, termasuk pembakaran internal mesin (DEHP, 1990). Gas ini dapat berbentuk cairan pada suhu di bawah $-19,2^{\circ}\text{C}$ dan tergolong sebagai senyawa anorganik (EPA, 2012).

Standar kendaraan menjadi faktor yang memengaruhi kualitas udara, infrastruktur transportasi umum yang tidak efektif, penanganan manajemen yang tidak tertata, dan peraturan yang kurang terkontrol sehingga akan berdampak negatif terhadap kegiatan bertransportasi. Secara signifikan, dampaknya dapat menimbulkan emisi dan dampak buruk pada manusia, dan lingkungan sekitarnya (Geng et al., 2019).

Hal tersebut juga disebabkan oleh pemborosan energi bahan bakar minyak (BBM) sehingga polutan di udara akan terus meningkat (Tobergte dan Curtis, 2013).

Pencemaran udara dapat terjadi di luar ruangan dan di dalam ruangan. Berdasarkan definisi EPA (2010) ada empat elemen yang memengaruhi sistem pencemaran udara dalam ruang (PUDR). Antara lain, yaitu sumber polutan dari dalam dan luar ruangan, sistem ventilasi, media pembawa udara ke dalam ruang, serta riwayat pekerja yang berdiam di ruang tersebut, apakah mempunyai penyakit yang berhubungan dengan PUDR atau tidak.

Paparan pencemaran udara dalam ruangan *indoor* jauh lebih besar, jika dibandingkan dengan pencemaran luar ruang (*outdoor*). WHO menyatakan bahwa PUDR seribu kali lebih berbahaya dapat mencapai paru dibandingkan dengan pencemaran udara luar ruang, dan setiap tahun diperkirakan ada sekitar 3 juta kematian akibat polusi udara, dan 2,8 juta di antaranya merupakan kematian akibat PUDR (Kephart et al., 2020; Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji pencemaran di daerah basemen, yang dikenal dengan istilah *Indoor Air Pollution*. Umumnya ruang parkir basemen adalah salah satu kondisi dalam ruangan dengan kontaminan yang sering hadir berupa gas karbon monoksida (CO) yang dikeluarkan dari knalpot mesin mobil. Beberapa jurnal dan artikel mengemukakan bahwa emisi CO lebih besar dari kontaminan lain, ketika mobil bergerak dengan kecepatan rendah. Tingkat Konsentrasi CO juga sangat tergantung pada tiga faktor lingkungan, yaitu ventilasi, infiltrasi, dan waktu pengoperasian kendaraan yang berkorelasi dengan

peningkatan suhu yang lebih kompleks pada ruang parkir basemen (Ho, Xue dan Tay, 2004).

Kan, Chen dan Tong (2012) melakukan investigasi kualitas udara dalam ruangan di Hongkong, di beberapa tempat, seperti restoran, sekolah, kantor komersial, pusat perbelanjaan, dan apartemen, menunjukkan bahwa ada sekitar 37% di tempat tersebut selama periode 8 jam, tingkat rata-rata karbon monoksida melebihi 1.000 ppm. Konsentrasi berkisar 506,3 ppm hingga 2.369 ppm.

Perkembangan pembangunan gedung di Indonesia, seperti mall, hotel, dan gedung layanan publik lainnya yang semakin banyak dari tahun ketahun menyebabkan semakin banyak pula lahan parkir yang diperlukan dalam rangka memberikan pelayanan maksimal, sehingga peluang manusia terpapar polusi mengindikasikan bahwa derajat polusi dalam ruangan bisa dua sampai lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan polusi luar ruang (Herman, Cahyana dan Mulyani, 2019).

Dampak yang diakibatkan dari polutan udara dapat berefek pada aspek sosial, ekonomi, dan juga secara signifikan dapat mengancam kesehatan penghuni dalam ruangan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa CO₂, CO, NO₂, H₂S merupakan faktor risiko *Sick Building Syndrome (SBS)*. Selain itu paparan gas CO yang rendah dapat menyebabkan gejala berupa sakit kepala, dan kelelahan, dan kadar COHb bertanggung jawab menjadi penanda kurangnya oksigen dalam darah yang mengakibatkan hipoksia dan anemia (Almutairi, Alsanad dan

Alhelailah, 2019).

Mukono (2014) mengemukakan bahwa kadar gas CO dalam hemoglobin darah (Hb) ditentukan oleh afinitas CO dengan Hb darah. Afinitas gas CO dengan Hb adalah sekitar 250 kali dari afinitas gas O₂ dengan Hb darah. Pada non perokok ditemukan kadar COHb berkisar 0.4-0.7 %. Oleh karena itu, badan kesehatan dunia WHO menetapkan batas 2.5 - 3% kadar COHb bagi nonperokok (Mukono, 2014, hal.22–25).

Encyclopedia of Occupational Health & Safety juga mengemukakan bahwa COHb pada kadar 7% akan memberikan pengaruh pusing, kadar 45% memberi efek mual dan hilang kesadaran, kadar 60% menyebabkan koma, dan kadar 95% menyebabkan kematian (El Morabet, 2019, hal.1–9). Gejala keracunan CO adalah juga dapat berdampak kehilangan kesadaran yang gejalanya mirip dengan keracunan makanan atau infeksi virus (Ghorani-Azam, Riahi-Zanjani dan Balali-Mood, 2016).

Di Negara kita, Indonesia sumber gas CO dalam ruangan sudah diatur dalam perundang-undangan dan memiliki nilai baku mutu. Akan tetapi, dilain pihak kadar CO dalam ruangan utamanya basemen belum diatur lebih spesifik, padahal, fakta kematian akibat keracunan gas CO sering terjadi (Khairina, 2019; Buters et al., 2007).

Pemanfaatan ruang bawah tanah atau dikenal istilah basemen atau *underground* menjadi bagian penting dalam sistem perencanaan pembangunan kota, pembangunan basemen menjadi solusi efektif untuk mengatasi masalah mendesak, seperti kekurangan lahan karena

pertumbuhan penduduk yang cepat, meningkatnya urbanisasi, dan dampak lingkungan dari lalu lintas perkotaan (Nang et al., 2019).

Kondisi ruang parkir di lantai basemen merupakan pintu masuk utama dan menjadi jalur kendaraan yang melintas, memiliki bukaan udara yang sedikit sehingga mengakibatkan gerakan udara terbatas meskipun telah terjadi turbulensi dari kendaraan yang bergerak. Hal ini menyebabkan lambatnya karbon monoksida terdispersi ataupun berikatan dengan hidroksil sehingga konsentrasi CO tinggi, di ruang parkir basemen. Pertukaran udara yang kurang tersebut mengakibatkan udara panas, karena hasil dari pembakaran bahan bakar kendaraan tidak dapat berpindah dengan cepat dalam ruangan tertutup (Fitrianiingsih dan Pramadita, 2017).

Standar faktor bahaya di tempat kerja merupakan pedoman pengendalian yang harus diterapkan, sehingga tenaga kerja dapat beraktivitas dan tidak berefek menimbulkan penyakit atau gangguan kesehatan. Batas maksimal jam kerja karyawan setiap hari tidak lebih dari 8 jam atau 40 jam seminggu.

Hal tersebut tertuang dalam peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No.13 Tahun 2011 tentang nilai ambang batas faktor kimia dan fisika di tempat kerja. Selain itu, apabila udara di tempat kerja mengandung lebih dari satu macam zat kimia dan zat-zat tersebut bersifat tidak saling menambah atau berefek sendiri-sendiri, maka nilai ambang batas zat-zat kimia tersebut berlaku nilai ambang batas setiap zat kimia

(Badan Standarisasi Nasional, 2005).

Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 69 Tahun 2010 tentang Baku Mutu dan Kriteria Kerusakan Lingkungan) pada bagian kedua Pasal 29-37 tentang Pengendalian Pencemaran Udara menyatakan bahwa setiap usaha atau kegiatan wajib memiliki AMDAL, serta bertanggung jawab untuk pencegahan kerusakan dan pemulihannya. Apabila hasil pemantauan menunjukkan Indeks Standar Pencemar Udara mencapai nilai lebih, yang berarti udara dalam kategori berbahaya, maka Gubernur Sulawesi Selatan dapat menetapkan dan mengumumkan keadaan darurat pencemaran udara di tingkat provinsi, sedangkan Bupati / Walikota menetapkan dan mengumumkan keadaan darurat pencemaran udara di daerahnya, serta sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan antara lain, melalui media cetak dan / atau media elektronik.

Dalam Pasal 5 PP No. 41 Tahun 1999 tentang Status mutu udara dan Salinan Permen-LH No 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di daerah menyatakan bahwa daerah dapat menetapkan Batas Mutu Udara *Ambient* (BMUA) berdasarkan status mutu udara ambien di daerah yang bersangkutan melalui keputusan Gubernur. BMUA daerah ditetapkan sebagai batas maksimum kualitas udara *ambien* daerah yang diperbolehkan dan berlaku di seluruh wilayah udara di atas batas administrasi daerah atau dapat lebih ketat dari baku mutu udara ambien nasional.

Berdasarkan peraturan daerah Sulawesi Selatan No. 2 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam Pasal 26 tentang pengendalian pencemaran udara menegaskan bahwa pemulihan kualitas udara harus sesuai dengan standar kesehatan manusia dan lingkungan hidup (Gubernur Sulawesi Selatan, 2014).

Adapun berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.48 tahun 2016 tentang Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja di ruang perkantoran, perusahaan harus menjamin sistem manajemen gedung perkantoran secara keseluruhan dalam rangka pengendalian risiko yang berkaitan dengan kegiatan kerja guna terciptanya tempat kerja yang aman, efisien, dan produktif, khususnya pekerja yang berada di ruang basemen..

Beberapa negara sudah menggunakan instrumen hukum dan berhasil menurunkan emisi polutan dari kendaraan secara efektif. Dalam Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 69 Tahun 2010 tentang Baku Mutu dan Kriteria Kerusakan Lingkungan pada bagian ketiga, mengungkapkan bahwa jaminan keselamatan, kesehatan, dan kehidupan masyarakatnya, serta antisipasi isu lingkungan global menjadi kajian strategis dari dampak degradasi kualitas udara, khususnya akibat aktivitas transportasi.

Organisasi ekonomi dan layanan publik melakukan tinjauan regulasi di beberapa negara dan melaporkan bahwa reformasi sebuah peraturan yang akan berdampak pada kualitas layanan perlu dilakukan

dan harus ditunjang oleh standar keselamatan kerja, konsumen, lingkungan, dan sosial yang lebih regional (Schwartz dan Hayward, 2007). Oleh karena itu, diperlukan sebuah kajian mengenai pajanan gas karbon monoksida yang merupakan ruang lingkup kajian penelitian ini, khususnya di ruang basemen yang banyak dijumpai pada gedung-gedung, seperti mall, perkantoran, dan lahan yang dipergunakan sebagai tempat parkir.

Basemen memiliki kelebihan karena dibangun di bawah permukaan tanah dan tanah merupakan material yang menyerap panas yang kecil. Fluktuasi temperatur tanah kecil dan relatif stabil karena tembok basemen yang tetap dingin dan berbeda dengan tembok yang berada di permukaan tanah yang mendapat radiasi sinar matahari yang tinggi, terutama pada siang hari.

Area basemen yang panas sebagian besar berasal dari dalam aktivitas basemen tersebut, dinding basemen rawan terjadi kondensasi akibat turunnya suhu dan tingginya kelembaban udara sehingga beberapa parkiran basemen harus memasang *exhaust van* untuk mengurangi efek tersebut (Faramarzi et al., 2021).

Salah satu solusi strategi pengelolaan untuk mengurangi potensi risiko gangguan kesehatan secara kuantitatif adalah dengan melakukan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL), dengan beberapa tahapan antara lain, indentifikasi bahaya, analisis dosis respon, analisis pemajanan dan karakteristik risiko (Kolluru, 1996; enHealth, 2017; Dirjen P2PL

Kementrian Kesehatan RI, 2012).

ARKL dalam ADKL Menurut Kepmenkes No 876 tahun 2001 lampiran 1 dalam konteks rencana usaha dan kegiatan berada pada langkah keempat yang diawali kegiatan penapisan, pelingkupan, penyajian rona lingkungan awal, dan analisis risiko. Selanjutnya, ke tahapan pengelolaan risiko, implementasi, dan pengambilan keputusan rencana pemantauan, serta rencana pengelolaan (Arina et al., 2019).

Pada tahapan identifikasi bahaya dilakukan identifikasi untuk menemukan efek kritis pajanan sebuah agen risiko yang merugikan kesehatan, selanjutnya dilakukan analisis dosis-respon berupa kegiatan untuk mengetahui jalur pajanan inhalasi dari karbon monoksida dengan mengetahui nilai dari R_{fc} (*reference concentration*), kemudian ketahapan analisis pajanan untuk melihat intake asupan inhalasi dilanjutkan dengan karakterisasi risiko sehingga dapat diperkirakan tingkat risiko pada kategori aman atau tidak aman, yang disingkat dengan nilai RQ (*risk Quotion*) dan dari hasil tersebut dikembangkan perlu tidaknya pengelolaan risiko dan manajemen risiko yang dapat kemudian dikomunikasikan solusi pengendalian risiko (Fitra dan Awaluddin, 2020).

Ruang lingkup dari penilaian risiko kesehatan lingkungan (EHRA) dapat mencakup dampak kesehatan dari polutan dan kontaminan kimiawi di udara, air, tanah dan makanan, sumber radiasi, dari medan elektromagnetik (EMF). Penilaian risiko diperlukan sebagai proses menemukan kasus dengan konsekuensi peningkatan risiko kesehatan

yang signifikan pada populasi manusia sehingga dapat memberikan beberapa alternatif teraman untuk mencapai tujuan dalam pengendalian risiko.

Sejauh ini, dampak kesehatan pajanan gas CO banyak dikaji secara epidemiologis, kajian risiko yang bersifat prediktif belum pernah dilakukan untuk memprediksi dampak kesehatan akibat pajanan gas CO. Dalam penelitian ini, dilakukan metode ARKL untuk proteksi pajanan sepanjang hayat (*lifetime*), serta waktu di lapangan (*realtime*).

Penilaian risiko umumnya dilakukan perkiraan risiko untuk kelompok tertentu atau populasi. Istilah *reseptor* sering digunakan untuk menunjuk orang yang mungkin terkena bahaya lingkungan dan identifikasi lokasi *reseptor* dan jalur di mana populasi mungkin terpapar merupakan bagian integral dari EHRA (enHealth, 2017).

Berdasarkan beberapa fakta di atas, peneliti ingin mengkaji bagaimana analisis risiko kesehatan pajanan gas karbon monoksida dan kadar COHb pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos. Lokasi penelitian Graha pena merupakan gedung perkantoran dan gedung Mtos merupakan salah satu mall yang terbesar di Kota Makassar dengan aktivitas pengunjung dan laju konsumsi kendaraan yang tinggi sehingga secara langsung berefek pada kualitas udara dan penghuni dari pekerja sekitar basemen tersebut.

Konsep penelitian ini adalah upaya mereview kesesuaian untuk mengkaji secara observational dengan menggabungkan metode ARKL

dan konsep pajanan emisi gas karbon monoksida, serta pajanannya pada pekerja dengan melihat biomarker berupa konsentrasi COHb dalam darahnya.

Berdasarkan konsep tersebut peneliti merumuskan masalah penelitian dengan menganalisis risiko kesehatan pajanan gas karbon monoksida dan kadar COHb pada pekerja basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos. Jadi, penting dan perlu ada kajian untuk memperkirakan tingkat risiko agar dilakukan upaya pengelolaan risiko, sehingga dapat menjadi landasan mengomunikasikan risiko, baik dengan pendekatan teknis, sosial ekonomi maupun pendekatan institusional (Dirjen P2PL Kementrian Kesehatan RI, 2012).

B. Rumusan Masalah

Di perkotaan, pencemaran didominasi oleh kendaraan bermotor, dan masalah parkir adalah salah satu masalah yang terjadi. Lokasi parkir banyak ditemukan berada di bawah gedung basemen dan dalam ruangan tertutup. Banyak lokasi, parkir utamanya di basemen yang tidak memperhitungkan kecukupan ventilasi sehingga polutan yang diemisikan oleh kendaraan bermotor tertahan di udara ambien.

Fasilitas parkir yang tidak memadai, lahan yang sempit, dan dijadikan jalan umum atau lahan parkir Insidental, akibatnya area parkir basemen menimbulkan banyak masalah lingkungan, yang akan berdampak pada kesehatan pengguna atau pengunjung. Masalah yang dimaksud, seperti aspek kualitas udara dan lingkungan termal karena

interaksi terbatas pada lingkungan sekitarnya.

Pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor menjadi salah satu pemicu permasalahan kualitas udara di Kota Makassar. Musababnya, laju pertumbuhan kendaraan bermotor tidak sebanding dengan pertumbuhan jalan dan lahan yang hanya 1,28% (Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Selatan, 2015). Selain itu, aktivitas kendaraan di tempat parkir menghasilkan emisi sejumlah zat berbahaya, seperti CO, CO₂, Nox, SO₂, dan VOC yang akan terhirup oleh pekerja yang berada di sekitar basemen (Chow, 1998; Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016).

Pembangunan basemen untuk tempat parkir merupakan solusi yang dimanfaatkan oleh pengelola gedung dalam mengatasi masalah keterbatasan lahan. Udara di dalam basemen merupakan pula udara ambien dan kualitas udaranya ditentukan oleh penghuni atau pengelolaan gedung, seperti penggunaan peralatan ventilasi untuk mengatur suhu dan kelembaban dalam ruangan, dan terkadang mengandalkan ventilasi alami dengan mengatur bagian gedung lebih terbuka.

Kualitas udara *indoor* sangat bervariasi, bahan pencemar pun dapat masuk dengan mudah ke dalam tubuh penghuni sekitarnya. Pada basemen terowongan (*underground*), misalnya yang mempunyai ventilasi yang tidak memadai, tingkat polusi yang berasal dari pembakaran mesin kendaraan bermotor jauh lebih tinggi daripada yang terjadi pada udara ambien. Keadaan seperti ini mengakibatkan petugas di basemen mempunyai potensi besar untuk terpapar gas CO, yang terperangkap

dalam ruangan selama bekerja, karena efek dari gas CO yang dihirup petugas akan masuk ke dalam darah 80–90%.

Adapun permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dapat dijabarkan dalam rumusan sebagai berikut:

1. Bagaimana konsentrasi karbon monoksida di gedung Graha Pena dan gedung MTos?
2. Berapa besar variabel meteorologis dan hubungan jumlah kendaraan dengan konsentrasi CO di basemen gedung Graha Pena dan gedung MTos?
3. Apakah ada hubungan karakteristik individu (umur, jenis kelamin, dan berat badan) dengan kadar konsentrasi COHb dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos?
4. Bagaimana nilai *intake* pajanan CO pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos?
5. Bagaimana hubungan *intake* realtime dengan kadar konsentrasi COHb dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos?
6. Bagaimana menentukan nilai C aman, fE aman dan tE aman pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos?

C. Tujuan Penelitian

Setiap penelitian, mempunyai tujuan dan ada sasaran yang ingin dicapai. Demikian juga halnya dengan penelitian ini tentu mempunyai tujuan-tujuan tertentu. Tujuan-tujuan tersebut dapat dilihat dalam uraian di

bawah ini:

1. Tujuan Umum

Secara umum, tujuan penelitian adalah menganalisis risiko kesehatan akibat pajanan karbon monoksida dan kadar karboxihemoglobin dalam darah pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan Gedung MTos.

2. Tujuan Khusus

Selain tujuan umum, penelitian ini juga mempunyai tujuan khusus.

Secara khusus penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

- a. Menentukan konsentrasi karbon monoksida di basemen gedung Graha Pena dan gedung MTos.
- b. Menentukan variabel meteorologis dan hubungan jumlah kendaraan dengan konsentrasi CO di basemen gedung Graha pena dan gedung MTos.
- c. Menguraikan hubungan karakteristik individu (umur, jenis kelamin, dan berat badan) dengan kadar konsentrasi COHb dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan Gedung MTos.
- d. Menentukan nilai *intake* pajanan CO pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan Gedung Mtos.
- e. Menguraikan hubungan intake realtime pajanan karbon monoksida dengan kadar Karboxihemoglobin dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha pena dan gedung MTos.

- f. Menentukan nilai C aman, fE aman dan tE aman pekerja sekitar basemen di gedung Graha pena dan gedung MTos.

D. Manfaat Penelitian

Setiap penelitian, diharapkan dapat berkontribusi serta memberi manfaat terhadap sesuatu. Manfaat tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pengembangan ilmu

Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan bagaimana memperkirakan potensi risiko akibat pajanan karbon monoksida dan menentukan secara kuantitatif batas aman, pada pekerja di sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos.

Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagaimana dalam uraian berikut:

- a. Memperkirakan potensi risiko pajanan gas karbon monoksida pada pekerja basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos sehingga menambah informasi berupa strategi pengelolaan risiko di gedung layanan publik tersebut, guna meningkatkan fasilitas parkir yang aman buat pekerja.
- b. Membantu meningkatkan pengetahuan dan kewaspadaan pekerja, khususnya petugas parkir, *cleaning service*, teknisi keamanan dan satpam terhadap pengaruh pencemaran udara saat berada di ruangan basemen parkir, sehingga dapat mencegah dan menghindari terjadinya penyebaran

risiko yang lebih luas;

- c. Memberikan masukan bagi pihak terkait mengenai strategi pengelolaan risiko yang dapat diterapkan dalam rangka penyempurnaan upaya pengelolaan kualitas udara khususnya di basemen.
- d. Selain itu, dilakukan pengukuran konsentrasi COHb pekerja sekitar basemen guna sebagai biomarker dan usaha preventif akibat pajanan agen risiko CO terhadap pekerja.

2. Penulis

Penelitian ini memberikan pengetahuan bagi penulis tentang analisis risiko kesehatan pajanan karbon monoksida pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos.

3. Institusi

Selain bermanfaat untuk pengembangan ilmu dan untuk diri penulis, penelitian ini juga bermanfaat untuk menambah jumlah peneliti yang akan memperkuat kapasitas lembaga dalam melakukan penelitian terutama dalam bidang kesehatan lingkungan dan perhatian yang diberikan oleh masyarakat maupun pemerintah setempat yang belum banyak dilakukan, dikarenakan masih kurangnya studi analisis risiko mengenai pajanan gas CO pada pekerja sekitar basemen, yang juga diikuti dengan mengukur kadar COHb dalam darah.

E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian

Ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada pencemar gas karbon monoksida dari aktivitas parkir pada pekerja sekitar basemen di gedung Graha Pena dan gedung MTos.
2. Titik sampel pengambilan udara ambien gas CO di sekitar basemen diambil 3 titik yang dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari. Pengukuran kadar karbon monoksida dilakukan dengan menggunakan alat impringer.
3. Pada tahapan identifikasi bahaya dalam *risk assessment* menurut paradigma *risk analysis*, dilakukan identifikasi agen risiko CO, dan untuk profil toksikologi dapat dilihat pada link <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/> yang memuat tentang informasi toksikologi dari karbon monoksida serta interpretasi yang komprehensif dari bahan kimia tersebut guna identifikasi bahayanya (George, 1999).
4. Selanjutnya, tahapan Perhitungan nilai reference concentration (RfC) dari konsentrasi karbon monoksida jalur inhalasi berdasarkan Peraturan pemerintah No 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan pengendalian pencemaran udara dan lingkungan hidup, Karena tidak ditemukan nilai Rfc yang terdapat pada link https://iris.epa.gov/AtoZ/?list_type=alpha, (EPA, 2010).

5. Metode analisis risiko kesehatan lingkungan dimaksudkan untuk menghitung atau menaksir risiko yang telah, sedang, dan akan terjadi. Besaran risiko dinyatakan sebagai RQ untuk nonkarsinogenik dan ECR untuk karsinogenik (Fitra dan Awaluddin, 2020).
6. Periode pengukuran jumlah kendaraan berdasarkan data dari jumlah kendaraan yang ada pada saat penelitian berlangsung.
7. Pengambilan data primer untuk variabel meteorologis seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin dalam kedua parkir basemen diukur dengan hygrometer, sedangkan suhu ruangan diukur dengan menggunakan termometer. Titik pengukuran suhu dan kelembaban udara mengambil titik yang sama dengan titik pengukuran CO.
8. Pengambilan data primer melalui kuesioner terhadap keluhan kesehatan, karakteristik pekerja seperti pola waktu kontak, profil pekerja dan aktivitasnya, dan data antropometrik terkait berat badan pekerja, seperti juru parkir basemen, teknisi keamanan, satpam, serta *Cleaning service* yang bertugas.
9. Pengambilan data secara langsung dilakukan oleh peneliti terkait karakteristik responden berupa berat badan dan waktu kontak yang terdiri atas lama kerja (dT), Frekuensi kerja pertahun (fE) dan waktu pajanan sehari (tE), sedangkan nilai /laju inhalasi (R) berdasarkan angka default orang dewasa adalah 0.83, yang

diperoleh dengan tingkat inhalasi 20 m^3 dalam 24 jam, dimana menurut EPA 2011 dalam *Exposure Factors Handbook*, diasumsikan orang dewasa menggunakan waktu dalam sehari adalah 14 jam istirahat dan 10 jam beraktifitas (Wang et al., 2015).

10. Pengambilan sampel darah dari juru parkir, teknisi keamanan, satpam, *cleaning service* yang diambil untuk diukur kadar karboxihemoglobin dalam darahnya dan dianalisis di laboratorium, dan pengukuran kadar COHb menggunakan spektrofotometer UV visible.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan tentang Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bahwa pencemaran udara ialah masuknya atau dimasukkan zat, energi dari komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Selain itu, pencemaran udara adalah adanya zat di atmosfer yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya yang menyebabkan kerusakan iklim atau material.

Pencemaran udara pada wilayah perkotaan, sebagian besar disebabkan oleh pembakaran, sumber energi yang kekuatan emisinya sangat bergantung pada intensitas aktivitas antropogenik. Emisi pencemar umumnya dihasilkan oleh berbagai aktivitas kehidupan manusia yang jauh lebih besar daripada emisi pencemar dari sumber alami, karena sumber pencemar alami hanya memberikan kontribusi terhadap konsentrasi di daerah perkotaan dan tidak memberikan dampak yang signifikan (Burns et al., 2019).

Polusi udara merupakan faktor risiko yang signifikan untuk sejumlah penyakit terkait polusi, termasuk infeksi pernapasan, penyakit jantung, stroke, dan kanker paru-paru. Dampaknya sangat luas, yang

pada prinsipnya memengaruhi sistem pernapasan dan sistem kardiovaskular (Wikipedia, 2020).

Polutan dapat menyebabkan kematian dan morbiditas atau dapat menimbulkan potensi bahaya bagi kesehatan manusia, risiko kesehatan manusia ditentukan dari studi klinis , epidomologis. Peristiwa polusi udara sporadic , seperti kabut London pada tahun 1952, dan sejumlah studi epidemiologis telah menjadi bukti efek dari polusi udara .

Polusi udara berkontribusi pada peningkatan angka kematian dan perawatan. Efek polusi udara termasuk mual, kesulitan bernafas, iritasi kulit, masalah kardiovaskuler, cacat lahir, berkurangnya aktivitas system kekebalan tubuh, kanker dan efek lainnya (Chuang et al., 2007).

Bahan pencemar yang terdapat di dalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida, senyawa hidrokarbon, oksida nitrogen (NOx) dan sulfur (SOx), dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). Bahan bakar tertentu, seperti hidrokarbon dan timbal organik dilepaskan ke udara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar sehingga gas buang kendaraan bermotor tersebut dapat membahayakan kesehatan maupun lingkungan (Ancona et al., 2019).

Bahan pencemar udara dapat pula berupa jelaga (*soot*) dan debu halus yang dapat menghalangi radiasi matahari. Sinar infra merah dapat diabsorpsi oleh partikel-partikel sehingga terjadi efek pemanasan akibat radiasi matahari menjadi menurun (Ancona et al., 2019; Kaushal dan Tyagi, 2012).

Volume Udara terdiri atas Oksigen (O₂) 21%, Nitrogen (N₂) 78%, dan sisanya 1% terdiri atas berbagai macam gas, seperti Argon (Ar) 0,94% dan karbon Dioksida (CO₂). Kedua gas tersebut bermanfaat bagi kelangsungan makhluk hidup.

Adapun Kandungan emisi gas buang menurut Syahrani (2006) sebagai berikut:

1. CO₂ (karbon Dioksida) merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. CO₂ didapat dari perpaduan antara bahan bakar dan oksigen yang seimbang sehingga menghasilkan CO₂.
2. CO (karbon Monoksida) adalah gas yang diperoleh karena perbandingan antara bahan bakar dan udara yang tidak seimbang. Terlalu banyak bahan bakar atau unsur C tidak dapat berikatan dengan O₂ sehingga terbentuklah CO karena pembakaran yang tidak sempurna.
3. SO₂ (sulfur Oksida). Bahan bakar gasoline/bensin mengandung unsur belerang (Sulfur). Pada saat terjadi reaksi pada pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfuroksida.
4. NO (nitrogen Oksida), gas ini terjadi akibat adanya panas yang tinggi pada proses pembakaran yang menyebabkan kandungan nitrogen bereaksi dengan udara sehingga berubah menjadi Nox (Syahrani, 2006, hal.4).

Selanjutnya, sumber pencemaran karbon monoksida beserta presentase sumbernya dapat tersaji pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Sumber Pencemaran Karbon Monoksida

Sumber pencemaran	% Bagian	%Total
Transportasi		63,8
- Mobil bensin	59,0	
- Mobil diesel	0,2	
- Pesawat terbang	2,4	
- Kereta api	0,1	
- Kapal laut	0,3	
- Sepeda Motor	1,8	
Pembakaran stasioner		1,9
- Batubara	0,8	
- Minyak	0,1	
- Gas alam	0,0	
- Kayu	1,0	
Proses industry		9,6
Pembuangan limbah padat		7,8
Lain-lain sumber		16,9
- Kebakaran hutan	7,2	
- Pembakaran batubara sisa	1,2	
- Pembakaran limbah pertanian	8,3	
- Pembakaran lain-lainnya	0,2	
	100,00	100,00

Sumber: Wardhana (2004)

Selain itu, indikator yang digunakan dalam melakukan pemantauan kualitas udara ambien dan pengendalian pencemaran udara, baik pencemaran udara dari sarana transportasi, maupun pencemaran udara dari industri adalah menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2. di bawah ini.

Tabel 2.2. Indeks Standar Pencemaran Udara

KATEGORI	RENTANG	PENJELASAN
Baik	0-50 (Hijau)	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan, ataupun nilai estetika.
Sedang	51-100 (Biru)	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia atau hewan, tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika.
Tidak Sehat	101-199 (Kuning)	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan manusia atau kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat Tidak Sehat	200-299 (Merah)	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	≥ 300 (Hitam)	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas zat pencemaran udara, yaitu:

1. Jenis bahan bakar.

Karbon monoksida umumnya stabil dalam kondisi lingkungan. Reaksi dengan oksigen molekuler atau uap air sangat lambat. Karbon monoksida bereaksi dengan atom oksigen triplet keadaan dasar diproduksi oleh fotodegradasi nitrogen di atmosfer

dioksida dan ozon, atau oksigen atom dibentuk oleh fotodioksidasi molekul O_2 dalam stratosfer, untuk membentuk CO_2 .

2. Proses produksi.

Konsentrasi karbon monoksida di udara dapat direpresentasikan dengan menggunakan berbagai satuan konsentrasi. Data pemantauan udara untuk karbon monoksida biasanya dinyatakan atau dilaporkan sebagai bagian per juta volume (ppmv) atau bagian per miliar volume (ppbv). Konsentrasi karbon monoksida luar ruangan rata-rata tahunan sekitar 0,12 ppmv di belahan bumi utara dan sekitar 0,04 ppmv di belahan bumi Selatan (FSIS, 2012).

Secara umum, konsentrasi karbon monoksida menurun berdasarkan ketinggian di belahan bumi utara dan gradien vertikal ini berbeda dengan di belahan bumi selatan. Konsentrasi karbon monoksida rata-rata 24 jam tahunan yang diperoleh di lokasi pemantauan seperti di lokasi pedesaan di Amerika Serikat biasanya sekitar 0,2 ppmv, dibandingkan dengan rata-rata 24 jam tahunan sebesar 1,2 ppmv di bagian wilayah lain negara tersebut.

Tempat kendaraan, misalnya garasi atau lahan parkir gedung layanan publik dapat juga menjadi sumber karbon monoksida yang signifikan ke udara. Kenaikan bersih tingkat karbon monoksida di rumah, misalnya, berkisar dari < 1 hingga 30 ppmv setelah mobil dinyalakan dalam keadaan tertutup.

3. Cuaca

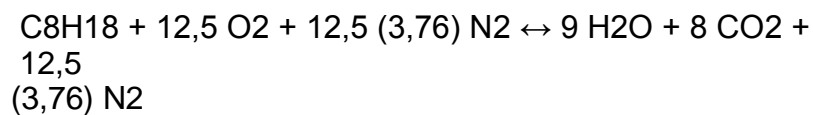
Cuaca dapat memengaruhi kualitas zat pencemar udara, misalnya pada kondisi arah dan kecepatan angin. Arah dan kecepatan angin akan memengaruhi dalam proses pengenceran zat pencemar di udara dan penyebarannya. Semakin besar kecepatan angin, semakin kecil konsentrasi zat pencemar di udara, arah angin menentukan arah penyebaran pencemar, misalnya arah angin yang berasal dari tenggara akan menyebarkan zat pencemar ke arah barat laut.

4. Tumbuhan

Pada siang hari, pepohonan akan menyerap zat pencemar di udara sehingga di udara konsentrasi zat tersebut akan berkurang. Hal ini disebabkan gas karbon dioksida yang terkandung di udara yang tercemar akan diserap oleh daun yang digunakan dalam proses fotosintesis pada siang hari, kemudian, daun akan mengeluarkan oksigen ke udara sebagai hasil dari proses fotosintesis sehingga banyaknya pepohonan akan menyebabkan udara menjadi segar.

Proses terbentuknya emisi gas buang kendaraan bermotor dan buruknya sistem angkutan umum yang meningkat, memberikan kontribusi terhadap nilai gas buang yang dihasilkan. Sumber pencemaran udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia (antropogenik) berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, pada

umumnya memiliki kandungan unsur karbon atau hidrokarbon. Bahan bakar fosil yang umumnya digunakan, yakni oktana yang merupakan bahan bakar dengan senyawa hidrokarbon kompleks. Stoikiometri pembakaran oktana terdapat pada reaksi persamaan (2.1) (Hasibuan, Warsito dan Suciwati, 2015; Hamanaka dan Mutlu, 2018; Aji, Adamu dan Borkoma, 2015).



Hasil yang dikeluarkan oleh pembakaran bahan bakar secara sempurna pada kendaraan bermotor ke atmosfer oleh massa, yaitu gas karbon dioksida dan uap air. Namun, kondisi tersebut jarang terjadi, karena sebagian bahan bakar yang berbasis karbon dioksida menjadi karbon monoksida. Pembentukan CO juga dipengaruhi oleh keberadaan oksigen (O₂) dan temperatur.

Faktor emisi kendaraan bermotor merupakan sejumlah berat tertentu polutan yang dihasilkan oleh jumlah bahan bakar selama kurun waktu tertentu. Hal tersebut dipengaruhi oleh berbagai parameter, diantaranya adalah karakteristik mesin, teknologi kendaraan, karakteristik bahan bakar, usia, dan perawatan, serta penggunaan kendaraan (Kementrian Lingkungan Hidup, 2013).

Konversi jenis kendaraan ke satuan mobil penumpang dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Table 2.3. Konversi Jenis Kendaraan ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

No	Jenis Kendaraan	Ekivalen Kendaraan Penumpang
1	Kendaraan Ringan	1
2	Kendaraan Berat	1
		,
		3
3	Sepeda Motor	0
		,
		2

Sumber: Dirjen Bina Marga

$$Q = n \times FE \times \text{smp}$$

Keterangan:

Q= beban emisi (gram/jam.km)

n= jumlah kendaraan (smp/jam)

FE = faktor emisi (gram/km)

smp = satuan mobil penumpang

Pengetahuan dasar mengenai gas buang dan kandungannya sangat memengaruhi kondisi lingkungan yang lazim disebut dengan pencemaran udara. Senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk menjalankan kendaraan bermotor. Beberapa senyawa yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan adalah berbagai oksida sulfur, oksida nitrogen, oksida karbon, hidrokarbon, logam berat tertentu, dan partikulat (Hasibuan, Warsito dan Suciwati, 2015, hal.142).

Gas buang merupakan polutan yang berasal dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor. Gas buang mengandung

polutan yang berbahaya bagi manusia. Emisi gas buang dapat diukur dengan alat ukur emisi untuk mengetahui berapa kandungan yang terkandung pada gas buang tersebut. Faktor yang menyebabkan kandungan nilai gas buang menjadi tinggi, yaitu jenis kendaraan, bahan bakar yang digunakan dan umur dari kendaraan tersebut.

Pembentukan gas buang tersebut terjadi selama pembakaran bahan bakar fosil bensin dan solar di dalam mesin, jika dibandingkan dengan sumber stasioner, seperti industri dan pusat tenaga listrik. Jenis proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor tidak sesempurna di dalam industri dan menghasilkan bahan pencemar pada kadar yang lebih tinggi, terutama, pada berbagai senyawa organik dan oksida nitrogen, sulfur, dan karbon.

Selain itu, gas buang kendaraan bermotor juga langsung masuk ke dalam lingkungan utamanya yang melakukan kegiatan di sekitar jalan yang padat lalu lintas kendaraan bermotor.

Berdasarkan sifat kimia dan perilakunya di lingkungan, dampak bahan pencemar yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor digolongkan menjadi dua (Park et al., 2014):

1. Bahan-bahan pencemar dapat mengganggu saluran pernafasan. yang termasuk dalam golongan ini adalah oksida sulfur, partikulat, oksida nitrogen, ozon, dan

oksida lainnya.

2. Bahan-bahan pencemar yang menimbulkan pengaruh racun sistemik, seperti hidrokarbon, karbon monoksida dan timbal/timah hitam.

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) telah menetapkan enam kriteria polutan udara di perkotaan. Keenam kriteria polutan tersebut adalah lima polutan primer dan satu polutan sekunder. Lima polutan primer tersebut terdiri atas partikular dengan diameter kurang dari 10 μm (PM10), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), karbon Monoksida (CO) dan Timbal (Pb), sedangkan polutan sekunder, yaitu Ozon (O₃) (The Lancet, 2016).

Faktor emisi yang merupakan data satuan massa polutan perjarak tempuh (g/km) diperlukan untuk mengkonversi data volume transportasi ke dalam bentuk laju emisi. Data faktor emisi dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Data Faktor Emisi Indonesia

Kategori	CO (gr/km)	HC (gr/km)	NOx (gr/km)	PM10 (gr/km)	CO2 (gr/kgBBM)	SO2 (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil Solar	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil Bensin	40	4	2	0,01	3180	0,026
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber: Dewan Nasional Perubahan Iklim (2010)

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya bergantung pada kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu, dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit.

Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar berbeda dalam hal proporsinya utamanya pada cara operasi mesin dan secara visual selalu terlihat asap dari knalpot (Tugaswati, 2012).

Pencemaran udara di perkotaan secara umum, banyak menarik perhatian dalam beberapa dekade belakangan ini. Di beberapa kota besar, gas buang kendaraan bermotor menyebabkan ketidaknyamanan pada orang yang berada di tepi jalan dan juga menyebabkan masalah pencemaran udara. Beberapa studi epidemiologi dapat menyimpulkan adanya hubungan yang erat antara tingkat pencemaran udara perkotaan dengan angka kejadian (prevalensi) penyakit pernapasan. Pengaruh dari pencemaran, khususnya akibat kendaraan bermotor tidak sepenuhnya dapat dibuktikan karena sulit dipahami dan bersifat kumulatif.

Kendaraan bermotor akan mengeluarkan berbagai jenis gas maupun partikulat yang terdiri atas berbagai senyawa anorganik dan organik dengan berat molekul yang besar yang dapat langsung

terhirup melalui hidung dan memengaruhi masyarakat di jalan raya dan sekitarnya.

Menurut (Syahrani, 2006) faktor-faktor yang memengaruhi emisi gas buang antara lain:

1. Kurangnya kesadaran menggunakan transportasi umum;
2. Kurangnya kesadaran pengguna kendaraan terhadap kelestarian lingkungan;
3. Kebijakan kepemilikan kendaraan yang kurang tepat;
4. Perkembangan jumlah pemilik kendaraan yang cepat;
5. Jenis kendaraan;
6. Bahan bakar yang digunakan
7. Kondisi kendaraan;
8. Pola mengemudi; dan
9. Kontur jalan dan struktur jalan yang dilewati.

Standarisasi emisi internasional menetapkan di Eropa dengan satuan (gram/Km). Gas hasil pembakaran tersebut merupakan polutan yang digolongkan menjadi dua, yaitu beracun dan tidak beracun. Beberapa contoh gas beracun adalah hidrokarbon, karbon monoksida, dan oksida nitrogen, sedangkan contoh gas yang tidak beracun adalah nitrogen, karbon dioksida, dan uap air.

Keberadaan gas CO di lingkungan sangat berbahaya bagi kesehatan. Bahkan, dalam konsentrasi rendah. Hal terjadi karena

sifat afinitas gas CO sangat tinggi. Sifat tersebut memengaruhi tubuh makhluk hidup dalam menyerap oksigen.

B. Tinjauan Karbon Monoksida dan Karboxyhemoglobin (COHb)

Karbon monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa yang ada di atmosfer yang bersumber dari aktivitas alami dan antropogenik (buatan manusia). Karbon monoksida adalah polutan utama selama pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa yang tidak sempurna, termasuk mesin pembakaran internal.

Karbon monoksida diproduksi secara tidak langsung dari oksidasi fotokimia metana dan VOC lainnya di atmosfer. Vegetasi dapat mengeluarkan karbon monoksida ke atmosfer sebagai produk sampingan metabolik. Fotooksidasi bahan organik di air permukaan (danau, sungai, sungai, lautan), dan tanah permukaan juga menghasilkan pembentukan karbon monoksida. Aktivitas vulkanik juga merupakan sumber alami karbon monoksida di atmosfer. Karbon monoksida juga diproduksi secara endogen pada manusia selama katabolisme normal hemoglobin (George, 1999).

Karbon monoksida di atmosfer akan menjadi gas CO₂ dan senyawa organik yang mudah menguap dan volatile organic Compound (VOC) merupakan penyebab pemanasan global karena

karbon monoksida paling banyak dihasilkan dari knalpot mobil dan motor di jalan raya (Mukono, 2018).

Menurut de Nevers (1979) gas CO dapat mengganggu fungsi tubuh manusia, dan dalam beberapa konsentrasi dalam darah yang berkaitan dengan hemoglobin. Karbon monoksida yang terdapat pada tubuh manusia merupakan produk normal yang dihasilkan oleh proses katabolisme (pemecahan) dalam tubuh dan mempunyai umur sekitar empat bulan. Kadar normal karbon monoksida dalam darah antara 0,2-1,0% atau rata-rata sekitar 0,5 %. Kadar ini akan meningkat apabila seseorang menderita suatu penyakit. Jika udara mengandung gas CO sebesar 30 ppm, maka besar gas CO dalam darah sekitar 5% dan kondisi ini akan tetap dipertahankan jika frekuensi pernapasan dan kadar gas CO di udara ambien tidak berubah. Apabila kadar COHb dalam darah meningkat, maka kadar HbO₂ atau oksigen dalam darah akan berkurang.

Hal tersebut menyebabkan timbulnya kelainan yang diderita tubuh, seperti timbulnya gejala keracunan gas CO. Pada keadaan kadar gas CO dalam darah meningkat sampai 5%, seseorang akan mengalami gejala berupa gangguan penglihatan, pusing, telinga berdengung, mual, muntah, detak jantung meningkat, rasa tertekan di dada, kesukaran bernapas, kelemahan otot-otot, tidak sadar, dan bisa meninggal dunia (de Nevers, 1979).

Fungsi faal dari organ tubuh seperti, paru-paru dan pembuluh darah. Bahkan, udara tersebut dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Pencemaran udara akibat pajanan partikel dan debu menyebabkan penyakit pernapasan kronis seperti, *bronchitis* kronis, *emfiesma* paru, asma *bronchial* dan kanker paru. Selain itu, bahan pencemar gas yang terlarut dalam udara dapat langsung masuk ke dalam tubuh sampai ke paru-paru yang akhirnya diserap oleh sistem pembuluh darah (Dewi et al., 2018).

Dampak pajanan karbon monoksida pada tubuh terdapat pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5. Dampak Pajanan gas Karbon Monoksida Terhadap Tubuh

Kadar CO	Waktu Kontak	Dampak Bagi Tubuh
≤ 100 ppm	Sebentar	dianggap aman
± 30 ppm	8 jam	pusing dan mual
± 1000 ppm	1 jam	pusing dan kulit berubah kemerah-merahan
± 1300 ppm	1 jam	kulit jadi merah tua dan rasa pusing yang hebat
> 1300 ppm	1 jam	lebih hebat sampai kematian

Sumber: Wardhana (2004)

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor

Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja, CO memiliki Nilai Ambang Batas (NAB) sebesar 25 ppm. Menurut WHO (1999), batas paparan CO pada manusia yaitu 80 ppm untuk 15 menit, 48 ppm untuk 30 menit, 24 ppm untuk 1 jam, dan 8 ppm untuk 8 jam.

CO masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses inhalasi. Selanjutnya, CO akan masuk ke dalam alveoli dan menyebar ke dalam peredaran darah. Gas CO bergerak dari alveoli yang memiliki tekanan lebih tinggi ke dalam pembuluh darah yang memiliki tekanan lebih rendah daripada alveoli. CO lebih mudah mengikat hemoglobin daripada O₂ dengan nilai tingkat afinitas sebesar 245 kali. Hal tersebut menyebabkan terhambatnya pengikatan hemoglobin dengan oksigen. CO yang telah mengikat hemoglobin akan membentuk karboksihemoglobin (COHb) (Veronesi et al., 2017). Kadar COHb darah dapat mencapai pada konsentrasi equilibrium yang akan dipertahankan selama kadar CO udara tidak meningkat.

Namun, dengan meningkatnya kadar CO mengakibatkan meningkatnya kadar COHb dalam darah. Konsentrasi equilibrium akan meningkat menjadi 5% apabila terdapat paparan CO sebesar 30 ppm. Menurut Tottora (2006) kadar gas CO dengan kenaikan sebesar 50-100 ppm, mengakibatkan kadar COHb darah juga akan meningkat sebesar 5-10%. Sebaliknya, ketika kadar CO udara meningkat hingga 650 ppm, maka kadar COHb darah turut meningkat hingga 50% (Khairina, 2019).

Pajanan gas CO dengan jumlah yang tinggi dengan waktu paparan menahun, dapat mengakibatkan meningkatnya kadar COHb darah, yang akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan. Gangguan kesehatan yang dimaksud, seperti gangguan pada sistem kardiovaskuler, gangguan sistem neurologis, serta gangguan pada janin dalam kandungan. Selain itu, juga dapat mengakibatkan pingsan, koma, hingga kematian. Selain dapat mengakibatkan hypoxia dan gangguan kesehatan yang telah disebutkan, kadar COHb yang tinggi dalam darah juga dapat memengaruhi tekanan darah manusia. Kurangnya asupan oksigen ke dalam sel tubuh akan mengakibatkan pembuluh darah menyempit. Pada keadaan pembuluh darah yang menyempit dapat mengakibatkan tekanan darah meningkat.

Karbon monoksida pada konsentrasi rendah dapat menimbulkan gangguan *neurobehavioral*, yakni saraf pusat atau otak sehingga mengganggu gerakan dan perubahan perilaku sesaat. Selain itu, juga dapat mengakibatkan kerusakan jantung. Pada ibu hamil dari bahaya yang ditimbulkannya, seperti halnya ibu mengandung terpapar asap rokok (Pamungkas, Sulistyani dan Rahardjo, 2017).

Estimasi dosis pajanan polutan sangat tergantung kepada tinggi rendahnya pencemar yang dikaitkan dengan kondisi lalu lintas pada saat tertentu. Pengaruh yang merugikan mulai dari

meningkatnya kematian akibat adanya smog sampai pada gangguan estetika dan kenyamanan. Gangguan kesehatan lain diantara kedua pengaruh yang ekstrim ini, misalnya kanker pada paru-paru atau organ tubuh lainnya.

Penyakit pada saluran tenggorokan yang bersifat akut maupun kronis diakibatkan karena pengaruh bahan pencemar terhadap organ lain, seperti paru dan sistem syaraf. Setiap individu akan terpajan oleh banyak senyawa secara bersamaan, sering kali sangat sulit untuk menentukan senyawa mana atau kombinasi senyawa yang mana yang paling berperan memberikan pengaruh membahayakan terhadap kesehatan.

Dampak dari pencemaran gas CO, yaitu gas CO sangat reaktif terhadap Hb dalam darah dengan afinitas 250 kali lebih besar jika dibandingkan dengan afinitas terhadap oksigen. CO dan Hb akan membentuk senyawa COHb yang sangat stabil dalam darah. Tubuh akan menderita kekurangan oksigen karena Hb darah tidak lagi dapat berfungsi menyerap dan membawa oksigen (GBD 2017 DALYs and HALE Collaborators, 2018).

Efek dari karbon monoksida pada konsentrasi rendah dapat menyebabkan mudah lelah pada orang sehat dan nyeri dada pada penderita penyakit jantung. Bahkan, CO dapat berakibat fatal pada konsentrasi yang sangat tinggi di mana efek akut terjadi karena adanya pembentukan karboksil hemoglobin dalam darah sehingga

menghambat asupan oksigen, sedangkan pada konsentrasi sedang, dapat terjadi angina, gangguan penglihatan, dan penurunan fungsi otak (EPA, 2012).

C. Tinjauan tentang Ruang Bawah Tanah (*Underground/ Basemen*)

Menurut Undang-Undang RI No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, ruang adalah wadah yang meliputi ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai satu kesatuan wilayah, tempat manusia dan makhluk hidup yang lain, melakukan kegiatan, dan memelihara kelangsungan hidupnya.

Dengan perkembangan teknologi, untuk mendirikan sebuah bangunan tidak hanya terbatas pada penggunaan tanah secara 2 (dua) dimensi (*on the ground*), tetapi juga secara 3 (tiga) dimensi (*above and underground*) dan tidak hanya memanfaatkan bidang/permukaan bumi, tetapi juga ke atas (ruang udara di atas permukaan bumi), serta ke dalam tubuh bumi.

Perkembangan teknologi pembangunan, menyebabkan perubahan cara pandang dan teknik dalam membangun. Awalnya, sebuah bangunan yang akan didirikan hanya menyentuh atau berada pada permukaan tanah, menjadi bisa saja berada di dalam perut bumi (memanfaatkan ruang bawah tanah), atau bahkan melayang di atas bumi (berdiri di atas tiang-tiang atau tonggak-tonggak).

Kini, pemanfaatan selain pada permukaan bumi juga telah banyak dibangun bangunan bawah tanah dan gedung melayang, seperti jembatan penyebrangan multi guna dan pemanfaatan ruang bawah tanah sebagai basemen dengan berbagai macam fungsi penggunaan (Putri, 2012).

Pemanfaatan ruang bawah tanah pada umumnya digunakan sebagai penunjang bangunan di atas atau di bawah permukaan tanah. Ruang bawah tanah tersebut dimanfaatkan sebagai alternatif dari pengembangan pembangunan permukaan ke atas menjadi ke bawah tanah berdasarkan pertimbangan strategis, teknis, dan ekonomis sebagai akibat keterbatasan lahan di atas permukaan tanah (Abdulrahman, 2004).

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality*) mengacu pada kualitas udara di dalam dan di sekitar ruangan, terutama yang berkaitan dengan kesehatan dan kenyamanan penghuni ruangan (Nagpure, Gurjar dan Martel, 2014). Kualitas udara merupakan suatu faktor penting yang memengaruhi kesehatan manusia. Kualitas udara dalam suatu ruangan dipengaruhi oleh beberapa faktor tertentu, seperti parameter fisik, paparan bahan kimia, serta kontaminasi biologis. Selain itu, kualitas udara dalam ruangan juga dipengaruhi oleh udara yang berasal dari luar ruangan yang masuk ke dalam ruangan melalui ventilasi udara.

Informasi mengenai polusi udara dalam ruangan diperlukan

untuk menghindari pajanan atau mengurangi efeknya terhadap kesehatan manusia sehingga kualitas lingkungan harus dapat di monitoring guna meningkatkan kualitas udara ruangan (Anderson, 2017).

Menurut WHO, polusi udara dalam ruangan bertanggung jawab atas hampir 2 juta kematian, dan 4% dari beban penyakit global. Polusi udara indoor terbukti meningkatkan risiko penyakit obstruksi kronis dan infeksi pernapasan akut, serta ada hubungan dengan berat badan lahir rendah, peningkatan mortalitas bayi, TBC paru, katarak dan kanker.

Sistem tata udara merupakan keseluruhan sistem yang mengkondisikan udara di dalam gedung dengan mengatur besaran termal, seperti temperatur dan kelembaban relatif dan kenyamanan, serta kebersihannya sehingga diperoleh kondisi ruangan yang nyaman.

Pedoman penyehatan udara telah memberi acuan untuk persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah, faktor risiko yang dapat terjadi dan upaya penyehatan udara dalam ruang, serta tata laksana pengawasan kualitas udara yang akan berdampak terhadap kesehatan. Hal tersebut harus sesuai dan jika tidak sesuai dapat terjadi gangguan kesehatan secara langsung dan tidak langsung.

Gangguan kesehatan secara langsung dapat terjadi setelah terpajan. Gangguan tersebut, antara lain iritasi mata, iritasi hidung, dan tenggorokan, serta sakit kepala, mual dan nyeri otot (*myalgia*), termasuk asma, hipersensitivitas pneumonia, flu dan penyakit- penyakit virus lainnya, sedangkan gangguan kesehatan secara tidak langsung dampaknya dapat terjadi beberapa tahun kemudian setelah terpajan. Gangguan kesehatan secara tidak langsung, antara lain penyakit paru, jantung, dan kanker, yang sulit diobati dan berakibat fatal (Fajri, 2018).

Polusi udara dalam ruangan mengacu pada kontaminasi polutan kimiawi, biologis, dan fisik yang terjadi dalam ruangan. Di negara berkembang, sumber utama polusi udara dalam ruangan adalah asap, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, karbon monoksida (Aini, 2007).

Polusi udara dalam ruangan dapat berasal dari berbagai sumber. Berikut ini tabel yang berisi daftar bahan penyebab polusi udara dalam ruangan dan sumber bahan.

Tabel 2.6 Zat Kimia Penyebab Polusi Udara, Sumber dan Dampaknya bagi Kesehatan

No	Polutan	Sumber	Dampak Bagi Kesehatan
1	Karbon Monoksida (CO)	Peralatan, pemanas, minyak tanah, perapian, oven, pemanggang arang, asap tembakau dan polutan dari sumber transportasi	Sakit kepala, kantuk, permasalahan sistem respirasi dan sensori. Gejala yang timbul sering dianggap flu. Dosis tinggi menyebabkan kematian
2	Radon	Bebatuan di bawah bangunan, air tanah	Tidak menimbulkan gejala dalam waktu singkat, namun dapat menyebabkan kanker
3	Nitrogen Dioksida	Sumber sama dengan karbonmonoksida	Kerusakan sistem resprasi dan paru-paru
4	Sulfur Dioksida	Sumber sama dengan karbon monoksida	Iritasi mata dan hidung

Sumber: Škarek et al. (2007)

Penyebaran polutan udara di atmosfer dan dalam ruangan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Cepeda et al. (2017), penyebaran polutan di atmosfer melibatkan tiga mekanisme utama, yaitu gerakan udara secara global, fluktuasi kecepatan udara, (turbulensi) yang akan menyebarkan polutan ke seluruh arah, dan difusi massa akibat perbedaan konsentrasi. Sementara itu, penyebaran cemaran dari suatu sumber emisi selain dipengaruhi oleh karakteristik sumber emisi, juga dipengaruhi oleh karakteristik

meteorologi dan topografi setempat (Škarek et al., 2007; Cepeda et al., 2017). Hal tersebut dapat dilihat penjabarannya, berikut ini.

1. Faktor Meteorologi

Faktor meteorologi memiliki peran penting dalam menentukan kualitas udara di suatu wilayah. Sistem pencemaran udara, yaitu banyaknya zat pencemar yang diemisikan oleh sumber yang masuk ke dalam atmosfer sebagai medium penerima. Atmosfer merupakan suatu medium yang sangat dinamis dan atmosfer ditandai dengan kemampuannya dalam penyebaran, pengenceran, difusi dan transportasi fisik-kimia dalam proses, serta mekanisme kinetika atmosferik.

1.1. Kecepatan Angin

Penyebaran polutan di udara sangat dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin. Masalah pencemaran udara berkaitan erat dengan faktor meteorologi, terutama dalam hal perpindahan polutan dari sumber ke penerima. Kecepatan dan arah angin menunjukkan daerah yang paling tercemar oleh polutan.

Angin merupakan udara yang bergerak sebagai akibat perbedaan tekanan udara antara daerah yang satu dengan daerah lainnya. Perbedaan pemanasan udara menyebabkan naiknya *gradient* tekanan horizontal sehingga terjadi gerakan udara horizontal di atmosfer. Pada sebuah daerah, efek

sirkulasi angin terjadi setiap jam, setiap hari, dan dengan arah dan kecepatan yang berbeda-beda. Distribusi frekuensi dari arah angin menunjukkan daerah mana yang paling tercemar oleh polutan. Salah satu hal penting dalam meramalkan penyebaran zat pencemar adalah mengetahui arah dan penyebaran zat pencemar.

Pada siang hari, turbulensi dan pergerakan vertikal sangat besar akibat pengaruh dari sinar matahari sehingga menyebabkan variasi kecepatan angin akan kecil karena adanya transfer energi yang besar antara berbagai lapisan atmosfer. Pada malam hari, pergerakan angin vertikal sangat rendah sehingga terjadi hal yang sebaliknya (Briggs, 2005).

Konsentrasi pencemar di udara bergantung kepada kondisi cuaca, Kecepatan dan arah angin berhembus, distribusi suhu vertikal, dan kelembaban adalah unsur-unsur yang berperan dalam perubahan cuaca. Kecepatan angin memengaruhi distribusi pencemar. Konsentrasi pencemar akan berkurang jika angin kencang membagikan pencemar ini secara mendatar atau tegak lurus.

Permukaan daratan juga memengaruhi kecepatan angin, apakah berbukit-bukit atau berlembah-lembah. Lorong sempit bagi angin dapat meningkatkan kecepatan hembusan angin. Perubahan suhu juga merupakan faktor pengubah yang

besar. Pergolakan ke atas akan membawa pencemar ke daerah yang suhunya lebih rendah. Pencemar akan menurun konsentrasinya dan kemudian disebarakan (Tahir dan Nahrudin, 2017; Sudarmadi, 2008).

Basemen adalah ruangan yang berada di bawah tanah, jadi sangat dimungkinkan kalau memiliki tingkat kelembaban tinggi. Oleh karena itu, perlu direncanakan sistem sirkulasi udara yang baik dan benar.

Ada 2 jenis sirkulasi udara yang bisa diterapkan pada basemen, yaitu:

1. Sirkulasi udara alami yang tidak memerlukan bantuan alat sirkulasi udara mekanis. Pada sistem ini tidak semua bangunan basemen dibangun di bawah tanah. Namun, ada bagian dari basemen yang berada di atas tanah. Bagian inilah yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk ventilasi,
2. Sirkulasi udara buatan. Jika sirkulasi alami tidak memungkinkan, baik karena kondisi basemen yang tidak bisa dirancang menggunakan penghawaan alami maupun karena keterbatasan lahan, maka cara lain yang bisa dilakukan, yaitu dengan menggunakan sirkulasi udara mekanis, misalnya AC maupun *exhaust fan*.

1.2. Suhu Udara

Perbedaan suhu menyebabkan perbedaan tekanan sehingga dengan sifat angin yang bertiup dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang rendah akan menyebabkan terjadi perubahan temperatur karena perbedaan ketinggian. Hal ini akan memengaruhi pergerakan udara di atmosfer yang akan menentukan kestabilan atmosfer dan terbentuknya lapisan inversi.

Perubahan suhu pada setiap ketinggian mempunyai pengaruh yang besar pada pergerakan zat pencemar udara di atmosfer dan perubahan temperatur ini disebut *lapse rate*. Turbulensi yang terjadi bergantung pada temperatur pada udara ambien. Di atmosfer diharapkan akan terjadi penurunan tekanan sesuai dengan pertambahan tinggi (Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016).

Selanjutnya, ketika sekumpulan udara menjadi lebih dingin dibandingkan udara sekitarnya, maka, udara itu akan kembali ke elevasinya semula. Gerakan ke bawah akan menghasilkan sekumpulan udara yang lebih hangat dan akan kembali ke elevasi semula. Pada kondisi atmosfer seperti ini, gerakan vertikal akan diabaikan oleh proses pendinginan adiabatik atau pemanasan, dan atmosfer akan menjadi stabil (Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016; Salmond et al.,

2016).

Menurut Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno (2016) pembagian keadaan atmosfer terdiri atas:

- a. *Superadiabtic*, keadaan yang menunjukkan bahwa *ambient lapse rate* berada di atas *adiabatic lapse rate* dan atmosfer menjadi tidak stabil.
- b. *Neutral*, keadaan yang mengindikasikan bahwa *lapse rate* akan seimbang.
- c. *Subadiabatic*, keadaan yang mengindikasikan bahwa *ambient lapse rate* berada di bawah *adiabatic lapse rate* dan atmosfer menjadi stabil.
- d. *Isothermal*, keadaan ketika temperatur udara konstan di atmosfer maka *adiabatic lapse rate* menjadi nol dan atmosfer stabil.
- e. *Inversion*, keadaan ketika temperatur udara ambien meningkat sesuai dengan ketinggian maka *lapse rate* menjadi negatif atau keadaan ketika udara hangat menyelimuti udara dingin.

1.3 Kelembaban Udara

Kelembaban relatif dalam atmosfer merupakan unsur yang sangat penting untuk cuaca dalam udara. Tinggi rendahnya kelembaban udara dapat menentukan besar kecilnya kandungan bahan pencemar, baik di

ruang tertutup maupun di ruang terbuka. Akibat adanya pelarut bahan pencemar menyebabkan terjadinya pencemaran. Sementara itu, kelembaban udara juga dipengaruhi oleh bangunan gedung dan pohon penghijauan dan sinar matahari (Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016).

Kelembaban udara umumnya merupakan kelembaban relatif, yaitu perbandingan antara tekanan uap air aktual dengan tekanan uap air pada kondisi jenuh, yang umumnya dinyatakan dengan persen (%). Tekanan uap air adalah tekanan parsial uap air dalam udara bebas di suatu tempat tertentu dengan jumlah tertentu (Huboyo, Istirokhatun dan Sutrisno, 2016).

Stabilitas atmosfer merupakan indikator kapasitas dispersi atmosfer yang menunjukkan kemampuan atmosfer dan aspek-aspek meteorologi dalam menyebarkan, mengencerkan, dan mendifusikan pencemar udara. Keadaan stabilitas dan instabilitas menentukan sejauh mana pencemaran udara terbentuk di suatu wilayah (Limaye et al., 2018).

2. Volume Kendaraan

Volume kendaraan adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dalam suatu ruang tertentu pada

interval waktu tertentu (Wikipedia, 2021). Kendaraan tidak mungkin bergerak terus-menerus, akan ada waktunya kendaraan itu harus berhenti, baik itu bersifat sementara maupun bersifat lama atau biasa yang disebut parkir. Banyak permasalahan lalu lintas ditimbulkan karena perparkiran. Jika dimanfaatkan dengan baik dengan kebijakan-kebijakan tertentu yang direncanakan secara matang, maka perparkiran dapat digunakan sebagai salah satu alat untuk mengelola lalu lintas (Warpani, 2013).

Menurut PP No. 43 Tahun 1993 parkir didefinisikan sebagai kendaraan yang berhenti pada tempat-tempat tertentu, baik yang dinyatakan dengan rambu atau tidak, serta tidak semata-mata untuk kepentingan menaikkan atau menurunkan orang dan atau barang, sedangkan menurut Keputusan Menteri Perhubungan No. 4 Tahun 1994, parkir adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan yang tidak bersifat sementara (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2012).

Jenis parkir ada dua macam, yaitu:

- 1) Parkir di badan jalan (*on street parking*)
- 2) Parkir di luar badan jalan (*off street parking*)

Fasilitas parkir untuk umum adalah berupa gedung parkir atau lahan/kawasan parkir untuk umum yang diusahakan sebagai kegiatan tersendiri. Fasilitas parkir sebagai fasilitas

penunjang adalah tempat yang berupa gedung parkir atau lahan/kawasan parkir yang disesuaikan untuk menunjang kegiatan pada bangunan utama. Hobbs (1995) mendefinisikan karakteristik parkir dalam beberapa hal berikut.

2.1 Akumulasi Parkir.

Akumulasi parkir merupakan jumlah kendaraan yang diparkir di suatu tempat perjalanan. Integrasi dari kurva akumulasi parkir selama periode tertentu menunjukkan beban parkir (jumlah kendaraan parkir), dalam satuan jam kendaraan (*vehicle hours*) per periode tertentu. Berdasarkan hal inilah sehingga dapat dikatakan bahwa akumulasi parkir adalah jumlah kendaraan yang diparkir disuatu area pada waktu tertentu.

Data-data yang diperhitungkan dalam perhitungan akumulasi parkir adalah data banyaknya kendaraan yang diparkir pada periode waktu tertentu dan kendaraan yang meninggalkan ruang parkir dalam periode yang sama. Kendaraan yang menginap tersebut dianggap sebagai beban parkir dan harus dihitung (x). Perbandingan akumulasi rata-rata menunjukkan efisiensi fasilitas yang terpakai.

2.2 Volume Parkir

Volume parkir merupakan jumlah kendaraan yang

termasuk dalam beban parkir (yaitu jumlah kendaraan per periode waktu tertentu dalam per hari). Waktu yang digunakan untuk parkir dihitung dalam menit atau jam untuk menyatakan lama parkir. Perhitungan volume parkir dapat digunakan sebagai petunjuk apakah ruang parkir yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan parkir kendaraan atau tidak. Berdasarkan volume tersebut dapat direncanakan besarnya ruang parkir yang diperlukan apabila diperlukan pembangunan ruang baru.

Volume parkir dalam penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang masuk areal parkir selama waktu pengamatan atau dianggap satu hari dan menggunakan fasilitas parkir. Volume parkir dihitung dengan menjumlahkan kendaraan yang menggunakan areal parkir pada jam pengamatan.

2.3 Pergantian Parkir (*parking turnover*)

Pergantian parkir menunjukkan tingkat penggunaan ruang parkir dan diperoleh dengan membagi volume parkir dengan jumlah ruang parkir untuk periode waktu tertentu.

2.4 Indeks Parkir.

Indeks parkir adalah persentase jumlah parkir yang terjadi dengan jumlah ruang yang tersedia.

2.5 Durasi Parkir

Durasi adalah rata-rata lama waktu yang dihabiskan oleh pemarkir pada ruang parkir. Berdasarkan hasil perhitungan, durasi dapat diketahui rata-rata lama penggunaan ruang parkir oleh pemarkir. Durasi ini mengindikasikan apakah diperlukan suatu pembatasan waktu parkir dan perhitungan durasi parkir di dalam sebuah area yang dibedakan berdasar areal parkir dan kegiatan yang bersangkutan (Zakaria, 2010).

Berdasarkan karakteristik parkir yang terjadi, maka dapat diketahui tingkat kepadatan parkir yang terjadi di kawasan parkir tersebut sehingga apabila terjadi ketidakteraturan dalam parkir, dapat diketahui penyebabnya sehingga perlu diadakan pemecahan menyangkut beberapa karakteristik parkir yang terjadi (Hobbs, 1995).

2.6 Kriteria Tata Letak Parkir

Kriteria tata letak parkir kendaraan dapat dibuat bervariasi, bergantung pada ketersediaan bentuk dan ukuran tempat, serta jumlah dan letak pintu masuk dan keluar. Tata letak area parkir dapat digolongkan menjadi dua, yaitu sebagai berikut (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2012).

1). Tata letak pelataran parkir dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

- a). Pintu masuk dan keluar terpisah dan terletak pada satu ruas jalan.
- (b) Pintu masuk dan keluar terpisah dan tidak terletak pada satu ruas.
- c) Pintu masuk dan keluar menjadi satu dan terletak pada satu ruas jalan.

D. Tinjauan Paparan

Paparan adalah syarat bagi determinan penyakit untuk bisa menyebabkan penyakit atau memulai terjadinya infeksi. Paparan sama dengan keterpaparan, yang merupakan suatu keadaan ketika penjamu atau host berada pada pengaruh ataupun berinteraksi dengan unsur penyebab, baik penyebab primer maupun sekunder, dengan unsur lingkungan yang dapat memengaruhi proses terjadinya penyakit.

Disiplin ilmu paparan merupakan dasar untuk mempelajari kontaminan lingkungan tertentu, yang dapat memengaruhi kesehatan manusia. Untuk memahami zat campuran atau zat apa yang mungkin terpapar oleh seseorang, maka perlu mempelajari distribusi lingkungan, konsentrasi agen, dan kemungkinan paparan. Wild (2005) mengusulkan konsep “*exposome*” untuk membantu peneliti-peneliti sejauh mana paparan lingkungan

memengaruhi kesehatan manusia.

Eksposisi akan menjadi pengukuran dinamis yang mencakup keseluruhan pajanan lingkungan dari konsepsi dan melengkapi studi genom tersebut. Sistem biologi melakukan penekanan penggunaan pengukuran biologis sebagai biomarker untuk memodelkan dan memperkirakan pajanan lingkungan.

Biomarker efektif memcerminkan perubahan fungsional dalam sel sehubungan dengan pajanan. Oleh karena itu, sistem biologi merupakan kerangka kerja dan alat untuk menemukan sebuah biomarker yang terkait dengan pajanan lingkungan yang dapat digunakan untuk penilaian risiko (Daud, 2019).

Pajanan terhadap kontaminan lingkungan ada di mana-mana dan WHO memperkirakan hampir seperempat kematian diseluruh dunia dapat dicegah dan disebabkan oleh pajanan agen berbahaya pada lingkungan, dan kemungkinan bahwa sebagian besar beban penyakit global mungkin terkait dengan pajanan kontaminan lingkungan.

Hubungan antara pajanan lingkungan dengan kesehatan, berdasar studi epidemiologi merupakan penyelidikan yang bersifat inheren yang dibatasi oleh perbedaan antar individu dalam genetika, yang dapat mengatur kerentanan terhadap pajanan lingkungan, Selain itu, mekanisme kontaminan lingkungan tidak sepenuhnya dipahami hanya dari mengukur kelimpahan set kecil transkrip atau

protein (Daud, 2019).

Indeks Pemajanan Biologis merupakan indeks bahan kimia yang ada dalam cairan biologis atau udara setelah terpapar oleh bahan kimia di tempat kerja (Lowry, 1987). Indeks pemajanan Biologik (IPB) merupakan nilai standar yang dijadikan panduan untuk menilai bahaya kesehatan yang potensial dalam praktek higene misalnya di perusahaan. IPB bukan merupakan batas yang pasti antara pemajanan berbahaya dan tidak berbahaya karena keanekaragaman biologik, mungkin saja, pengukuran pada seseorang dapat melampaui IPB tetapi, tidak menimbulkan bahaya kesehatan.

Risiko yang dihadapi pekerja dalam pekerjaan adalah fungsi dari bahaya yang ada dan tingkat keterpaparannya terhadap bahaya tersebut. Indeks pemajanan biologi sangat dipengaruhi oleh akibat kerja dari beberapa hal berikut ini (Buraena, 2015).

1. Status fisiologi dan kesehatan pekerja;

Fisiologi kerja terhadap tubuh manusia adalah fokus pada respon tubuh terhadap kebutuhan metabolisme pada saat kerja dengan mengukur aktivitas dari *cardiovaskular respiratory* dan sistem otot pada saat kerja, dan dengan diketahuinya fisiologi kerja diharapkan mampu meringankan beban kerja seorang pekerja dan meningkatkan produktivitas kerja.

Dalam implementasi bidang keselamatan dan kesehatan di lingkungan kerja, dibutuhkan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang melindungi pekerja dari berbagai macam bahaya, kecelakaan, dan penyakit akibat kerja dengan melaksanakan upaya K3 secara efisien dan efektif.

Sistem manajemen merupakan elemen yang saling berkaitan dan berguna untuk menetapkan kebijakan, serta sasaran untuk dapat mencapai tujuan yang telah ditentukan.

2. Pemajanan di tempat kerja;

Kenaikan emisi CO, terutama disebabkan oleh kendaraan bermotor. Emisi global yang naik seiring pertumbuhan kendaraan. Kenaikan jumlah kendaraan sejak 1940 sampai sekarang terjadi peningkatan yang signifikan, yang telah mengakibatkan kenaikan emisi setiap tahunnya.

Respon dari suatu organisme terhadap pajanan lingkungan bisa bervariasi, hal itu dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas pada saat pemaparan, dan kemampuan mekanisme pertahanan tubuh. Keadaan ini, pada gilirannya, dipengaruhi oleh riwayat pajanan kimia yang memiliki efek yang sama dan respon tergantung pada faktor lingkungan, seperti stress panas dan kekurangan nutrisi (Daud, 2019).

Proporsi kadar gas CO di luar dan di dalam ruangan hampir tidak berbeda dan faktor jarak dari sumber yang turut menentukan perbedaannya (Mukono, 2008).

3. Pemajanan yang terjadi di lingkungan pemukiman/ tempat kerja.
4. Kebiasaan hidup pekerja;
5. Metode pemeriksaan yang dipakai;

Penilaian paparan pekerja, bergantung pada strategi pengambilan sampel yang tepat dan didukung oleh peralatan pengambilan sampel yang benar, serta interpretasi hasil. Oleh karena itu, perlu bantuan profesional dalam pengembangan dan implementasi strategi pengambilan sampel dan interpretasi hasil, misalnya, dari ahli kesehatan kerja yang memenuhi syarat.

Dalam hal penilaian *eksposure*, risiko kesehatan atau penilaian kebutuhan dan efektivitas pengendalian, harus mampu melakukan proses penilaian risiko atau paparan yang sedang dinilai. Pengembangan strategi pengambilan sampel atau saat pengambilan contoh pemilihan dan penggunaan peralatan pengambilan contoh, serta media pengambilan contoh, metode pengambilan sampel, interpretasi data. relevansi dan penerapan analisis statistik data paparan perlu

menjadi perhatian khusus (Ministry of Business Innovation and Employment, 2013).

6. Adanya program jaga mutu laboratorium;

Pengamatan waktu pengambilan sampel untuk setiap penentuan dan tingkat suatu zat, atau produk metabolismenya, akan bervariasi setiap waktu sejak paparan terakhir dan BEI untuk beberapa zat hanya berlaku jika waktu yang direkomendasikan untuk pengumpulan sampel dipatuhi.

Selain itu, adanya asumsi bahwa telah terjadi paparan terus-menerus selama hari kerja dan mengikuti periode sampel potensial atau menyebabkan gangguan kerja /rutinitas. Periode sampel yang paling tepat untuk zat apa pun tergantung pada seberapa cepat zat itu atau metabolit terukurnya dikeluarkan dari tubuh (Ministry of Business Innovation and Employment, 2013).

Indeks Paparan Biologis sebagai indikator bagi paparan, efek, dan kerentanan guna menetapkan nilai referensi dalam pemantauan biologis. Perlu pembatasan untuk mencegah penyakit akibat kerja. Pada perkembangannya, paparan di lingkungan mampu menimbulkan penyakit klinis, yang mana akan terjadi proses toksikokinetik yang memengaruhi dosis internal sampai konsentrasi zat dalam

media biologis dan dosis efektif biologis pada jaringan atau sel target.

Proses biologis, selanjutnya memunculkan efek biologis awal yang sudah berkaitan dengan mekanisme penyakit yang disertai perubahan struktur atau fungsi secara klinis (Morgan, 1997).

Paparan karbon monoksida harus dikontrol pada tingkat Karboxyhemoglobin (COHb) di bawah 3,0 % berdasarkan Indeks Paparan Biologis atau BEI.

Variasi Periode paparan untuk konsentrasi karbon monoksida dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.7: Variasi Periode Paparan untuk Konsentrasi dari Karbon Monoksida

Konsentrasi (ppm)	Periode paparan
200 ppm	15 menit
100 ppm	30 menit
50ppm	60 menit

Tingkat CO tidak boleh melebihi 400ppm (Ministry of Business Innovation and Employment, 2013)

Penerapan nilai referensi pada BEI sudah membatasi dosis internal, dosis efektif biologis, dan dalam beberapa kasus, serta efek biologis awal. Jenis pemantauan tersebut merupakan bagian dari strategi guna mencegah paparan yang mungkin mengarah pada penyakit akibat kerja. Namun, Indeks tersebut tidak sesuai digunakan untuk mengidentifikasi

individu yang rentan atau guna menunjukkan adanya penyakit praklinis atau klinis (Lowry, 1987).

Adapun tujuan pemantauan IPB sebagai berikut (Issa, 2020).

- (1) Mendeteksi dan menentukan penyerapan yang melalui kulit, sistem pencernaan, maupun sistem pernafasan.
- (2) Menilai total pajanan yang masuk dalam tubuh.
- (3) Memperkirakan pajanan yang tidak ternilai sebelumnya.
- (4) Mendeteksi pajanan di luar pekerjaan.
- (5) Menguji efektifitas APD dan pengendalian *engineering*.
- (6) Melakukan pemantauan mengenai cara/praktik kerja.

Pemantauan biologi tidak digunakan dalam menentukan efek kesehatan atau menentukan diagnosis penyakit akibat kerja. Namun, hasil pemantauan biologi ini bisa ditindaklanjuti guna menelusuri kemungkinan adanya penyakit akibat kerja.

Risiko kesehatan yang ada di lingkungan pekerjaan bisa disebabkan oleh paparan biologi, sehingga dalam pengendaliannya dapat dilakukan pendekatan pemantauan biologi dan pemantauan *ambien*. Pemantauan tersebut bisa dinilai dengan cara perbandingan antara hasil perhitungan lapang dengan nilai perkiraan maksimum yang diperbolehkan atau biasa yang dikenal dengan istilah nilai ambang batas (Yulianto, 2017).

Nilai ambang batas bahan kimia dalam ppm atau mg/m³ tercantum adalah konsentrasi rata-rata pajanan bahan kimia tertentu

yang dapat diterima oleh hampir semua pekerja, tanpa mengakibatkan gangguan kesehatan atau penyakit dalam pekerjaan sehari-hari, untuk waktu tidak melebihi 8 jam perhari dan 40 jam perminggu. NAB terdiri atas TWA, STEL dan Ceiling dengan pengertian sebagai berikut (Permenkes, 2016).

- 1) TWA (Time Weighted Average) adalah konsentrasi rata-rata agen risiko dalam waktu di tempat kerja yang dapat diterima oleh hampir semua pekerja tanpa mengakibatkan gangguan kesehatan atau penyakit, dalam pekerjaan sehari-hari untuk waktu tidak melebihi 8 jam perhari dan 40 jam perminggu.
- 2) STEL (Short Term Exposure Limit) adalah konsentrasi agen risiko rata-rata tertinggi dalam waktu 15 menit yang diperkenankan dan tidak boleh terjadi lebih dari 4 kali, dengan periode antar pajanan minimal 60 menit selama pekerja melakukan pekerjaannya dalam 8 jam kerja perhari.
- 3) Ceiling adalah konsentrasi bahan kimia di tempat kerja yang tidak boleh dilampaui selama jam kerja.

Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.8 di bawah ini.

Tabel 2.8 Nilai Ambang Batas Bahan Kimia

No.	Parameter	Nomor CAS	Notasi	NAB TWA		NAB STEL		NAB Ceiling (C)	
				ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
70.	Carbon monoxide	630-08-0	BEI COHb-emia	25					
71.	Carbon tetrabromide	558-13-4	- Liver dam, Eye, URT, Skin Irr	0,1		0,3			
72.	Carbon tetrachloride	56-23-5	A2; Skin; BEI Liver dam	5		10			

Keterangan:

COHb-emia = carboxyhemoglobinemia

Irr = Irritation

URT = Upper respiratory Tract

BEI = Biological exposure indeks

Pemantauan dilakukan dengan mengukur bahan kimia atau metabolik yang membutuhkan media biologi. Media biologi yang bisa dipakai adalah urin, darah, udara pada alveolus, ASI, lemak, air liur, rambut, kuku, gigi, dan plasenta.

Dari berbagai media biologi, yang sering digunakan, yakni urin, darah, dan udara alveolus. Urin biasanya digunakan untuk mengukur bahan kimia anorganik dan organik yang larut air. Darah digunakan untuk mengukur bahan kimia organik dan anorganik yang sulit dilakukan biotransformasi, sedangkan udara dalam alveolus biasanya digunakan untuk mengukur bahan yang mudah menguap (Issa, 2020) dan (Yulianto, 2017).

Pajanan terhadap kontaminan lingkungan ada dimana-mana. WHO memperkirakan bahwa hampir seperempat kematian seluruh dunia dapat dicegah dan disebabkan oleh pajanan agen berbahaya di lingkungan (Codex Alimentarius, 2008). Kemungkinan bahwa sebagian besar beban penyakit global mungkin terkait dengan pajanan kontaminan lingkungan.

Secara tradisional, peneliti yang mempelajari hubungan antara pajanan lingkungan dan kesehatan telah menilai interaksi melalui penggunaan studi epidemiologi atau berfokus pada gen spesifik untuk menilai tanggapan atau respon mereka terhadap lingkungan. Namun, penyelidikan semacam ini, secara inheren dibatasi oleh perbedaan individu dalam genetika yang dapat mengatur kerentanan terhadap pajanan lingkungan. Selain itu, mekanisme tindakan untuk banyak kontaminan lingkungan mungkin tidak sepenuhnya dipahami hanya dari mengukur kelimpahan satu set kecil transkrip atau protein.

Bidang toxicology berusaha memahami efek biologis yang terkait dengan pajanan bahan kimia dan mengukur gangguan terkait dengan dosis, organ, dan rute pajanan. Untuk menilai efek tersebut, toksikologi sangat bergantung pada mekanisme tindakan kimia tertentu, serta data yang dikumpulkan terkait dengan sifat toksik.

Sistem toksikologi menggunakan sistem pendekatan biologis untuk menentukan berbagai efek yang terkait dengan pajanan racun, seringkali melalui penggunaan data genomik, metabolomik, atau proteomik, yang kemudian dapat digunakan dalam model matematis atau perhitungan untuk memprediksi respon biologis. Model semacam ini sangat penting bagi ahli toksikologi karena dapat memberi tahu mekanisme tindakan. Memahami mekanisme tindakan agen tertentu sangat penting, untuk lebih memahami efek fisiologis terkait, serta kisaran perubahan kronis yang merupakan prediktor terhadap toksitas yang mendasarinya atau keadaan penyakit dimasa depan.

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri, nilai indikator pajanan biologi (IPB) adalah nilai acuan yang digunakan untuk mengevaluasi pajanan dan potensi risiko kesehatan pekerja.

Selanjutnya, biomonitoring merupakan cara yang penting untuk pencegahan penyakit karena apabila dikombinasikan dengan usaha penelusuran penyakit, biomonitoring memungkinkan dokter atau petugas kesehatan untuk mengerti lebih baik tentang apa, di mana, dan kapan paparan terjadi. Hal tersebutlah yang dikaitkan dengan faktor-faktor lingkungan, khususnya di lingkungan kerja.

Biomonitoring adalah pengukuran bahan kimia lingkungan

dan metabolitnya dalam tubuh manusia, biasanya melalui analisis darah, urin, rambut, ASI, atau jaringan yang memberikan gambaran tingkat paparan bahan kimia melalui jalur paparan yang berbeda. Dengan demikian, biomonitoring adalah alat penting untuk menilai paparan populasi manusia terhadap bahan kimia, dan dalam kasus bahan kimia berbahaya, memperkirakan potensi risiko kesehatan yang terkait dengan paparan (Ladeira dan Viegas, 2016).

Berdasarkan Kadar COHb dalam darah diprediksi dari model cobum foster-Kane (CFK) dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut ini (FEDRIP, 2009)

Tabel 2.9 : Prediksi tingkat karboxyhemoglobin dalam keadaan stabil

Konsentrasi CO (PPM)	Tingkat COHb dalam keadaan stabil (%)
0.1	0.25
0.5	0.32
1	0.39
2	0.5
5	1
10	1.8
15	2.5
20	3.2
40	6.1
60	8.7
80	11
100	14
200	24
400	38
600	48
800	56
1000	61

Sumber :Kadar COHb darah diprediksi dari model cobum foster-Kane (CFK)faktor konversinya kira-kira 1 (yaitu, 1 mg / m³≈0,87 ppm , 1 ppm≈1,15 mg / m³) (FEDRIP, 2009)

E. Tinjauan tentang Pekerja dan Beban Kerja

Istilah pekerja muncul sebagai pengganti istilah buruh. Pada zaman feodal atau jaman penjajahan Belanda. Awalnya, yang dimaksud dengan buruh adalah orang-orang pekerja kasar seperti kuli, mandor, tukang, dan lain-lain. Dalam Undang-undang No. 13 Tahun 2003 menetapkan bahwa penggunaan istilah pekerja selalu diikuti dengan istilah buruh yang menandakan bahwa Undang-undang ini mengartikan dengan istilah maknanya sama. Dalam Pasal 1 angka 3 Undang-undang No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan, memberikan pengertian, pekerja/buruh adalah setiap orang yang bekerja dengan menerima upah atau imbalan dalam bentuk lain (Kemenperin, 2003).

Ada beberapa faktor yang memengaruhi lingkungan kerja, yaitu faktor fisik, kimia, biologi, psikologis, dan lain-lain. Faktor-faktor tersebut dapat menimbulkan gangguan terhadap suasana kerja dan berpengaruh terhadap kesehatan dan keselamatan pekerja. Lingkungan kerja yang nyaman sangat dibutuhkan oleh pekerja untuk dapat melakukan pekerjaannya secara optimal dan produktif.

Pencegahan dan pengendalian faktor lingkungan fisik, seperti temperatur merupakan satu masalah yang harus ditangani secara serius dan berkesinambungan. Temperatur yang panas di tempat kerja merupakan salah satu sumber yang mengakibatkan tekanan kerja dan menurunnya produktivitas kerja (ACGIH, 2005).

Beban kerja merupakan suatu konsep yang timbul akibat adanya

keterbatasan kapasitas dalam memproses suatu informasi. Apabila dalam menyelesaikan tugas tersebut mempunyai hambatan untuk tercapainya suatu hasil kerja yang diharapkan, berarti telah terjadi suatu kesenjangan antara tingkat kemampuan dan tingkat kapasitas yang dimiliki. Kesenjangan itulah yang menyebabkan timbulnya suatu kegagalan dalam kinerja (*performance failures*).

Beban kerja lebih merujuk kepada, seberapa besar dari kapasitas pekerja yang jumlahnya terbatas, yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas atau pekerjaan (Eggemeier, 1988). Bahkan, beban kerja seseorang sudah ditentukan dalam bentuk standar kerja perusahaan menurut jenis pekerjaannya.

Beban kerja merupakan konsekuensi dari pelaksanaan aktivitas yang diberikan kepada seseorang atau pekerja. Aktivitas ini terdiri atas aktivitas fisik dan mental, beban kerja yang dijumpai selama ini merupakan gabungan (kombinasi) dari keduanya dengan salah satu aktivitas ada yang lebih dominan (Simanjuntak, 2011).

Pada dasarnya, aktivitas manusia dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu kerja fisik (otot) dan kerja mental (otak). Kedua golongan tersebut tidak dapat dipisahkan, tetapi dapat dibedakan pekerjaan dengan dominasi aktivitas fisik dan dominasi aktivitas mental. Aktivitas fisik dan mental menimbulkan konsekuensi, yaitu munculnya beban kerja.

Beban kerja merupakan perbedaan antara kemampuan pekerja dengan tuntutan pekerjaan (Hart dan Sta, 1988). Dengan demikian,

berdasarkan beberapa pengertian tentang beban kerja di atas, maka dapat disimpulkan bahwa beban kerja merupakan sejauh mana kapasitas individu pekerja dibutuhkan dalam menyelesaikan tugas yang diberikan, jumlah pekerjaan yang harus dilakukan sesuai indikasinya, dan waktu/batasan yang dimiliki oleh pekerja dalam menyelesaikan tugasnya.

Faktor-faktor yang memengaruhi beban kerja, ada dua, yaitu beban kerja eksternal dan beban kerja internal (Tarwaka, Solikhul dan Sudiajeng, 2004).

1. Beban kerja faktor eksternal adalah beban kerja yang berasal dari luar tubuh pekerja, seperti:

a. Tugas (*task*)

Tugas yang bersifat fisik, seperti tata ruang tempat kerja, stasiun kerja, sikap kerja, kondisi lingkungan kerja, cara angkut, beban yang diangkat, sedangkan tugas yang bersifat mental meliputi, tanggung jawab, kompleksitas pekerjaan, emosi pekerja dan sebagainya.

b. Organisasi Kerja

Organisasi kerja meliputi lamanya waktu kerja, waktu istirahat, shift kerja, sistem kerja, metode kerja, dan sebagainya.

c. Lingkungan Kerja

Lingkungan kerja dapat memberikan beban tambahan yang meliputi, faktor kerja fisik (suhu, udara, kelembaban udara, intensitas penerangan, intensitas kebisingan dan tekanan udara), lingkungan kerja kimiawi (debu, gas-gas pencemar udara), lingkungan kerja biologis (bakteri, virus, parasit, jamur, serangga) dan lingkungan kerja psikologis (pemilihan dan penempatan tenaga kerja, hubungan antara pekerja dengan pekerja, pekerja dengan atasan, pekerja dengan keluarga, pekerja dengan lingkungan).

2. Beban Kerja faktor internal adalah faktor yang dipengaruhi dari beban kerja eksternal sebagai stressor yang terjadi pada dalam tubuh yang meliputi:
 - a. Faktor somatis (jenis kelamin, usia, ukuran tubuh, status gizi, kondisi kesehatan, dan sebagainya).
 - b. Faktor psikis (motivasi, persepsi, kepercayaan, keinginan, dan kepuasan)

Beban kerja fisik ditimbulkan oleh pekerjaan yang didominasi oleh aktivitas fisik. Kerja fisik akan mengakibatkan beberapa perubahan fungsi pada alat-alat tubuh. Oleh karena itu, beban kerja fisik dapat diukur melalui perubahan fungsi pada alat-alat tubuh. Perubahan tersebut

diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Konsumsi oksigen
2. Denyut jantung
3. Peredaran udara dalam paru-paru
4. Temperatur tubuh
5. Konsentrasi asam laktat dalam darah
6. Tingkat penguapan

Kategori berat, ringannya beban kerja didasarkan pada metabolisme, respirasi, suhu tubuh dan denyut jantung. Berat ringannya beban kerja yang diterima oleh seorang pekerja dapat digunakan untuk menentukan berapa lama seorang pekerja dapat melakukan aktivitas pekerjaannya sesuai dengan kemampuan atau kapasitas kerja. Semakin berat beban kerja maka semakin pendek waktu kerja seseorang untuk bekerja tanpa kelelahan dan gangguan fisiologis yang berarti atau sebaliknya.

Pengukuran beban kerja fisik menurut Åstrand dan Rodahl (1977) bahwa penilaian beban kerja fisik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Penilaian beban kerja secara langsung

Metode pengukuran langsung, yaitu dengan mengukur energi yang dikeluarkan melalui asupan oksigen selama bekerja. Meskipun metode dengan menggunakan asupan oksigen lebih akurat, namun hanya dapat mengukur untuk waktu kerja

yang singkat dan diperlukan peralatan yang cukup mahal.

2. Metode pengukuran tidak langsung adalah dengan menghitung denyut nadi selama kerja. Denyut jantung adalah suatu alat estimasi laju metabolisme yang baik, tetapi tidak efektif dalam keadaan emosi (Bakri, 2017). Salah satu kebutuhan umum dalam pergerakan otot adalah oksigen yang dibawa oleh darah ke otot untuk pembakaran zat dalam menghasilkan energi.

Menteri Tenaga kerja melalui Keputusan No. 51 tahun 1999, menetapkan kategori beban kerja menurut kebutuhan kalori sebagai berikut:

- a. Beban kerja ringan: 100-200 kilo kalori/jam.
- b. Beban Kerja sedang: > 200 – 350 kilo kalori/jam.
- c. Beban Kerja berat: > 350 – 500 kilo kalori/jam

Denyut nadi merupakan respon fisiologis yang dapat dihitung secara praktis pada saat ingin mengetahui beban kerja seseorang. Salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk menghitung denyut nadi adalah dengan menggunakan pulsemeter dan apabila peralatan tersebut tidak tersedia, maka dapat dicatat secara manual menggunakan stopwatch.

Pengukuran berat ringannya beban kerja dengan denyut nadi mendapatkan beberapa keuntungan, seperti mudah, cepat, dan murah. Tidak diperlukan peralatan yang mahal dan hasilnya cukup reliabel,

selain itu, tidak mengganggu proses kerja dan menyakiti orang yang diperiksa. Oleh karena itu, dengan denyut nadi dapat digunakan untuk menghitung indeks beban kerja. Salah satu cara yang sederhana untuk menghitung denyut nadi adalah dengan merasakan denyutan pada arteri radialis pada pergelangan tangan.

Denyut nadi merupakan salah satu variabel fisiologis tubuh, yang menggambarkan tubuh dalam keadaan statis atau dinamis. Oleh karena itu denyut nadi dipakai sebagai salah satu indikator yang dipakai untuk mengetahui berat ringannya beban kerja seseorang. Adapun penentuan klasifikasi beban kerja berdasarkan peningkatan denyut nadi kerja dibandingkan dengan denyut nadi maksimum yang dinyatakan dalam beban cardiovasculer load (CVL).

Beban cardiovasculer load (%CVL) ini dihitung dengan rumus.,
%CVL = Beberapa jenis denyut nadi yaitu sebagai berikut:

1. Denyut nadi istirahat merupakan rerata denyut nadi sebelum pekerjaan dimulai.
2. Denyut nadi kerja merupakan rerata denyut nadi selama bekerja.
3. Nadi kerja merupakan selisih antara denyut nadi istirahat dan denyut nadi kerja. Untuk menentukan CVL diketahui bahwa denyut nadi maksimum adalah 220 /menit (-umur) untuk laki-laki dan 200/menit untuk wanita.

F. Tinjauan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Menurut *Social Risk assessment* (SRA), analisis risiko adalah pemeriksaan secara detail, termasuk diantaranya adalah penilaian risiko, evaluasi risiko, dan alternative pengelolaan risiko yang dilakukan untuk memahami efek yang tidak diinginkan, konsekuensi negative bagi kehidupan manusia, kesehatan maupun lingkungan.

Analisis risiko adalah alat untuk membantu konsep dasar ilmiah dari penyusunan suatu peraturan, yang mencakup penilaian risiko, manajemen risiko dan komunikasi risiko. Masing-masing komponen memiliki tanggung jawab yang unik (FDA, 2002), antara lain:

1. Penilaian risiko memberikan informasi mengenai tingkat dan karakteristik dari risiko yang dikaitkan dengan bahaya (hazard).
2. Manajemen risiko mencakup kegiatan yang dilakukan untuk mengendalikan bahaya tersebut.
3. Komunikasi risiko melibatkan pertukaran informasi dan pendapat mengenai risiko dan faktor risiko yang berhubungan antara penilai risiko, penanganan risiko dan pihak lain yang berkepentingan.

Amanat UU No 36 tahun 2009 bertujuan untuk meningkatkan kesadaran, kemauan, kemampuan hidup sehat bagi setiap orang agar terwujud derajat kesehatan masyarakat dan dapat menjadi investasi pembangunan sumber manusia yang produktif dari segi sosial dan

ekonomi. Hal tersebut diperkuat oleh peraturan pemerintah No. 22 tahun 2021 pasal 199 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dalam sistem manajemen lingkungan melalui tahapan perencanaan, penentuan risiko, dan peluang yang perlu ditangani sebagai upaya dalam ARKL (Peraturan Pemerintah, 2021).

Risiko diartikan sebagai fungsi bahaya dan keterpaparan, tetapi komponen-komponen esensial risikonya belum pasti terjadi, sedangkan analisis risiko lingkungan bagi kesehatan manusia adalah proses analisis sistematis atau kegiatan menilai, mengelola, dan mengomunikasikan risiko untuk kesehatan manusia dari kontaminan lingkungan di mana manusia tinggal (Daud, 2013). Selain itu, risiko kesehatan manusia diasumsikan sebagai gangguan kesehatan seseorang yang disebabkan oleh pemajanan atau serangkaian pemajanan bahaya lingkungan (Mallongi dan Dullah, 2013).

Dengan demikian, analisis risiko kesehatan lingkungan adalah sebuah proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk juga identifikasi terhadap keberadaan faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian, dan karakteristik dari sasaran yang spesifik (FSIS, 2012).

Estimasi efek buruk polutan pada ekosistem adalah komponen penting dari penilaian risiko lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir,

penilaian risiko tidak dapat semata-mata didasarkan pada analisis kimia sampel lingkungan, karena pendekatan ini tidak memberikan indikasi efek buruk kontaminan pada makhluk hidup. Oleh karena itu, pengukuran efek biologis polutan, membantu dan memiliki peran penting dalam penilaian kualitas lingkungan, yang mengarah pada perkiraan ekotoksitas polutan dan lokasi tercemar. Bioindikator merupakan organisme yang dapat digunakan untuk identifikasi dan penentuan kualitatif polutan dan biomonitoring adalah organisme yang dapat digunakan untuk penentuan kuantitatif kontaminan (Chu dan Generoso, 1984).

Analisis risiko kesehatan pada dasarnya sama dengan evaluasi di atas meja (*desk evaluation*). Namun, analisis risiko didasarkan pada data lingkungan dan faktor-faktor pemajanan antropometri yang didapat dari lapangan, bukan dengan asumsi dan simulasi, serta kajian ini membutuhkan data dan informasi tentang jalur pemajanan dan populasi berisiko (Mallongi dan Dullah, 2013).

Awalnya, ARKL digunakan dalam pengendalian radiasi pada tahun 1975 sebagai intensif dalam pengendalian risiko kanker, akibat reaktor nuklir. *Food and Drug administration* Amerika Serikat, banyak mengadopsi konsep HRA sehingga pada tahun 1986 diterbitkan pedoman analisis kanker oleh USEPA, dan kini ARKL banyak digunakan untuk bahaya lingkungan fisik dan biologis lingkungan yang

mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan (Fitra dan Awaluddin, 2020; Miladill, 2021).

Penilaian risiko (*Risk assessment*) digunakan ketika terdapat kasus dengan peningkatan konsistensi risiko, yang dapat memberikan informasi aman, misalnya dalam penilaian perencanaan utama dari sebuah aktivitas yang menimbulkan bahaya, peningkatan arus lalu lintas yang bisa menimbulkan efek cedera, dan polusi udara pada situasi ketika ada permasalahan kesehatan yang berpengaruh pada kepentingan publik, serta penilaian dampak dari pencemaran (enHealth, 2017).

HRA berbeda dengan HIA (Health Impact assessment), HRA dipergunakan untuk menilai dan menaksir risiko bahaya lingkungan kini dan sekarang, sedangkan HIA merupakan bagian dari perencanaan pembangunan. Penggunaan HRA dan HIA berbeda, tetapi prinsipnya sama. Perbedaan utamanya terletak pada pemajannya, HIA pemajanan sesungguhnya belum ada (belum diukur karena kegiatan belum berlangsung, sedangkan HRA pada pemajanan yang sedang atau telah berlangsung).

HIA tumbuh dan berkembang secara lebih spesifik menjadi *environmental health risk assessment* (EHRA) yang diubah menjadi analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL). Di Indonesia, dalam peraturan perundangan ARKL menjadi bagian analisis dampak kesehatan lingkungan (ADKL). ADKL sendiri dibedakan menjadi ADKL

bagian Amdal dan ADKL untuk pencemaran pada umumnya (bukan bagian dari studi Amdal), khusus untuk ADKL dalam Amdal, yang dimaksudkan sebagai kajian aspek kesehatan masyarakat dalam konteks rencana usaha atau kegiatan baru, telah terbit Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan.

Pada tingkat internasional, saat ini ada beberapa model analisis risiko yang dikembangkan oleh Amerika Serikat negara-negara Uni Eropa dan Australia, meskipun secara mendasar proses-proses analisis risiko adalah sama, tetapi ada beberapa istilah yang sedikit berbeda. Model analisis risiko banyak digunakan untuk setiap langkah atau proses dan *International Life Science Institute* mencatat ada 6 model analisis risiko yang masing-masing menggunakan terminologi agak berbeda, yaitu *enHealth EHRA* (Australia), *International Life Science Institute-Risk Science Institute*, *US EPA Ecological Risk Assessment*, *NASNRC Risk Assessment* (AS), *Codex Risk Assessment* (WTO), dan *OIE Import Risk Assessment* (IPCS, 2004). Namun, model-model itu masih tetap sesuai dengan paradigma *risk analysis* yang dikembangkan oleh *National Academic of Science* Amerika Serikat (NRC, 2008).

Proses penilaian risiko harus koheren dan transparan sebagai dasar pengambilan keputusan, menyertakan dokumen yang

komprehensif dan ringkas, serta memuat informasi penilaian risiko dan penilaian kuantitas dari sebuah kegiatan.

Kriteria dalam mengevaluasi metode penilaian risiko sebagai berikut (Covello VT and Merkhofer MW, 1994).

1. Terdapat kebenaran yang logis berdasarkan argumen teoritis dan asumsi metodologis yang valid.
2. Lengkap, sehingga dapat mengatasi semua aspek masalah.
3. Terdapat presisi dan akurat.
4. Akseptabilitas dan rasional serta mampu dipahami oleh semua pihak.
5. Praktis.
6. Efektif dan bersifat general.

Tahapan dalam analisis risiko kesehatan ARKL (*Risk assessment*) menawarkan kerangka sistematis dan ilmiah untuk mendefinisikan, memberi prioritas, mitigasi risiko dalam ranah pengambilan keputusan kesehatan masyarakat dan lingkungan. *Risk assessment* memberikan estimasi risiko bukan memberikan jawaban aman, tetapi memberikan jawaban mengenai risiko yang dapat diterima atau toleransi risiko, serta bentuk pengelolaan risiko.

Harmonisasi analisis risiko dapat dicapai dengan mempersiapkan kerangka untuk membandingkan informasi mengenai

analisis risiko, memahami pengertian dasar standar-standar pemajanan bahan kimia tertentu diberbagai negara, menghemat biaya dengan tukar menukar informasi untuk menghindari duplikasi kerja, menumbuhkan dan mengembangkan ilmu yang lebih terpercaya melalui komunikasi antar organisasi dan pakar *peer review*.

Penilaian risiko kesehatan, HRA, atau penilaian kesehatan adalah alat skrining yang membantu individu mengidentifikasi, memahami risiko kesehatan, dan memantau status kesehatan dari waktu ke waktu. Penilaian risiko kesehatan mencakup kuesioner, penilaian status kesehatan, dan umpan balik yang dipersonalisasi tentang tindakan yang dapat diambil untuk mengurangi risiko, menjaga kesehatan, dan mencegah penyakit.

Penilaian risiko kesehatan biasanya mencakup pertanyaan-pertanyaan di bidang berikut ini (Louvar dan Louvar, 1998; Nukman et al., 2005; ATSDR, 2005).

1. Karakteristik demografis - usia, jenis kelamin.
2. Perilaku gaya hidup, olahraga, kebiasaan makan, penggunaan alkohol dan tembakau.
3. Kesehatan emosional, suasana hati, stres, peristiwa kehidupan.
4. Kesehatan fisik, berat badan, tekanan darah, kadar kolesterol.
5. Kondisi kesehatan saat ini dan sebelumnya.

6. Kesiapan untuk mengubah perilaku untuk meningkatkan kesehatan.

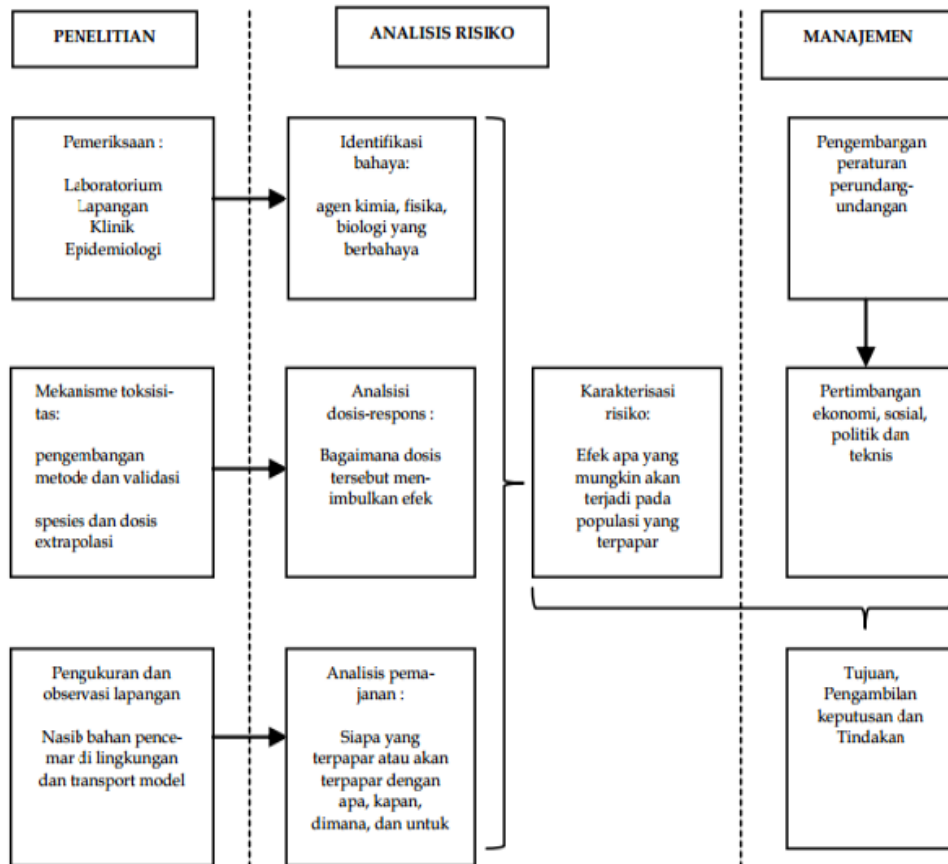
Data agregat penilaian risiko kesehatan digunakan oleh perusahaan-perusahaan dan penyedia layanan kesehatan. Hal tersebut dipergunakan untuk memahami risiko kesehatan suatu populasi, mengukur dampak dari program kesehatan yang dibiayai oleh perusahaan-perusahaan, dan untuk meningkatkan penggunaan sumber daya.

Organisasi yang menyediakan layanan manajemen kesehatan pada suatu populasi, seperti perencana kesehatan yang sering menggunakan hasil penilaian risiko kesehatan untuk mengidentifikasi individu yang mungkin mendapat manfaat dari program manajemen perawatan atau pelatihan kesehatan (PDHI, 2021).

Paradigma *risk analysis* untuk kesehatan masyarakat pertama kali dikemukakan pada tahun 1983 oleh *US National Academic of Science* untuk menilai risiko kanker yang merupakan bahan kimia di dalam makanan. Menurut paradigma ini, *risk analysis* terbagi dalam tiga langkah utama, yaitu penelitian (*research*), analisis risiko (*riskassessment*), dan manajemen risiko (*risk management*).

Selanjutnya, analisis risiko dibagi sebagai identifikasi bahaya (*hazard identification*), analisis dosis-respon (*dose-response assessment*), analisis pemajanan (*exposure assessment*), dan karakterisasi risiko (*risk characterization*).

Adapun pelaksanaan *risk analysis* dapat digambarkan, seperti gambar di bawah ini (Djafri, 2014; Rahman, 2007a).



Gambar 2.1. Paradigma *Risk Analysis* dari (NRC, 1983)

Pada gambar 2.1 dijelaskan bahwa dengan mengacu pada *Risk Assessment and Management Handbook* tahun 1996, analisis risiko mengenal dua istilah, yaitu *risk analysis* dan *risk assessment*. *Risk analysis*, meliputi tiga komponen, yaitu penelitian, assesmen risiko (*risk assessment*) atau ARKL, dan pengelolaan risiko. Proses analisis risiko dapat diilustrasikan sebagai berikut:

1. Penelitian

Penelitian dimaksudkan untuk

membangun hipotesis, mengukur, mengamati, dan merumuskan efek dari suatu bahaya, ataupun agen risiko di lingkungan terhadap tubuh manusia, baik yang dilakukan secara laboratorium, maupun penelitian lapangan. Penelitian dimaksudkan untuk mengetahui efek, respon, dan perubahan pada tubuh manusia terhadap dosis, serta nilai referensi yang aman bagi tubuh dari agen risiko tersebut.

2. Penilaian risiko (*risk assessment*) atau ARKL

Assesmen risiko (*risk assessment*) atau ARKL dilakukan dengan maksud untuk mengidentifikasi bahaya apa saja yang dapat membahayakan. Assesmen risiko digunakan untuk memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh yang diketahui dari berbagai penelitian, mengukur seberapa besar pajanan agen risiko tersebut, dan menetapkan tingkat risiko, serta efeknya pada populasi.

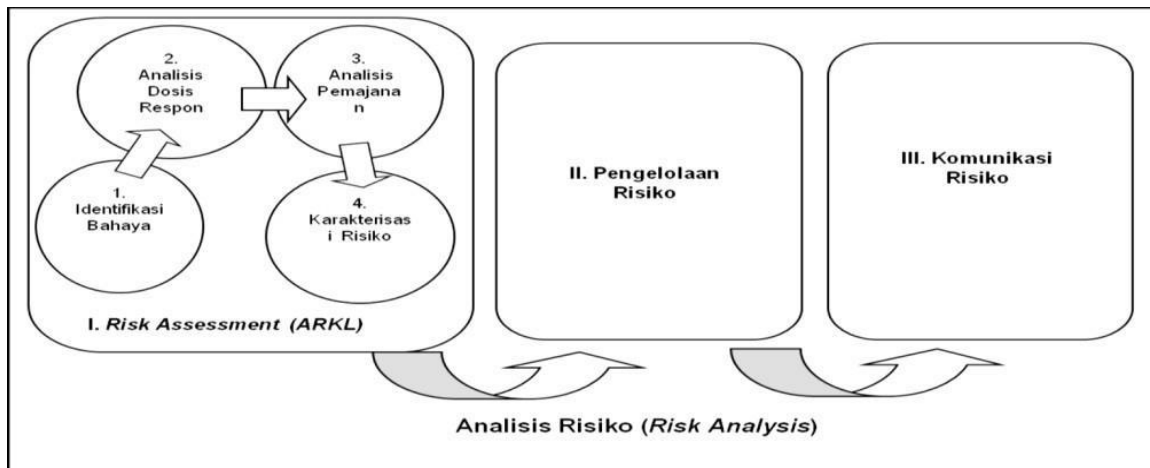
3. Pengelolaan risiko

Pengelolaan risiko dilakukan apabila assesmen risiko menetapkan tingkat risiko suatu agen risiko, tidak aman atau tidak bisa diterima pada suatu populasi tertentu melalui langkah-langkah pengembangan opsi

regulasi, pemberian rekomendasi teknis, sosial-ekonomi – politis, dan bentuk tindak lanjut. Pengelolaan risiko terdiri atas tiga unsur, yaitu evaluasi risiko, pengendalian emisi, dan pemajanan, serta pemantauan risiko.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko kesehatan di lingkungan dengan keluarannya. Penilaian risiko kesehatan merupakan karakteristik tingkat risiko yang menjelaskan suatu agen atau parameter lingkungan dapat berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak, sehingga hasil dari ARKL ini akan dikelola dan dikomunikasikan kepada masyarakat sebagai bentuk tindak lanjut.

Alur penerapan ARKL, seperti bagan dibawah ini:



Gambar 2.2. Alur Penerapan ARKL Sumber (Dirjen P2PL Kementerian Kesehatan RI, 2012)

Prosedur analisis risiko secara umum terdiri atas 4 tahap (Rahman, 2007a) yaitu:

1. Identifikasi bahaya (*Hazard Identification*)
2. Analisis dosis-respon (*Dose Response*)
3. Analisis pemajanan (*Exposure Assessment*)
4. Karakterisasi risiko (*Risk Characterization*)

1. Identifikasi bahaya

Identifikasi bahaya merupakan langkah awal dalam ARKL untuk mengenali risiko, yang merupakan suatu proses untuk menentukan bahan kimia yang berpengaruh terhadap kesehatan manusia, apabila data dari efek kimia terhadap manusia sulit didapat, maka dapat dipakai data dari hasil percobaan binatang (Mukono, 2011).

Langkah dalam ARKL yang digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko apa yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan apabila tubuh terpajan. Selain itu, sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya, dapat ditambahkan gejala-gejala gangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis. Tahapan itu harus menjawab pertanyaan agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan, yang mana agen risiko *existing*, seberapa besar kandungan/ konsentrasi agen risiko di media lingkungan, dan gejala kesehatan apa yang potensial (Dirjen P2PL Kementerian Kesehatan RI, 2012).

Dalam tahapan identifikasi bahaya, berdasarkan

pedoman analisis risiko kesehatan lingkungan oleh enHealt, (2017) mempertimbangkan beberapa hal, antara lain:

1. Apakah ada interaksi antara bahaya yang teridentifikasi dan agen lain di lingkungan?
2. Apakah timbulnya efek kesehatan segera atau tertunda?
3. Apa efek kritis dikaitkan dengan modifikasi bahan kimia atau gangguan epigenetic dan mekanisme hormonal dari efek keterpaparan.
4. Mengidentifikasi apakah ada efek karsinogenik atau potensi genotoksik.

Dalam identifikasi bahaya ini diharapkan juga dapat mengungkapkan apa agen risiko yang berbahaya, di mana keberadaan agen risiko di lingkungan, berapa besar konsentrasinya di media lingkungan, dan gejala apa yang potensial (Kurniawan, 2018).

Berbagai studi dan analisis digunakan untuk mendukung analisis identifikasi bahaya (Arina et al., 2019) antara lain:

- a. Toksikinetik menentukan bagaimana tubuh mengabsorpsi, mendistribusi, memetabolisme, dan mengeliminasi bahan kimiawi tertentu.
- b. Toksodinamik fokus pada efek dari bahan kimiawi terhadap tubuh manusia.

Menurut Box Hill Institute (2012) bahwa dalam mengidentifikasi bahaya ada 4 langkah yang harus dilakukan, yaitu :

1. Identifikasi bahaya dengan menentukan apakah *exposure* merupakan factor penyebab terjadinya risiko atau efek pada makhluk hidup misalnya kanker, cacat lahir, dan apakah efek tersebut dapat terjadi pada manusia. Dalam menentukan keterpaparan berhubungan dengan kejadian penyakit, amaka bahan kimia yang menjadi sumber keterpaparan tersebut dapat menjadi sumber keterpaparan dapat dibuktikan dan terdapat dalam tubuh manusia sehingga bias dikatakan sebagai agen penyebab.
2. Melakukan penilaian atau *assessment* bahaya (*Hazard*)

Dalam tahapan ini, yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi mekanisme bahan kimia berdampak pada manusia.

Mengidentifikasi bahaya maka yang

harus diketahui bagaimana mekanisme bahan berbahaya sehingga dapat diserap, diabsorpsi dan diekskresikan oleh tubuh.

Istilah toksikinetik mempertimbangkan bagaimana badan menyerap, mendistribusikan, memetabolisme dan mengeluarkan bahan kimia dari dalam tubuh, dan toxidynamik memusatkan pada efek bahan kimi berakibat pada tubuh (Box Hill Institute, 2012).

3. Mengendalikan Hazard
4. Evaluasi dan memonitoring bahaya

Evaluasi dan monitoring adalah langkah dimana seluruh instansi yang terkait dengan masalah kesehatan lingkungan, melakukan kegiatan review monitoring terhadap masalah bahaya lingkungan atau hazard.

Tindak lanjut dari evaluasi dan monitoring hazard ini adalah membentuk suatu wadah dimana dijadikan sebagai wadah konsultasi dalam melakukan

penilaian risiko yang berkelanjutan, menunjuk satu staf yang bertanggung jawab untuk melakukan penilaian risiko, memberi pelatihan dan memonitor proses identifikasi bahaya lingkungan (Box Hill Institute, 2012).

Ada 2 komponen dalam mengidentifikasi bahaya yang harus diyakini:

a. Harus ada bukti

Bahaya tersebut harus bisa dibuktikan dan bias diukur baik dilingkungan maupun pada makhluk hidup yang dapat dilihat, dari jenis efek dan keutamaan studi penelitian, yang dimaksud efek disini adalah studi atau penilaian kualitatif yang mendukung terhadap ada atau tidaknya bahan kimia tertentu yang berpotensi memberikan efek *toxic (toxicant systemic)* di dalam tubuh manusia yang bisa digunakan dalam dose-response (penilaian tahap kuantitatif) dalam analisis risiko.

Studi ini bisa berupa studi populasi (penyelidikan epidemiologi) maupun studi yang menggunakan binatang percobaan di laboratorium. Selain jenis efek, keutamaan studi juga harus diperhatikan. Keutamaan studi tentang identifikasi bahaya dapat dilihat dari:

- 1) Studi epidemiologi

Studi populasi atau studi epidemiologi adalah studi yang sering bermanfaat untuk menetapkan kehadiran dari suatu efek bahaya dalam suatu populasi. Ketika ada informasi pada tingkatan exposure dihubungkan dengan suatu kejadian penyakit, maka studi epidemiologi dapat menyediakan basis untuk suatu penilaian kualitatif (dose-response).

Data kuantitatif dari studi

epidemiologi sangat penting yang dapat menyingkirkan keperluan, meramalkan kemungkinan dari binatang ke manusia. Oleh karena itu, studi populasi merupakan suatu studi yang sangat penting dalam identifikasi bahaya.

2). Uji pada Binatang percobaan

Informasi tentang efek bahan kimia pada manusia sangat sedikit, sehingga masalah tersebut harus diukur atau diuji cobakan pada binatang percobaan.

3). Dukungan studi

Studi harus menyediakan informasi berupa data studi pharmacokinetic yang berkenaan dengan metabolisme bahan toxic, yang dapat menyediakan pengertian yang mendalam tentang

bagaimana mekanisme bahan tersebut di dalam tubuh makhluk hidup.

4). Ada Rute keterpaparan

Ada penjelasan tentang bagaimana rute bahan kimia dapat bersifat berbahaya pada makhluk hidup

5). Lamanya keterpaparan

Identifikasi hazard sangat memperhatikan efek bahan kimia yang potensial yang menimbulkan toxicitas dalam manusia dihubungkan dengan lamanya keterpaparan.

Frekuensi dan lamanya keterpaparan sangat penting untuk diperhatikan, Karena ada perbedaan tingkatan efek toxic dari perbedaan frekuensi dan lama keterpaparan.

5). Kualitas studi

Kualitas studi yang baik

memerlukan pertimbangan beberapa faktor yang dihubungkan dengan hipotesis studi, disain, pelaksanaan dan interpretasi. Suatu studi ideal jika menunjuk satu hipotesis yang digambarkan, mengikuti satu panduan yang ditentukan, meliputi analisa yang baik, untuk mendukung kesimpulan yang meyakinkan.

Dalam mengevaluasi kualitas studi, perlu dipertimbangkan telaah, jenis test, perbedaan dan persamaan antara uji untuk metabolisme dan penyerapan kimia, banyaknya sampel studi, cara pengambilan sampel, pilihan tingkatan dosis, jenis metoda dan pengamatan.

B. Weight of Evidence Determinant (Bukti penentu).

Akhir dari identifikasi risiko atau bahaya adalah diskusi tentang bukti penentu atau diskusi menyangkut *weight of Evidence* yaitu meringkas, menyoroti menyangkut informasi menarik dan kesimpulan utama dan studi yang mendukung. Penekanan diberikan kepada hasil dari studi berupa penentuan tingkat untuk suatu gambaran toxicitas akan muncul.

Suatu hubungan masuk akal jika *metabolism mechanism of action* dan efek memiliki keterkaitan (EPA, 1993).

2. Analisis dosis-respon

Analisis dosis-respon merupakan tahapan selanjutnya setelah dilakukan identifikasi bahaya dari agen risiko, dan konsentrasinya pada media lingkungan. Tahapan analisis tersebut bertujuan mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis-respon tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri, namun cukup dengan merujuk pada literatur yang tersedia.

Adapun langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk (Dirjen P2PL Kementerian Kesehatan RI, 2012).

- a. Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- b. Memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh.
- c. Mengetahui dosis referensi (*RfD*) atau konsentrasi referensi (*RfC*) atau *slope factor* (*SF*) dari agen risiko tersebut (Dirjen P2PL Kementerian Kesehatan RI, 2012).

Uraian tentang dosis referensi (*RfD*), konsentrasi referensi (*RfC*), dan *slope factor* (*SF*) sebagai berikut:

- a. Dosis referensi dan konsentrasi yang selanjutnya disebut *RfD* dan *RfC* adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko, sedangkan *SF* (*slope factor*) adalah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik.
- b. Nilai *RfD*, *RfC*, dan *SF* merupakan hasil penelitian (*experimental*) study) dari berbagai sumber baik yang dilakukan langsung pada objek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia.

c. Untuk mengetahui RfC, RfD, dan SF suatu agen risiko dapat dilihat pada integrated risk information system (IRIS) yang bisa diakses di link https://iris.epa.gov/AtoZ/?list_type=alpha.

Analisis dosis-respon merupakan suatu proses untuk menentukan hubungan antara dosis suatu agen dengan tingkat efek yang diakibatkan terhadap kesehatan. Termasuk metode ekstrapolasi data dari binatang ke manusia dan diskripsi hubungan kuantitatif antara derajat pajanan terhadap suatu bahan kimia dengan derajat efek toksik.

Laporan kajian ARKL ataupun dokumen yang menggunakan ARKL merupakan cara/ metode kajian dimana analisis dosis–respon perlu dibahas dan dicantumkan. Analisis dosis–respon dipelajari dari berbagai *toxicological reviews*, jurnal ilmiah, atau artikel terkait lainnya yang merupakan hasil dari penelitian eksperimental dan untuk memudahkan, analisis dosis–respon dapat dipelajari pada situs www.epa.gov/iris.

Ada ratusan bahan kimia atau zat yang telah dimasukkan kedalam daftar IRISH dan sudah ditabulasi, sehingga bisa langsung digunakan (Louvar dan Louvar, 1998).

Menentukan dosis respon suatu *risk* agen sangat sulit, membutuhkan data dan informasi toxicitas yang asli dan lengkap, serta membutuhkan ahli kimia, toksikologi, farmakologi,

biologi, epidemiologi dan spesialis lain yang berhubungan dengan toxicitas dan farmakologi zat. Namun, saat ini RfD, RfC, SF dan UCR zat-zat kimia dalam berbagai spesi, termasuk formulanya, telah ada dalam pangkalan data *Integrated Risk Information System* (IRIS) dari US-EPA yang tersedia, dan pangkalan data TOXNET di <http://www.nlm> yang lebih besar dari IRIS.

3. Analisis pemajanan

Analisis pemajanan merupakan tahapan selanjutnya setelah identifikasi bahaya dan analisis dosis-respon. Analisis tersebut bertujuan untuk mengukur atau menghitung *intake*/ asupan dari agen risiko. Untuk menghitung *intake* digunakan persamaan atau rumus yang berbeda dan data yang digunakan untuk melakukan perhitungan, dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya, seperti BLH, dinas Kesehatan, LSM, dll), dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai default yang tersedia.

Penilaian pajanan bertujuan mengidentifikasi sub-sub populasi terpapar yang berisiko untuk mengalami keterpaparan terhadap bahaya dan untuk mengidentifikasi kondisi kondisi

survey dan pengukuran. Perlu teknik khusus untuk mendapatkan data yang benar. Waktu pajanan (tE) harus diperoleh dengan cara menanyakan berapa lama kebiasaan responden berada ditempat kerja, demikian juga untuk frekuensi pajanan, kebiasaan apa yang dilakukan setiap tahun dalam hitungan hari.

Durasi pajanan harus diketahui, seperti berapa lama sesungguhnya (*real time*) responden berada di tempat kerja sampai saat survey dilakukan dalam hitungan tahun. Selain durasi pajanan *life time*, durasi pajanan *real time* penting untuk dikonfirmasi dengan studi epidemiologi kesehatan lingkungan, apakah estimasi risiko sudah terindikasikan. Konsentrasi agen dalam media lingkungan diperlakukan menurut karakteristik statistiknya. Jika distribusi konsentrasi risk agen normal, bisa digunakan nilai aritmetik meannya. Jika distribusinya tidak normal, harus digunakan log normal atau mediannya. Normal tidaknya distribusi konsentrasi risk agent dapat ditentukan dengan menghitung coefficient of variance (COv) yaitu SD dibagi mean, Jika $COv \leq 20\%$ distribusi dianggap normal.

Sebelum nilai default nasional tersedia berdasarkan hasil survey maka tE , fE , dan Wb hasil studi pencemaran udara di 9 kota padat transportasi, dapat dipakai sebagai nilai numerik factor antropometri pemajanan. Nilai numeric lainnya dapat

diambil dari Exposure Factors handbook (Nukman et al., 2005)

Asupan setiap *risk agent* (*Ink* atau I_k) harus dihitung untuk semua jalur pemajanan, menurut karakteristik antropometri dan pola aktivitas populasi berisiko menggunakan rumus (1) di bawah ini: (Louvar dan Louvar, 1998; Rahman, 2007a; IPCS, 2004).

- a. Perhitungan intake non karsinogenik (INK) Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup) (ATSDR, 2005).

I_k (*Intake*) = Jumlah konsentrasi agen risiko (mg)

$$I_k = \frac{C \times R \times tE \times f \times E \times dt}{W_b \times t_{avg}} \quad (\text{Rumus 1})$$

yang masuk kedalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu kg (setiap harinya (mg/kgxhari)

C (*konsentrasi*) = Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien) mg/m^3

R (*Rate*) = Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya m^3/jam Dewasa : $0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$, Anak – anak (6–12 tahun) : $0,5 \text{ m}^3/\text{jam}$

tE (*time of exposure*) = Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap

harinya, jam/hari.

Pajanan pada pemukiman= 24 jam/hari pajanan pada lingkungan kerja: 8 jam/hari pajanan pada sekolah dasar: 6 jam/hari.

fE (frequency of exposure) = Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya.

Pajanan pada pemukiman: 350 hari/tahun

Pajanan Pada lingkungan kerja: 250 hari/tahun

Dt (duration time) = lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup:30 tahun

Wb (weight of body) = Berat badan manusia/ populasi/ kelompok populasi (kg) Dewasa asia/Indonesia 55 Kg Anak –anak: 15 Kg

Tavg (nk)(time average) = Periode waktu rata – rata untuk efek non karsinogen (hari) tahun x 365 hari/tahun= 10.950 hari.

b. Perhitungan intake paling berisiko

Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup) berisiko (Miladill, 2021; Rahman, 2007b).

$$I_k = \frac{C_{max} \times R \times tE_{max} \times fE_{max} \times Dt_{max}}{Wb_{min} \times t_{avg}}$$

$$Wb_{min} \times t_{avg}$$

(Rumus 2)

4. Karakterisasi risiko

Karakterisasi risiko adalah proses memperkirakan kejadian kesehatan akibat berbagai paparan yang telah dijelaskan dianalisis paparan. Karakteristik tersebut merupakan gabungan dari ketiga tahap di atas yang menghasilkan perkiraan atau ringkasan masalah kesehatan masyarakat, baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif (NRC, 1983).

Tahapan ARKL yang terakhir, yaitu karakterisasi risiko, yang dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain tahap penentuan, apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat dengan karakteristik, seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi paparan yang tertentu atau tidak (Dirjen P2PL Kementerian Kesehatan RI, 2012).

Karakterisasi risiko bertujuan mengevaluasi besaran (magnitude) risiko kesehatan pada pekerja. Dalam hal ini mengenai perpaduan keparahan gangguan kesehatan yang mungkin timbul, misalnya daya toksisitas apabila ada efek toksik, dengan kemungkinan gangguan kesehatan atau efek toksik yang dapat terjadi sebagai konsekuensi paparan bahaya potensial. Karakterisasi risiko dimulai dengan mengintegrasikan informasi tentang bahaya yang teridentifikasi (efek

gangguan/toksisitas spesifik) dengan perkiraan atau pengukuran intensitas/ konsentrasi pajanan bahaya dan status kesehatan pekerja (Mansyur, 2007).

Setelah itu, karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan/membagi *intake* dengan dosis/konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah *intake* (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan dosis referensi (*RfD*)/ konsentrasi referensi (*RfC*) yang didapat dari literatur yang ada (dapat diakses di situs www.epa.gov/iris).

Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Risk Quotient (RQ)*. Dalam melakukan karakterisasi risiko untuk efek non karsinogenik melalui perhitungan dengan membandingkan / membagi *intake* dengan *RfC* atau *RfD*. Rumus untuk menentukan *RQ* dapat dilihat sebagai berikut (Rahman, 2007a; ATSDR, 2005).

$$\text{Besar risiko (RQ)} = \frac{\text{Intake(mg/kg/hari)}}{\text{Rfc (mg/kg/hari)}}$$

Rumus (3)

Keterangan:

RfC Digunakan untuk menghitung **RQ** pada pemajanan jalur inhalasi (terhirup)

I (*intake*) = Intake yang telah dihitung dengan rumus 1

RfC (*reference concentration*) = Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi.

Tingkat risiko dinyatakan dalam angka atau bilangan desimal tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan **Aman / tidak berisiko** jika $Intake (I) \leq RfC$ atau dinyatakan dengan angka $RQ < 1$. Tingkat risiko dinyatakan **Tidak Aman / Berisiko** jika $Intake > RfC$ atau dinyatakan dengan $RQ > 1$.

5. **Manajemen Risiko**

Manajemen/ pengelolaan risiko merupakan tahapan selanjutnya yang dapat dilakukan ketika diperoleh nilai karakterisasi risiko tidak aman atau *unacceptable*, maka strategi pengelolaan yang dilakukan salah satunya adalah penentuan batas aman.

Berikut Tabel 2.10 mengenai beberapa alternatif pengelolaan risiko jika diperoleh nilai $RQ > 1$.

Tabel 2.10 : Alternatif pengelolaan risiko dan penggunaannya

Alternatif pengelolaan	Penggunaan					
	lingkungan Khusus			Lingkungan permanen		
	Tempat kerja, Sekolah			Pemukiman		
	Ingesti		Inhalasi	ingesti		Inhalasi
Air	Makanan	Udara	air	Makanan	udara	
Penurunan konsentrasi hingga batas aman (C aman)	√	√	√	√	√	√
Pengurangan Komsumsi Hingga batas aman (jumlah komsumsi aman)	√	√		√	√	
Pembatasan waktu pajanan hingga batas aman (waktu pajanan aman)/ tE			√			
Pembatasan frekuensi pajanan hingga batas aman/fE)	√	√	√			
Pembatasan Durasi pajanan hingga batas aman /Dt aman					√	

Sumber: Rahman (2007a)

Manajemen risiko kesehatan merupakan proses yang bertahap dan berkesinambungan. Tujuan utama manajemen risiko kesehatan adalah menurunkan risiko pada tahap yang tidak bermakna sehingga tidak menimbulkan efek buruk terhadap kesehatan pekerja (Seaton, 1994).

Komisi Kongres penilain risiko dan manajemen risiko (1997) mendefenisikan manajemen risiko sebagai proses mengidentifikasi, mengevaluasi, memilih, dan menetapkan tindakan untuk mengurangi

risiko terhadap kesehatan manusia dan ekosistem, dan penilai risiko akan melakukan proses mempertimbangkan sifat, kemungkinan, dan tingkat keparahan efek satu bahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Daud, 2013).

Penilaian risiko lingkungan mengacu pada proses teknis melalui perkiraan risiko kuantitatif dan menyusun manajemen risiko, sedangkan defenisi lingkungan mengacu pada proses yang lebih luas terkait menyeimbangkan risiko, biaya, dan sosial.

Manajemen risiko salah satu metode untuk menangani risiko sehingga diketahui apakah suatu agen risiko aman/dapat diterima atau tidak. Manajemen risiko bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan jika hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman ataupun *unacceptable*.

Manajemen risiko yang dapat dilakukan dengan menghitung konsentrasi yang aman (C rata-rata harian), lama pajanan harian yang aman (tE aman), dan frekuensi pajanan tahunan yang aman (fE aman) bagi responden.

Selanjutnya, dalam pengelolaan risiko, strategi risiko membutuhkan cara pengelolaan risiko yang tepat. Cara pengelolaan risiko merupakan metode yang akan digunakan untuk mencapai batas aman yang, meliputi beberapa pendekatan, yaitu pendekatan teknologi, pendekatan sosial-ekonomis, dan pendekatan institusional. Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman (Rahman,

2007b), yaitu:

a. Penentuan konsentrasi aman (C)

$$C_{aman} = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{R \times fE \times Dt} \text{---Rumus (4)}$$

b. Penentuan frekuensi pajanan (fE)

$$fE_{aman} = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times Dt} \text{---Rumus (5)}$$

c. Penentuan durasi pajanan aman (Dt)

$$Dt_{aman} = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times fE} \text{--- Rumus (6)}$$

d. Penentuan waktu pajanan aman (tE)

$$tE_{aman} = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times fE \times Dt} \text{--- Rumus (7)}$$

* Dt hanya digunakan untuk pajanan jalur inhalasi dilingkungan pemukiman.

Pendekatan manajemen risiko terdiri atas:

1. Komitmen

Menekankan keterlibatan proaktif para pemegang kepentingan untuk mempelajari isu-isu yang relevan

dalam komunitas, untuk memformulasikan pertanyaan yang harus dijawab oleh penilai risiko dan untuk membangun basis pemulihan, yang dapat membantu pendekatan praktis pengurangan risiko yang mungkin ditolak oleh para ahli yang tidak membandingkan risiko dengan konteks kesehatan masyarakat secara keseluruhan, atau tidak menyadari modifikasi bahan kimia dan perilaku populasi, sehingga tidak menyadari terjadinya keterpaparan yang dapat memengaruhi komunitas.

2. Pendekatan manajemen risiko berbasis risiko

Mencakup penentuan risiko dengan berbagai metode yang selanjutnya dideklarasikan oleh para pembuat kebijakan untuk mengurangi tingkat keterpaparan dan risiko, batas kadar kontaminasi yang dapat diukur dan ditentukan sebagai kadar yang diterima.

3. Pendekatan intuitif

Mencakup pendekatan teknik tradisional, yang berarti risiko yang dicapai dapat diupayakan serendah mungkin dengan pertimbangan kelayakan dan biaya. Selain itu, menggunakan teknologi terbaik yang dimandatkan dalam Kongres Amandemen UU udara bersih tahun 1990, yang ditindak lanjuti dengan

penentuan, apakah pengurangan emisi dijamin protektif bagi kesehatan masyarakat dengan berbasis risiko, dan selanjutnya mencakup prinsip tindakan pencegahan yang merupakan semboyan populer di Eropa dan cocok untuk intervensi kesehatan masyarakat, dengan *dictum* Hipokrates “jangan membahayakan” dan menyoroti pentingnya *trade off risk*, karena banyak intervensi yang dengan sendirinya menimbulkan risiko baru walaupun bertujuan mengurangi risiko yang ada.

4. Persepsi risiko

Dalam studi sosial, persepsi risiko menunjukkan bahwa orang memiliki reaksi yang cukup terprediksi terhadap jenis risikoyang mereka alami. Secara umum, keterpaparan yang tidak terdeteksi oleh panca indera akan lebih ditakuti, dan konsekuensinya akan lebih besar, dan resiko baru tersebut akan tidak lazim. Terkadang, persepsi risiko public dan persepsi intervensi akan berbeda nyata. Peluang besar dalam prilaku umumnya memerlukan tindakan dan dorongan yang terus menerus.

5. Overload informasi

Ada anggapan dalam masyarakat, bahwa orang-orang mendengar berita ancaman kesehatan, padahal risiko tersebut nampaknya tidak akan terjadi sehingga

pendekatan berbasis risiko dapat membantu menjelaskan hal tersebut.

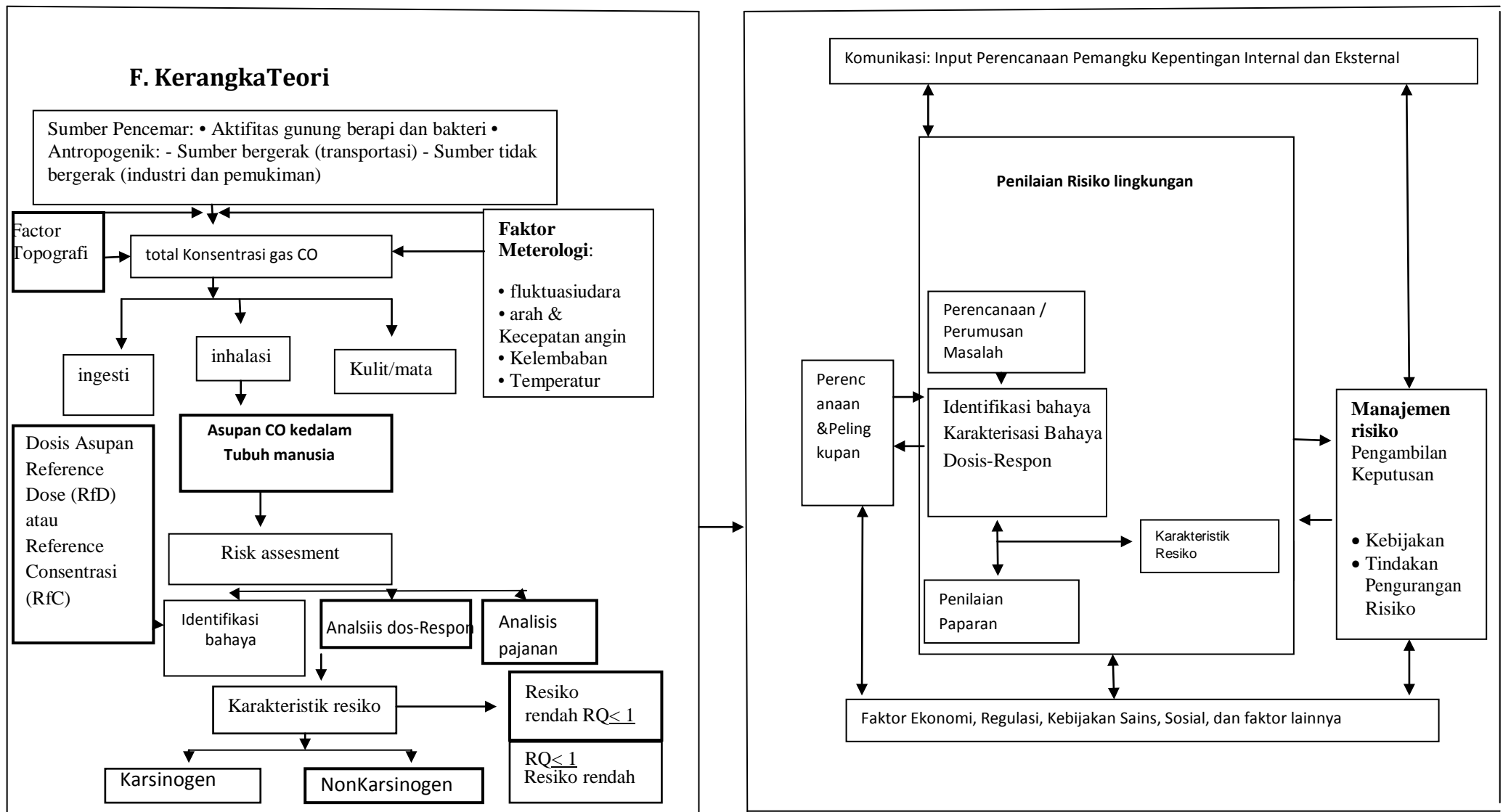
6. Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko dilakukan dengan tujuan agar pemerintah dan pihak yang berkepentingan mengetahui masyarakat yang berisiko, dan risiko yang mungkin timbul serta terganggunya kesehatan manusia, namun tidak menimbulkan kepanikan yang berlebihan maupun menimbulkan kerusuhan di masyarakat. Komunikasi yang dilakukan harus menggunakan bahasa mudah dipahami dan memuat seluruh informasi tanpa ditutup-tutupi dengan menggunakan berbagai metode, seperti ceramah maupun diskusi interaktif. Selain itu, dapat didukung dengan penggunaan berbagai media dalam kegiatannya.

Komunikasi risiko adalah proses berulang yang menggambarkan pertukaran informasi tentang risiko, termasuk bentuk dan tingkat keparahannya, dan apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi dan menghindari risiko. Ini mencakup dua tujuan yang sama pentingnya (EPA, 2012) yang terdiri dari:

1. Menginformasikan manager risiko tentang risiko sehingga mereka dapat membuat keputusan berdasarkan informasi.
2. Menginformasikan kepada publik tentang risiko sehingga mereka memahami sifat risiko dan apa yang akan dilakukan tentang hal tersebut.

Komunikasi risiko pada akhirnya akan menjadi tanggung jawab manager risiko, yang akan bekerja dengan staf urusan publik internal yang tersedia. Merupakan tanggung jawab penilai risiko membuat manager risiko mengetahui jenis dan besarnya bahaya yang akan terjadi, populasi yang kemungkinan terpapar dan dampak spesifik terhadap kesehatan manusia atau ekologi yang diakibatkan dari paparan.

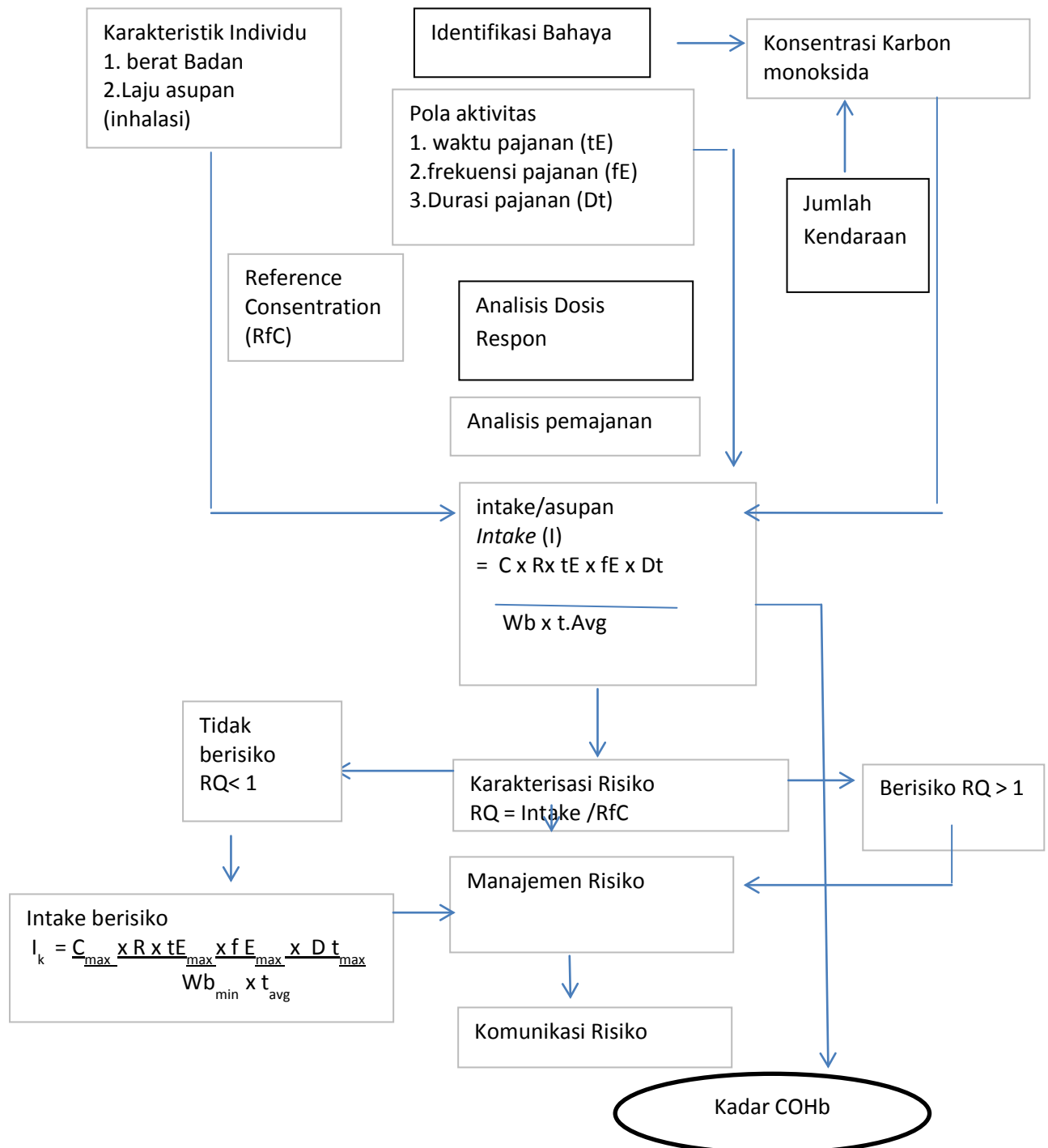


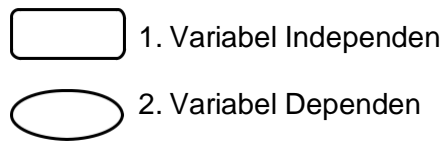
Gambar 2.4 : Kerangka Teori

Sumber : (enHealth 2017)dimodifikasi (Faradisha, Tualeka, and Widajati 2019)

H. Kerangka Konsep

Berdasarkan dasar teori tersebut, maka dibuatlah konsep penelitian yang disesuaikan dengan variabel penelitian yang diteliti. Adapun kerangka konsep penelitian ini, yaitu:





Gambar 2.4. kerangka konsep

I. Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan jawaban sementara atas suatu permasalahan, yang masih harus dibuktikan kebenarannya secara empiris. Sesuai dengan permasalahan dan variabel yang akan diteliti secara kuantitatif, yaitu variabel konsentrasi karbon monoksida, variable meteorologis, serta kadar karboxihemoglobin. Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Ada hubungan karakteristik individu (umur, jenis kelamin, berat badan) dengan kadar karboxyhemoglobin dalam darah pekerja sekitar basemen di gedung Graha pena dan gedung Mtos.
2. Ada hubungan jumlah kendaraan dengan kadar CO di sekitar Basemen.
3. Ada hubungan intake realtime dengan kadar konsentrasi COHb dalam darah pekerja di sekitar basemen di gedung Graha pena dan gedung Mtos.

J. Definisi Operasional

H. Tabel 2.11 Definisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Cara dan Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala
Konsentrasi (C) CO	Banyaknya kandungan gas CO yang terdapat dalam satuan jumlah diudara sekitar	Menggunakan Impinger	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Rasio
Kons COHb	Banyaknya kandungan COHb dalam darah	Menggunakan Spectro Uv visible	%	Rasio
Laju Asupan (R)	Banyaknya volume udara yang dihirup	Mneggunakan nilai default Untuk tingkat inhalasi orang dewasa 20 m^3/hari dikonversi ke jam menjadi 0.83 m^3/jam Dikonversi menjadi jam diperoleh 0.83 m^3/jam	m^3/jam	Rasio
Lama pajanan (tE)	oleh individu per satuan waktu Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap hari	Melakukan wawancara melalui Kuesioner	Jam/hari	Rasio
Frekuensi pajanan (fE)	Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Didapatkan dengan Melakukan wawancara melalui Kuesioner	Hari/tahun	Rasio
Durasi pajanan(Dt)	Lamanya atau jumlah tahun terjadinya Pajanan	Didapatkan dengan Melakukan wawancara	Tahun	Rasio

		melalui Kuesioner		
Berat badan (Wb)	Berat badan responden saat penelitian	Timbangan	Kg	Rasio
Periode waktu rata-rata pajanan (tavg)	Periode waktu rata-rata pajanan untuk efek nonkarsinogenik	Mengalikan <i>Lifetime</i> dengan frekuensi pajanan	30 tahun x 365 hari/tahun	Rasio
<i>Intake</i> (I) atau asupan CO	Jumlah konsentrasi agen risiko CO yang Ke dalam tubuh Manusia per berat badan setiap harinya	Perhitungan dilakukan dengan Menggunakan rumus dan dibantu dengan alat kalkulator. Rumus : $Intake (I) = CxRx tExfExDt$	mg/kg/hari	Rasio
Reference konsentrasi (RfC)	Nilai referensi agen risiko pada pemajanan Inhalasi	Sesuai dengan ketentuan dari studi literatur RfC CO	mg/kg/hari	Rasio
Risiko non kanker (RQ)	Besarnya tingkat risiko terhadap agen risiko yang dianalisis melalui Perhitungan perbandingan <i>intake</i> dengan konsentrasi referensi agen risiko yang dinyatakan dalam angka atau bilangan Desimal tanpa satuan	Melakukan Perhitungan bilangan risiko (RQ) dan dibantu dengan alat hitung Kalkulator Rumus: $RQ = \frac{Ink}{RfC}$	Nilai numerik Hasil perhitungan Potensi Risiko RQ < 1 RQ > 1	Rasio

1. Parkir merupakan keadaan tidak bergerak atau suatu kendaraan yang tidak bersifat sementara dan membutuhkan lokasi parkir berupa fasilitas parkir. Ada dua jenis parkir, yaitu:

- a. Parkir di badan jalan (*on street parking*) dan

- b. Parkir di luar badan jalan (*off street parking*).

Fasilitas parkir untuk umum dapat berupa gedung parkir atau lahan/ataukah juga sebuah fasilitas penunjang yang disesuaikan untuk menunjang kegiatan pada bangunan utama (Zakaria, 2010).

2. Total konsentrasi gas karbon monoksida dalam ruang.
 - a. Definisi Operasional: Banyaknya konsentrasi gas CO yang ditemukan di udara dalam area parkir dengan alat *CO analysis imprinter* dengan satuan $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
 - b. Kriteria Objektif:

Memenuhi persyaratan: Batas maksimum yang diperbolehkan CO adalah $10.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Tidak memenuhi persyaratan: $>10.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (Berdasarkan baku mutu udara *ambien* sesuai dengan Peraturan Presiden No 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan dan pengelolaan lingkungan hidup (Peraturan Pemerintah, 2021).

3. Kadar COHb dalam darah

- a. Definisi operasional: Menurut Agency for Toxic

Substances and Disease Registry (2012), waktu tinggal karbon monoksida di dalam darah sekitar 4–6 jam. Jika orang yang telah menghirup CO dipindahkan ke udara yang bersih dan berada dalam keadaan istirahat, maka kadar COHb semula akan berkurang 50% dalam waktu 4,5 jam. Selanjutnya, sisa COHb akan berkurang 8–10% setiap jamnya (Ayala-Fierro dan Elamin, 2019). Kriteria memenuhi syarat berdasarkan IPB adalah $< 3\%$.

b. Kriteria Obyektif

Untuk pengaruh kriteria konsentrasi COHb di dalam darah terhadap kesehatan manusia disajikan pada tabel 2.12.

Tabel 2.12. Pengaruh konsentrasi COHb di dalam darah terhadap kesehatan manusia

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruhnya terhadap kesehatan
$< 1,0$	Tidak ada pengaruh
1,0 - 2,0	Penampilan agak tidak normal
2,0 - 5,0	Pengaruhnya terhadap sistem saraf sentral, reaksi panca indera tidak normal, benda terlihat agak kabur
$> 5,0$	Perubahan fungsi jantung dan pulmonary
10,0 - 80,0	Kepala pening, mual berkunang-kunang, pinsang, kesukaran bernafas, dan kematian

Sumber: Stoker dan Seager (1975)

4. Suhu dalam ruang

a. Definisi Operasional: Suhu dalam ruang parkir basemen setiap

pengukuran yang dilakukan “*Thermo hygrometer digital*” dinyatakan dalam satuan⁰C.

b. Kriteria Objektif:

Memenuhi persyaratan : 18 – 28⁰ C

Tidak memenuhi persyaratan: $\leq 18^{\circ}\text{C}$ atau $\geq 28^{\circ}\text{C}$ (Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405 Tahun 2002 tentang kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri (Kemenkes, 2002).

5. Kelembaban dalam ruang

a. Definisi Operasional: Kelembaban dalam ruang parkir basemen yang pengukurannya menggunakan *Thermohygrometer digital*’ dinyatakan dalam satuan %.

b. Kriteria Objektif:

Memenuhi persyaratan :40%-60%

Tidak memenuhi persyaratan : $\leq 40\%$ atau $\geq 60\%$ (Kemenkes, 2002).

6. Kecepatan angin

a. Defenisi Operasional: kecepatan angin adalah angka yang dibutuhkan oleh udara untuk menempuh jarak tertentu (dalam m/detik) yang dilakukan secara bersamaan dengan pengukuran gas CO pada tiap waktu yang dinyatakan dalam satuan m/dtk.

b. Kriteria Objektif:

Memenuhi persyaratan : 0,283 M3 /menit/orang dengan laju ventilasi 0,15 – 0,25m/detik.

Tidak memenuhi persyaratan: $\leq 0,283 \text{ M}^3$ atau $\geq 0,283\text{M}^3$ dengan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405 Tahun 2002 Tentang Kesehatan Lingkungan kerja dan perkantoran.

7. Jumlah kendaraan parkir adalah jumlah kendaraan yang berada dalam basemen parkir.
8. Analisis risiko adalah proses perhitungan risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau sub populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian yang menyertainya setelah terpajan oleh agen-agen tertentu dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada agen itu dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik.