

TESIS

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN TEMBAGA (Cu) DAN PM₁₀ PADA KOMUNITAS PENGRAJIN EMAS SATANDO DI KELURAHAN MALIMONGAN MAKASSAR

ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ASSESSMENT DUE TO COPPER (Cu) AND PM₁₀ EXPOSURE ON THE SATANDOS'S GOLDSMITH COMMUNITY IN MOLIMONGAN MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

**EVA SOELASTRI HARAHAHAP
K012191071**



**PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT
PAJANAN TEMBAGA (Cu) DAN PM₁₀ PADA KOMUNITAS
PENGRAJIN EMAS SATANDO DI KELURAHAN
MALIMONGAN MAKASSAR**

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

**Program Studi
Ilmu Kesehatan Masyarakat**

Disusun dan Diajukan oleh
EVA SOELASTRI HARAHAHAP

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN
TEMBAGA (Cu) DAN PM₁₀ PADA KOMUNITAS PENGRAJIN EMAS
SATANDO DI KELURAHAN MALIMONGAN MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

Eva Soelastri Harahap
K012191071

Telah dipertahankan di hadapan Panitia ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi S2 Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin pada tanggal 31 Januari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

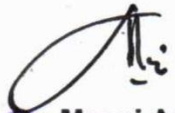
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D
NIP. 19740816 199903 1 002

Dekan Fakultas
Kesehatan Masyarakat


Dr. Aminuddin Syam, SKM., M.Kes., M.Med.Ed
NIP. 19670617 199903 1 001


Prof. Dr. Masni, Apt., MSPH
NIP. 19590605 198601 2 001

Ketua Program Studi S2
Ilmu Kesehatan Masyarakat


Prof. Dr. Masni, Apt., MSPH
NIP. 19590605 198601 2 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eva Soelastri Harahap

NIM : K012191071

Program Studi : Kesehatan Masyarakat

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

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

Makassar, Januari 2022

Yang menyatakan



Eva Soelastri Harahap

PRAKATA

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas karunianya serta salawat beriring salam kepada Rasulullah Muhammad SAW. Terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada **Prof. Anwar,SKM.,M.Sc.,Ph,D** selaku Ketua Komisi Penasihat dan **Prof.Dr.Masni, Apt.,MSPH** selaku Sekretaris Komisi Penasihat, yang mana dengan penuh kesabaran dan perhatian membimbing, mengajar dan menasihati penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan tesis dengan judul Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Tembaga (Cu) Dan PM₁₀ Pada Komunitas Pengrajin Emas Satando Di Kelurahan Malimongan Makassar dapat diselesaikan dengan baik.

Banyak pihak yang membantu sehingga penulisan tesis ini dapat terlaksana dengan baik, pada kesempatan ini perkenalkan penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Dwia Aries Tina Palubuhu,M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Dr. Aminuddin Syam, S.KM, M.Kes,M.Med.Ed selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin
3. Prof.dr.Hasanuddin Ishak, M.Sc.,Ph.D., Prof. Yahya Thamrin, SKM., M.Kes., MOHS., Ph.D dan Dr. Erniwati Ibrahim, S.KM., M.Kes selaku

tim penguji tesis yang telah banyak memberikan saran dan perbaikan sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan tesis dengan baik

4. Kementerian Kesehatan RI melalui PPSDM Kemenkes yang telah memberikan beasiswa sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin dan melanjutkan pendidikan ke Universitas Griffith Australia.
5. H. Hamsuardi selaku Bupati Kabupaten Pasaman Barat yang telah memberikan izin untuk melanjutkan pendidikan
6. Jon Hardi, SKM.M.Kes selaku Kepala Dinas Kesehatan Kabupaten Pasaman Barat
7. Seluruh mahasiswa Kelas B Program Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang memberikan warna tersendiri bagi penulis ketika menempuh pendidikan di Makassar, terutama Ester, A.Melba Batari, Putri Indah NS, Mahfudin Yusbud, Ona, Udi, Nelvhi, Sherly, Hastari, Miss Earth Makassar dan Bang Fikal, tanpa kalian semua ini tidak akan pernah selesai. Sampai ketemu di episode hidup selanjutnya.

Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan mertua dan adik-adik (dr. Elsa, Hasanuddin, Fitri Yanti dan Nurul Madinah) yang telah mendoakan dan memberikan dukungan sehingga semua ini dapat diselesaikan dengan baik. Sesungguhnya doa dan dukungan orang tua dan keluarga besar memberikan kekuatan bagi penulis untuk mampu melewati semua halangan dan rintangan dalam menyelesaikan pendidikan ini.

Selanjutnya kepada orang terpenting dalam hidup penulis, yang menjadi teman dalam suka duka perjuangan ini, tanpa beliau ini semua hanyalah mimpi, penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk semua cinta dan pengertian suami penulis **Bapak Nofriandi Lubis,SE**. Beliau adalah pihak pertama yang meyakinkan penulis bahwa pendidikan tinggi bagi seorang wanita adalah penting, karena wanita adalah ibu yang banyak berperan dalam mendidik dan membesarkan anak, sehingga berkeluarga bukanlah hambatan untuk menggapai cita-cita bagi seorang wanita. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan rasa bangga penulis pada putri tersayang **Zahra Salsabila Lubis** yang memiliki hati seluas samudra dan kesabaran yang luar biasa, terima kasih untuk semua doa dan pengertian selama ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan menjadi salah satu amal jariyah penulis di kemudian hari.

Makassar, Januari 2022

Eva Soelastri Harahap

ABSTRAK

EVA SOELASTRI HARAHAHAP. *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Tembaga (Cu) Dan PM₁₀ Pada Komunitas Pengrajin Emas Satando Di Kelurahan Malimongan Makassar.* (Dibimbing oleh **Anwar Mallongi** dan **Masni**).

Perhiasan merupakan salah satu kebutuhan hidup yang penggunaannya terus meningkat seiring waktu. Pekerja yang bergerak dibidang produksi perhiasan rawan terkena masalah kesehatan akibat paparan dari bahan-bahan beracun dan berbahaya yang digunakan dalam pekerjaan diantaranya tembaga dan PM₁₀.

Studi ini menggunakan *agent based approach* dengan design crossectional. Proses ARKL meliputi identifikasi bahaya, analisis dosis respon, karakterisasi bahaya dan manajemen risiko. Penelitian dilakukan pada 30 pengrajin dan 30 bukan pengrajin yang merupakan pasangan/anggota keluarga dari kelompok sampel pertama. Analisis risiko yang dilakukan adalah menghitung RQ dan THQ realtime dan lifetime akibat paparan Cu yang dideteksi pada rambut responden dengan yang dideteksi menggunakan metode ICP dan juga konsentrasi PM₁₀ pada workshop responden.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Cu yang tinggi pada rambut kedua kelompok responden (mean = 67.87 µg/g dan 39.34 µg/g). Perhitungan RQ realtime menunjukkan 33.3% (pengrajin) dan 6.6% (bukan pengrajin) memiliki RQ>1 dan hasil ini meningkat setelah dilakukan perhitungan lifetime 50% (pengrajin) dan 10% (bukan pengrajin) dengan RQ>1. Sementara untuk PM₁₀ nilai mean konsentrasi 38 µg/m³ dan hasil perhitungan RQ pada kedua kelompok sampel tidak menunjukkan adanya risiko. Selanjutnya perhitungan THQ pada kedua parameter menunjukkan nilai THQ < 1 yang mengindikasikan tidak ada target tingkat bahaya yang mungkin muncul akibat paparan Cu dan PM₁₀ pada komunitas pengrajin emas. Disimpulkan bahwa responden yang diteliti terpapar Cu dan PM₁₀ namun karakterisasi risiko tidak menunjukkan risiko yang tinggi sehingga mempertahankan kondisi yang ada merupakan manajemen risiko terbaik sehingga tidak terjadi peningkatan risiko dimasa yang akan datang.

Kata Kunci: Lingkungan, Risiko, Tembaga, Partikulat 10 mikron, Penilaian Risiko



ABSTRACT

EVA SOELASTRI HARAHAHAP. *Environmental Health Risk Assessment Due to Copper (Cu) And PM₁₀ Exposure on The Satando's Goldsmith Community in Malimongan Makassar.* (Supervised by **Anwar Mallongi** and **Masni**)

Jewellery turns to be one of the life needs which customers keep growing over time. However, those engaged in jewellery production are prone to health problems due to exposure to toxic and hazardous materials in their work for instance copper and PM₁₀.

This research is an agent-based approach with cross-sectional design. The process of ERA includes hazard identification, dose-response analysis, hazard characterization, and risk management. This research involved 30 craftsmen and 30 non-craftsmen which are the spouses/family members of the first samples group. The risk analysis was executed by calculating the real-time and lifetime RQ and THQ. By applying the ICP method, the results suggested that Cu exposure was detected in the respondents' hair, whereas PM₁₀ concentration was discovered in the respondents' workshops.

The results indicated high concentrations of Cu in the respondent's hair of both groups with the mean of 67.87 µg/g and 39.34 µg/g. Real-time RQ calculation suggested that 33.3% (craftsmen) and 6.6% (non-craftsmen) had an RQ value greater than 1, and it increased after lifetime calculation with RQ value greater than 1 in 50% (craftsman) and 10% (non-craftsman) was conducted. Meanwhile, the mean concentration of PM₁₀ reached 38 µg/m³, and the results of the RQ calculation in the two sample groups did not indicate any potential risk. Furthermore, the THQ calculation on both parameters resulted in a THQ value of less than 1, indicating there was no target level of potential risk due to Cu and PM₁₀ exposure in the gold jewellery craftsmen community. In conclusion the research shows respondents were exposed with Cu and PM₁₀ however the risk calculation indicate low of risk as of maintaining the similar condition will be the best option for a risk management toward preventing risk increase in the future..

Keywords: Environment, Risk, Copper, PM₁₀, Risk Assessment



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iii
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Tujuan Penelitian.....	10
1. Tujuan Umum	11
2. Tujuan Khusus.....	11
D. Manfaat Penelitian.....	12
E. Ruang Lingkup Penelitian	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Tinjauan Umum Pencemaran Udara.....	14
B. Tinjauan Umum Tembaga (Cu).....	19
1. Pengertian dan Karakteristik Tembaga (Cu).....	19
2. Sumber Tembaga (Cu).....	22
3. Nilai ambang batas Cu	23
4. Toksisitas Tembaga (Cu) Terhadap Kesehatan	25
C. Tinjauan Umum Partikulat (PM ₁₀)	27
1. Pengertian Partikulat (PM ₁₀).....	27
2. Sumber Partikulat (PM ₁₀)	29
3. Nilai Ambang Batas Partikulat (PM ₁₀)	31
4. Toksisitas Partikulat (PM ₁₀) Terhadap Kesehatan	34
D. Tinjauan Umum Tentang Bahan Toksik.....	37

1. Aliran Toksin Di Lingkungan.....	37
2. Aliran Toksin Dalam Tubuh Manusia	38
E. Tinjauan Umum Pengrajin Emas Tradisional.....	42
1. Alat dan Bahan Pengolahan Emas Secara Tradisional	42
2. Proses Pengolahan Emas Secara Tradisional.....	44
F. Tinjauan Umum Metode Inductively Coupled Plasma	45
G. Tinjauan Umum Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	47
1. Pengertian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	47
2. Tujuan dan Paradigma ARKL.....	49
3. Dasar dan Prosedur ARKL	55
4. Metode ARKL	56
H. Kerangka Teori	66
I. Kerangka Konsep	67
1. Dasar Penentuan Variabel	67
2. Bagan Rancangan Penelitian	69
J. Definisi Operasional	70
K. Tabel Sintesa.....	73

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Desain Penelitian	81
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	81
C. Populasi dan Sampel	81
1. Populasi.....	81
2. Sampel	82
3. Teknik Pengambilan Sampel	83
D. Teknik Pengumpulan Data	85
1. Data Primer	85
2. Data Sekunder.....	86
E. Manajemen Sampel dan Instrumen Penelitian	86
F. Teknik Analisis Data	87

BAB IV HASIL

A. Hasil.....	88
1. Gambaran Lokasi Penelitian	88
2. Karakteristik Responden	90
3. Hasil Pemeriksaan Cu pada rambut Responden	93
4. Hasil Pemeriksaan PM ₁₀ pada rumah responden.....	94
5. Permasalahan Kesehatan	95
6. Analisis Paparan	98
7. Analisis Risiko	100
8. Manajemen Risiko.....	112
B. Pembahasan	120
1. Karakteristik Responden	121

2. Hasil pemeriksaan Cu pada rambut responden.....	122
3. Hasil pemeriksaan PM ₁₀ pada workshop responden.....	124
4. Permasalahan Kesehatan	125
5. Analisis Risiko	128
6. Manajemen Risiko	136
C. Keterbatasan Penelitian	138
 BAB VI PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	140
B. Saran	142
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 2.1	Kriteria Udara Bersih Dan Udara Tercemar Oleh WHO Tentang Udara Bersih Dan Udara Tercemar.....	16
Tabel 2.2	Sumber Pencemaran Udara oleh Logam Menurut Penyebabnya	17
Tabel 2.3	Baku Mutu PM10	30
Tabel 2.4	Batas Indeks Standar Pencemar Udara dalam Satuan SI	31
Tabel 2.5	Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara untuk Parameter PM10.....	32
Tabel 2.6	Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dari dalam analisis pajanan	60
Tabel 4.1	Karakteristik Pengrajin Emas menurut Kelompok Umur, Tingkat Pendidikan dan Berat Badan	96
Tabel 4.2	Karakteristik Responden Bukan Pengrajin Emas menurut, Kelompok Umur, Tingkat Pendidikan dan Berat Badan	97
Tabel 4.3	Konsentrasi tembaga (Cu) pada rambut responden yang bekerja sebagai pengrajin dan bukan pengrajin emas	98
Tabel 4.4	Konsentrasi Particulate Matter 10 mikron (PM10) pada Workshop responden.....	100
Tabel 4.5	Distribusi keluhan kesehatan pada pengrajin dan bukan pengrajin emas.....	102
Tabel 4.6	Distribusi 10 Penyakit Terbanyak Dinas Kesehatan Kota Makassar Tahun 2019 dan 2020	105
Tabel 4.7	Karakteristik Anthropometri dan pola aktivitas pengrajin	106
Tabel 4.8	Pola aktivitas bukan pengrajin emas	107
Tabel 4.9	Perhitungan nilai intake pada responden	108

Tabel 4.10	Perhitungan nilai Risk Quotient (RQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	110
Tabel 4.11	Nilai Risk Quetient (RQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	110
Tabel 4.12	Perhitungan nilai Target Hazard Quetient (THQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	111
Tabel 4.13	Nilai Target Hazard Quetient (THQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	112
Tabel 4.14	Perhitungan nilai intake real time dan lifetime PM10 pada responden pengrajin dan bukan pengrajin	113
Tabel 4.15	Perhitungan nilai Risk Quotient (RQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	114
Tabel 4.16	Perhitungan nilai Risk Quotient (RQ) Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	115
Tabel 4.17	Perhitungan nilai Target Hazard Quotient (THQ) PM10 pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	115
Tabel 4.18	Target Hazard Quotient (THQ) PM10 pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	116
Tabel 4.19	Perhitungan pengurangan konsentrasi Cu pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	118
Tabel 4.20	Perhitungan pengurangan laju asupan (R) pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	119
Tabel 4.21	Perhitungan modivikasi durasi pajanan Dt pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	120
Tabel 4.22	Perhitungan pengurangan konsentrasi PM10 pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	121
Tabel 4.23	Perhitungan pengurangan konsentrasi laju asupan (R) pada responden pengrajin dan bukan pengrajin ..	122
Tabel 4.24	Perhitungan perubahan durasi pajanan (Dt) pada responden pengrajin dan bukan pengrajin emas	123

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 2.1	Skema Proses-Proses dalam Ekokinetika.....	40
Gambar 2.2	Skema Portal Entri, Distribusi dan Ekskresi	40
Gambar 2.3	Hubungan antara risk assessment, risk management dan risk communication	51
Gambar 2.4	Langkah-Langkah Analisis Risiko	52
Gambar 2.5	Paradigma analisi risiko	54
Gambar 2.6	Ilustrasi logika pengambilan keputusan untuk menentukan tipe studi yang dapat dilakukan dalam mempelajari efek lingkungan terhadap kesehatan manusia.....	55
Gambar 2.7	Kerangka Teori	68
Gambar 2.8	Kerangka Konsep penelitian	71
Gambar 4.1	Peta Lokasi Penelitian	94

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AAS	: Automatic Absorbtion Spectrofotometric
ATSDR	: Agency for Toxic Substance and Disease Registry
ARKL	: Analisa Risiko Kesehatan Lingkungan
BTKL PP	: Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Pengendalian Penyakit
Cu	: Copper/ tembaga
CTESA	: China Trace Element and Science Assosiation
EPA	: Environmental Protection Agency
EHRA	: Environmental Health Risk Assessment
FDA	: Food and Drugs Administration
IPCS	: International Programme on Chemical Safety
KLH	: Kementerian Lingkungan Hidup
LOAEL	: Lowest Observed Adverse Effect Level
Mean	: Nilai rata-rata
Median	: Nilai tengah
NRC	: National Research Council
NEM	: National Exposure Assesment
NOAEL	: No Observed Adverse Effect Level
PDRB	: Produk Domestik Regional Bruto
PM ₁₀	: Particulate Matter 10 micron
RQ	: Risk Quotient
RfD	: Reference Dose
RfC	: Reference Concentration

SNI	: Standar nasional Indonesia
THQ	: Target Hazard Quotient
WHO	: World Health Organization
μg	: Microgram
l	: Liter
%	: Persentase
$\geq$	: Besar Sama
$\leq$	: Kecil Sama
$^{\circ}\text{C}$	: Derajat celsius
n	: Jumlah
N	: Populasi
mg/kg	: miligram/ kilogram
min	: minimum
max	: maximum

DAFTAR LAMPIRAN

1. Kuesioner Penelitian
2. Master Tabel Pengrajin Emas
3. Master Tabel Bukan Pengrajin Emas
4. Master Tabel Manajemen Risiko Pada Kelompok Pengrajin Emas
5. Master Tabel Manajemen Risiko Pada Kelompok Bukan Pengrajin Emas
6. Surat Permohonan Izin Penelitian
7. Surat Izin Penelitian
8. Hasil Pemeriksaan Sampel Rambut
9. Hasil Pemeriksaan Kualitas Udara
10. Dokumentasi Kegiatan
11. Curriculum Vitae

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan zaman merupakan keadaan yang selalu diikuti dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kebutuhan manusia baik yang bersifat premier, sekunder maupun tertier. Pemenuhan terhadap kebutuhan tersebut terkadang menimbulkan permasalahan yang bersifat sosial, ekonomi dan lingkungan. Menurut Manik (2018). Peningkatan kualitas hidup masyarakat merupakan tujuan pembangunan yang dilakukan oleh seluruh negara. Salah satu kualitas hidup manusia adalah terpenuhinya kebutuhan dasar, dimana kebutuhan ini bersifat dinamis yang dapat berkembang sesuai tingkat kesejahteraan dan peradaban manusia.

Perhiasan merupakan salah satu kebutuhan masyarakat. Perhiasan dapat diartikan sebagai benda yang digunakan untuk merias atau mempercantik diri bagi seseorang atau diberikan sebagai hadiah kepada orang lain. Perhiasan secara umum terbuat dari bahan baku biji emas ataupun perak dan terdiri dari berbagai macam bentuk mulai dari cincin, kalung, gelang, liontin dan lain-lain. Perhiasan juga dikenal mempunyai bentuk beragam mulai dari bulat, hati, kotak dan lain lain. Perhiasan biasanya berasal dari bahan tambang (Diantoro, 2010)

Pasar perhiasan nasional memiliki prospek yang baik dimasa yang akan datang. Dibuktikan dengan data Badan Pusat Statistik (BPS), ekspor produk perhiasan nasional pada 2018 mencapai

US\$2,05 miliar. Perhiasan terutama emas, sudah menjadi bagian dari gaya hidup dan simbol status sosial, perhiasan emas dipercaya dapat meningkatkan kepercayaan diri seseorang, bukan hanya sebagai pelengkap penampilan. (Bisnis.com, 2018). Kementerian Perindustrian menunjukkan industri perhiasan berkontribusi signifikan pada perekonomian nasional, dengan nilai produksi mencapai Rp10,45 triliun, menyerap tenaga kerja sebanyak 43.348 orang, dan menghasilkan devisa US\$ 3,31 miliar (Anonim, 2017).

Sehubungan dengan hal tersebut, menurut Soim (1970) dalam proses produksinya selain menggunakan logam mulia emas (Au) sebagai bahan baku produk utama, digunakan pula campuran bermacam-macam bahan-bahan kimia beracun dan berbahaya (B3). Logam tembaga (Cu) dalam bentuk pelat-pelat digunakan untuk mengendapkan dan memisahkan perak (Ag) menjadi endapan perak oksida saat proses pendaaur-ulangan dilakukan (Setiani et al., 2002).

Tembaga merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam produksi perhiasan emas. Logam yang memiliki nomor atom 29 dan nomor massa 63,54 merupakan unsur logam dengan warna kemerahan. Sirosis hati dan kerusakan ginjal merupakan salah satu efek dari paparan tembaga dalam waktu lama. Debu-debu (dust) Cu merupakan bentuk tembaga yang paling beracun dan dapat mengakibatkan kematian pada dosis 3,5 mg/Kg. Garam-garam khlorida serta sulfat dalam wujud terhidrasi dianggap memiliki toksisitas besar pada kenyataanya memiliki toksisitas yang lebih

rendah dari debu- debu Cu. Paparan dengan dosis 9.4 mg/kg dapat menyebabkan kematian yang disebabkan oleh toksisitas garam klorida terhidrasi($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). (Palar, 2012). Tembaga merupakan salah satu elemen esensial yang dibutuhkan dalam sistem imun manusia namun dapat juga menimbulkan alergi. Indikasi klinis keracunan tembaga bisa menimbulkan perih epigastrium, anoreksia, hematuria, disuri, perih punggung, rasa kecap logam(metallic taste), konvulsi serta koma. (Soedarto, 2013)

Pada manusia, efek keracunan utama yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap logam Cu adalah terjadinya gangguan pada jalur pernafasan sebelah atas. Efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu tersebut adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Kerusakan itu, merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu tersebut (Palar, 2012)

Dalam proses produksi perhiasan emas, tukang emas dapat terkena debu, asap, dan uap yang mengandung bahan kimia anorganik yang mungkin bersifat karsinogenik yang terjadi selama produksi perhiasan emas. Paparan kimia anorganik ini dapat terjadi selama langkah-langkah pencetakan, pengecoran, pengisian, pemolesan dan pelapisan perhiasan emas (Choudhari et al., 2014). Bahan kimia anorganik telah terbukti terdiri dari logam berat dan elemen jejak seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd) dan merkuri (Hg). Rute paparan ke uap, uap logam, dan debu sebagian

besar melalui penghirupan. Sebagian besar paparan cenderung menumpuk secara kronis karena tukang emas terpapar setiap hari di tempat kerja. Lebih lanjut, dalam kondisi paparan yang berkelanjutan, tidak semua logam yang masuk ke dalam tubuh akan dihilangkan. Sebaliknya paparan akan menumpuk di jaringan tubuh seperti rambut dan tulang (ATSDR, 2007) dan dapat menyebabkan efek toksik dan penyakit (Abidin et al., 2015)

Sehubungan dengan permasalahan gangguan pernafasan tersebut, dibuktikan melalui beberapa penelitian antara lain, penelitian yang dilakukan oleh Choudhari (2014) mengindikasikan ada perubahan fungsi paru-paru pada pengrajin emas di Aurangabad India. Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kelompok control dan kasus untuk FVC, FEV1 dan MVV. Penelitian di West Bengal India yang dilakukan pada pengrajin emas dan bukan pengrajin emas juga menunjukkan penurunan fungsi paru-paru pada pengrajin emas dan memiliki hubungan antara waktu pajanan dengan sumber pencemar (Sahu et al., 2013)

Sebelumnya pada tahun 2018 telah dilakukan penelitian untuk mengetahui analisis risiko akibat pajanan Cu dan Nitrogen Dioksida di Malimongan dengan menggunakan sampel lingkungan berupa konsentrasi Cu dan Nitrogen Dioksida di 30 rumah (indoor) dan 30 responden. Pada penelitian tersebut hasil pengukuran tembaga seluruhnya dibawah 1 mg/m³, dimana untuk perhitungan real time 23 responden (76,7%) diantaranya memiliki RQ>1 atau berisiko dan untuk

perhitungan lifetime 24 responden (80%) memiliki $RQ > 1$ atau berisiko akibat terpapar Cu. Sementara untuk Nitrogen Dioksida tidak ditemukan adanya risiko untuk kedua waktu perhitungan tersebut. Waktu, frekuensi dan durasi pajanan sangat mempengaruhi dari ukuran asupan yang diperoleh oleh pengrajin emas (Mallongi et al., 2018)

Penelitian lain yang selaras dengan hal tersebut yaitu kajian mengenai keberadaan tembaga di lingkungan yang dilakukan dengan melihat kadar Cu pada Total Suspended Particulate (TSP) yang di analisa dengan metode Inductively Coupled Plasma (ICP) di SDN 01 Pandean Lamper dan SDN 03 Spondol Wetan yang menunjukkan tingkat risiko karsinogenik Cancer Risk Ingestion (CRing) Pb $1,85 \times 10^{-6}$ berisiko kanker karena berada dalam batas toleransi cancer risk (10^{-6} - 10^{-4}) (Ediputri et al., 2017). Hasil penelitian ini memberikan gambaran kesehatan yang mungkin terjadi kepada masyarakat yang berada dan kontak dengan bahan polutan pencemar udara.

Logam berat memiliki hubungan dengan partikel debu yang dapat dihirup. Ukuran logam berat pada partikel debu dibawah $10 \mu m$ bisa terserap sangat dalam pada paru-paru, menetap di paru-paru dan tidak bisa dikeluarkan dengan mudah melalui exhalasi dan inhalasi yang bisa membahayakan kesehatan manusia (Choudhari et al., 2014)

Partikulate Matter (PM) merupakan salah satu indikator pencemaran udara. PM_{10} dapat didefinisikan sebagai partikulat yang dapat berbentuk padat atau cair yang melayang di atmosfer dan

memiliki nilai dimensi diameter aerodinamik 10 mikron. Partikulat 10 mikron dengan berbagai nama lain yaitu PM_{10} selaku inhalable particles, respirable particulate, respirable dust serta inhalable dust. PM_{10} ialah kelompok partikulat yang bisa dihirup melalui saluran pernafasan. Oleh karena itu PM_{10} dapat dikatakan partikulat yang respirable dan merupakan prediktor kesehatan yang baik bagi manusia. (Abulude, 2016)

Selanjutnya penelitian dari berbagai instansi dan negara yang bergerak dalam bidang pencemaran udara mengemukakan salah satu analisa komposisi PM_{10} di Tianjin (Cina) pada tahun 2018 menunjukkan adanya logam dalam partikel udara tersebut (Zhang *et al.*, 2018). Perbandingan komposisi PM_{10} indoor dan outdoor di Thailand juga menunjukkan adanya logam dalam PM_{10} (Srithawirat *et al.*, 2016). Menurut Xin Cheng (2018) ditemukan 5 sumber utama dari PM_{10} yang ada di Chengdu (Cina) yaitu debu tanah (48.4%), debu jalan (19.4%), pembakaran bahan bakar minyak (14.9%), elektro plating (13.8%) serta industri metalurgi (3.5%) (Cheng *et al.*, 2018).

Portal entri perinhalasi adalah masuknya xenobiotik melalui saluran pernapasan/ tractus respiratorius. Jalur atau portal entri ini memudahkan gas masuk ke dalam peredaran darah. Distribusi zat terjadi di dalam berbagai kompartemen lingkungan beserta interfasenya, transportasi xenobiotic ini dapat masuk kedalam tubuh manusia dan menyebabkan gangguan kesehatan apabila terjadi

secara simultan dan dalam konsentrasi yang melampaui ambang batas (Mallongi, 2019)

Udara yang tercemar PM_{10} dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Oleh karena itu pemerintah menetapkan batas paparan PM_{10} yang diperbolehkan dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 bahwa baku mutu udara ambien untuk PM_{10} adalah $20 \mu g/m^3$ untuk nilai mean pengukuran tahunan dan $50 \mu g/m^3$ untuk nilai mean pengukuran harian. (Kementrian Lingkungan Hidup, 2010)

Penelitian tentang partikulat udara untuk *indoor* atau dalam suatu ruangan dan dampaknya terhadap kesehatan lebih sedikit mendapat perhatian jika dibandingkan dengan penelitian tentang partikulat udara di luar ruangan. Meskipun faktanya pajanan konsentrasi partikulat *indoor* dapat lebih tinggi daripada di luar ruangan, karena polutan yang dilepas di dalam ruangan seribu (1000) kali lebih cepat mencapai paru-paru manusia daripada bahan pencemar yang dilepaskan di luar ruangan (Bapedal, 1999). Penyebab tingginya kadar PM_{10} dalam rumah adalah karena adanya sumber-sumber partikulat dalam rumah serta aktifitas manusia di dalam rumah (Halopainen et al, 2006)

Pemeriksaan keracunan pada manusia dilakukan melalui pemeriksaan kadar bahan pencemar pada sampel biologis manusia. Sistem ekskresi menjadi salah satu portal pemeriksaan keracunan. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan menggunakan rambut dan darah

untuk mengetahui konsentrasi logam pada manusia (Alrobaian and Arida, 2019). Penelitian kandungan Cu pada rambut juga dilaksanakan di Kelantan, Malaysia dengan tujuan untuk mengetahui risiko serta konsentrasi bahan pencemar pada rambut pengrajin emas (Abidin et al., 2015). Kandungan tembaga yang berkaitan dengan enzim tubuh berperan dalam pengaturan metabolisme besi, pembentukan jaringan ikat, produksi energi pada tingkat sel, produksi melanin (pigmen yang menghasilkan warna kulit), dan fungsi sistem syaraf. Keberadaan unsur-unsur pencemar dalam rambut dapat menunjukkan kondisi kesehatan yang berkaitan dengan tempat tinggal dan pekerjaan seseorang, semakin lama waktu pajanan maka konsentrasi pencemaran dalam rambut semakin mudah untuk dideteksi (Hidayat et al., 2008). Pertimbangan lain adalah kemudahan dan efisiensi kerja sehingga rambut merupakan sampel biologis yang sesuai untuk menganalisa pajanan Cu pada pengrajin emas.

Makassar dikenal sebagai salah satu kota dengan produksi emas tertinggi dan menjadi sentra perdagangan perhiasan emas di Indonesia. Perhiasan emas ini dikerjakan oleh para ahli secara tradisional dan modern yang dikenal dengan *pade'de* atau pengrajin emas. Pengrajin emas tersebar beberapa tempat di Kota Makassar dan ditemukan di beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Wajo, Kecamatan Mangala dan Kecamatan Ujung Pandang. Namun hanya kecamatan Mangala dan Kecamatan Wajo saja yang terdaftar

berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan (PERINDAG) (Suhelmi, 2018).

Sehubungan dengan hal tersebut, produksi emas pada Kecamatan Wajo di lakukan di bawah komunitas Satando, dinamakan sesuai dengan nama jalan yang terletak di Kelurahan Malimongan Kecamatan Wajo. Komunitas ini telah berdiri dari tahun 2008 dan menjadi wadah bagi pengrajin emas untuk memasarkan perhiasan yang dihasilkan. Namun perhatian terhadap kesehatan dan lingkungan kerja yang baik masih sangat rendah di pengrajin emas yang berada di bawah komunitas tersebut.

Berdasarkan kunjungan awal peneliti ke lokasi pengrajin emas, pekerjaan yang dilakukan di bengkel pengrajin sangat minim dari Alat Pelindung Diri (APD) selama proses peleburan, pembakaran, pemasakan dan pembentukan perhiasan emas yang berasosiasi dengan penggunaan tembaga. Pengrajin emas bersifat tradisional masih menggunakan cara sederhana dan memiliki bengkel yang bersatu atau berdekatan dengan rumah sehingga pajanan tembaga akibat pekerjaan oleh pengrajin emas tersebut bukan saja terjadi kepada pekerja tetapi juga orang lain yang tinggal di rumah tersebut.

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2018 di Malimongan hanya mengukur konsentrasi dalam rumah (indoor) tembaga dan nitrogen dioksida. Sementara itu dalam proses pembuatan perhiasan, banyak bahan kimia lain yang diolah secara bersamaan dan dapat masuk kedalam tubuh pengrajin melalui ingesti, digesti dan absorpsi

sehingga pengukuran konsentrasi bahan kimia dalam tubuh pengrajin dapat dilakukan untuk menghitung analisis risiko akibat pajanan dari suatu bahan. Berdasarkan penjelasan diatas, peneliti merasa tertantang untuk melakukan penelitian analisis risiko kesehatan lingkungan yang disebabkan oleh pajanan tembaga (Cu) dan PM_{10} pada pekerja dan bukan pekerja pengrajin emas di Kelurahan Malimongan Kecamatan Wajo, Makassar.

B. Rumusan Masalah

Melihat kondisi dan dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan akibat pajanan tembaga (Cu) dan PM_{10} pada manusia, memberikan gambaran terhadap kondisi lingkungan dan kesehatan masyarakat pengrajin dan masyarakat bukan pengrajin emas yang hidup dan tinggal serta beraktivitas di Kelurahan Malimongan selama bertahun-tahun.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas rumusan masalah pada penelitian ini adalah gambaran besarnya tingkat risiko pajanan (RQ), target bahaya (THQ) dan manajemen pengelolaan lingkungan akibat pajanan tembaga (Cu) dan PM_{10} pada pengrajin emas dan bukan pengrajin emas yang tinggal di Kelurahan Malimongan Kecamatan Wajo Makassar.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian secara umum terbagi menjadi tujuan umum dan tujuan khusus sebagai berikut:

1. Tujuan Umum

Menganalisisn risiko akibat pajanan tembaga dan PM_{10} pada Komunitas Satando di Kelurahan Malimogan Kecamatan Wajo Kota Makassar

2. Tujuan Khusus

- a. Mengetahui nilai konsentrasi tembaga pada rambut pengrajin dan bukan pengrajin emas Komunitas Satando di Kelurahan Malimongan
- b. Menghitung besaran Risk Quotient (RQ) akibat pajanan tembaga pada pengrajin dan bukan pengrajin emas Komunitas Satando di Kelurahan Malimongan
- c. Menghitung besaran Target Hazard Quotient (THQ) akibat pajanan tembaga pada pengrajin dan bukan pengrajin emas Komunitas Satando di Kelurahan Malimongan
- d. Mengetahui konsentrasi PM_{10} pada lingkungan tempat tinggal pengrajin pada komunitas Satando di Kelurahan Malimongan
- e. Menghitung besaran Risk Quotient (RQ) akibat pajanan PM_{10} pada pengrajin dan bukan pengrajin emas pada komunitas Satando di Kelurahan Malimongan
- f. Menghitung besaran Target Hazard Quotient (THQ) pada pengrajin dan bukan pengrajin emas pada komunitas Satando di Kelurahan Malimongan

- g. Mengetahui manajemen risiko akibat pajanan tembaga pada pengrajin dan bukan pengrajin emas di Kelurahan Malimongan

D. Manfaat Penelitian

1. Bagi pemerintah

Sebagai bahan pertimbangan dan informasi kepada pemerintah dalam merancang suatu peraturan terkait pemakaian bahan kimia atau logam dalam industri perhiasan dan pemberian solusi serta perhatian kepada pengrajin emas yang merupakan komunitas binaan langsung dari Dinas Perdagangan dan Perindustrian Kota Makassar terkait masalah keamanan, keselamatan dan kesehatan.

2. Bagi institusi

Sebagai bahan referensi bacaan khususnya dalam bidang ilmu toksikologi lingkungan terkait tembaga dan PM_{10}

3. Bagi mahasiswa

Sebagai bahan bacaan dalam menambah wawasan terkait Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan dengan toksikan tembaga dan PM_{10}

4. Bagi masyarakat

Dapat menjadi informasi bagi masyarakat Kelurahan Malimongan khususnya bagi pengrajin emas akan bahaya tembaga dan PM_{10} bagi kesehatan.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah pelaksanaan suatu observasional dengan melakukan penilaian analisis risiko kesehatan lingkungan sebagai salah satu cara untuk melaksanakan pelayanan kesehatan masyarakat dengan melihat pada pengaruh paparan tembaga dan PM_{10} pada komunitas Satando di Kelurahan Malimongan. Objek dalam penelitian ini adalah konsentrasi tembaga dari rambut pengrajin dan bukan pengrajin emas dan konsentrasi PM_{10} di lingkungan yang di analisa menggunakan Inductively Coupled Plasma (ICP) dan EPAM 5000 (elektrometri). Hasil perhitungan nilai konsentrasi Dari perhitungan jumlah *Intake* tembaga selanjutnya akan dilakukan analisis risiko (RQ), target bahaya (THQ) dan manajemen risiko.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kegiatan pembangunan pada bidang industri merupakan salah satu kegiatan sektor ekonomi yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia secara luas. Namun salah satu efek samping dari kegiatan tersebut adalah dihasilkannya polutan yang dapat mencemari lingkungan dan mempengaruhi kesehatan masyarakat.

Tembaga (Cu) dan Partikulat (PM₁₀) merupakan beberapa bahan polutan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Bahan kimia ini memiliki portal entri atau jalur masuk ke dalam tubuh manusia melalui inhalasi atau pernafasan ingesti/termakan, dan absorpsi/penetrasi kulit yang dapat memberikan efek racun (toksik) dan bersifat akut, subkronis atau kronis pada kesehatan manusia.

A. Tinjauan Umum Pencemaran Udara

Atmosfer atau udara yang ada di lingkungan merupakan campuran berbagai macam gas yang bersifat homogen. Susunan utama dari udara kering adalah 78,09% nitrogen, 20,95% oksigen, 0,93% gas-gas mulia dan 0,03% karbon dioksida dan beberapa gas lainnya dalam jumlah yang sangat kecil (Ahmad, 2004)

Kandungan udara antara lain adalah uap air, debu, spora dan sisa-sisa tumbuhan. Udara dapat dikategorikan sebagai unsur yang paling penting setelah air dalam mempertahankan kehidupan di permukaan bumi (Mallongi, 2019)

Menurut Chambers (1976) dan Masters (1991) pencemaran udara dapat diartikan keadaan dimana bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai jumlah tertentu, sehingga dapat di deteksi oleh manusia serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi dan material. Selain itu pencemaran udara dapat pula dikatakan sebagai perubahan atmosfer oleh karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut (Parker, 1991)

Pencemaran udara menurut Kumar (1987) dapat diartikan sebagai suatu kondisi saat bahan pencemar berada di udara dengan konsentrasi tertentu dapat menyebabkan gangguan keseimbangan pergerakan udara dan menyebabkan efek pada manusia serta alam sekitarnya. Definisi lain dari pencemaran udara adalah terdapat bahan pencemar di udara yang berasal dari kegiatan manusia (man made). Pengertian ini digunakan sebagai cara untuk membedakan antara pencemaran udara alamiah dan pencemaran udara yang terjadi di tempat kerja (Kumar, 1987)

Asal pencemaran udara menurut Corman dan Masters dapat dijelaskan dengan tiga proses yaitu *attrition*, *vaporation* dan *combustion*. Dari ketiga proses tersebut proses *combustion* atau pembakaran dikategorikan sebagai proses yang berperan besar dalam menghasilkan bahan polutan atau pencemar (Mukono, 2008)

Sementara menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 41 tahun 1999, pada pasal 1 ayat 1 disebutkan bahwa pencemaran udara adalah proses masuknya atau dimasukkan nya zat, energi dan atau komponen lain kedalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai kepada tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Suyono, 2018)

Menhard dan Duce (1987) mendeskripsikan udara yang bersih adalah udara yang bebas dari cemaran uap atau gas dari bahan-bahan kimia yang beracun. Selain hal tersebut, udara yang bersih adalah udara yang terhisap segar dan nyaman bagi makhluk hidup, memiliki kandungan oksigen yang cukup, tidak memiliki warna dan tidak berbau. Air hujan yang membawa kandungan logam yang berasal dari udara sangat tergantung pada asalnya. Pada daerah dengan polusi tinggi ditemukan kandungan logam yang tinggi seperti pada daerah atlantik utara dan Amerika utara. Sementara kandungan logam dengan batas-batas medium ditemukan di daerah pasifik utara dan bagian utara lautan india dan yang palik rendah ditemukan di daerah pasifik selatan dan atlantik selatan (Darmono, 1995)

Berdasarkan bulletin WHO yang dikutip oleh Hazworth dan Cormick (1976), penentuan tercemara atau tidak tercemarnya suatu daerah berdasarkan parameter sebagai berikut (Mukono, 2008):

Tabel 2. 1 Kriteria Udara Bersih Dan Udara Tercemar Oleh WHO
Tentang Udara Bersih Dan Udara Tercemar 1976

Parameter	Udara Bersih	Udara Tercemar
Bahan Partikel	10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70-700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	0,003-0,02 ppm	0,002-2 ppm
CO	<1 ppm	5 - 200 ppm
NO ₂	0,003 - 0,02 ppm	0,02 - 0,1 ppm
CO ₂	310 -330 ppm	350 - 700 ppm
Hidrokarbon	< 1 ppm	1 - 20 ppm

Bahan pencemar untuk pencemaran udara dapat di bagi menjadi dua bagian yaitu :

a. Polutan atau pencemar primer

Polutan atau pencemar primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa gas atau partikel

b. Polutan atau pencemar sekunder

Polutan atau pencemar sekunder biasanya tercipta karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, salah satunya adalah reaksi fotokimia

Menurut Dix (1981), sumber utama untuk pencemaran udara adalah sebagai berikut (Suyono, 2018) :

- a. Pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan energi panas dan tenaga
- b. Bahan buang kendaraan bermotor
- c. Gas buangan dari berbagai industri
- d. Akibat dari kegiatan manusia di rumah tangga

Menurut Darmono (1995) sumber pencemaran udara terbesar di daerah urban adalah disebabkan oleh asap kendaraan dan paling kecil disebabkan oleh sisa pembakaran sampah kota dan asap penghangatan ruangan.

Tabel 2. 2 Sumber Pencemaran Udara oleh Logam Menurut Penyebabnya

Sumber	Persentase Pencemaran (%)
Transportasi	60
Industri	18
Pembangkit tenaga listrik	13
Lainnya (sampah/asap)	9

Sumber: Darmono, 1995

Sementara menurut (Mukono, 2008), faktor yang mempengaruhi pencemaran udara adalah :

a. Kelembapan

Kelembapan udara yang cenderung rendah (<60%) di daerah tercemar SO_2 , akan mengurangi efek korosif dari bahan kimia tersebut

b. Suhu

Kelembapan udara relatif dapat disebabkan oleh suhu yang menurun pada permukaan bumi, sehingga akan meningkatkan efek korosif bahan pencemar di daerah yang udaranya tercemar.

c. Sinar matahari

Sinar matahari dapat mempengaruhi bahan oksidan terutama O_3 di atmosfer.

d. Pergerakan udara

Pergerakan udara yang cepat dapat meningkatkan abrasi bahan bangunan

B. Tinjauan Umum Tembaga (Cu)

1. Pengertian dan Karakteristik Tembaga (Cu)

Logam adalah elemen yang larut dalam air, dapat melepas satu atau lebih electron dan menjadi kation. Logam memiliki beberapa karakteristik pentik antara lai : reflektivitas tinggi, mempunyai kilau logam, konduktivitas listrik tinggi, konduktivitas termal tinggi dan mempunyai kekuatan serta kelenturan. Selanjutnya menurut Duffus (1980) logam dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Logam berat dan logam ringan
- b. Logam esensial dan logam tidak esensial
- c. Logam trace mineral dan non trace mineral

Benda padat atau cair yang mempunyai berat lebih dari 5 gram untuk setiap cm^3 dikenal dengan istilah logam berat. Seng (Zn), besi (Fe), tembaga (Cu), cobalt (Co) dan mangan (Mn) merupakan contoh beberapa jenis logam berat dalam bentuk mineral yang sangat dibutuhkan makhluk hidup dalam proses enzimatik. Unsur logam berat ditandai dengan nomor atom (NA) dari 22 hingga 92 (Soedarto, 2013)

Cuprum merupakan nama kimia untuk logam tembaga dan dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodeik unsur kimia memiliki nomor atom 29 dan berat atau bobot atom 63,546. Unsur tembaga ditemukan dalam bentuk logam bebas di alam, akan tetapi logam dengan jenis persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral dapat lebih banyak ditemukan. Di laut lepas, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan ion seperti CuCO_3 , CuOH . Chalcocite (Cu_2S), covellite (CuS), chalcopyrite (CuFeS_2), bornite (Cu_5FeS_4) dan energite [$\text{Cu}_3(\text{AsSb})\text{S}_4$] ditemukan pada batuan mineral atau lapisan tanah. Bijih cuprite (Cu_2O), tenorite (CuO) merupakan bentuk lain dari tembaga yang dalam bentuk teroksidasi (Palar, 2012).

Tembaga adalah unsur kimia dengan symbol Cu dan merupakan logam berwarna merah, lunak dan mudah dibentuk (ductile) dan merupakan konduktor yang baik untuk panas dan elektrisiti. Tembaga banyak digunakan untuk peralatan listrik, konstruksi, mesin-mesin, industry, sebagai bahan campuran (alloy) seperti perunggu dan kuningan untuk kabel listrik. Tembaga mempunyai sistem Kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop, biji berwarna merah muda kecoklatan sampai keabu-abuan (Sembel, 2015)

Dalam dunia industri atau pabrik unsur tembaga yang dimanfaatkan oleh pengusaha dapat berupa tembaga organik dan anorganik. Industri yang memproduksi alat-alat listrik, gelas dan zat warna banyak menggunakan tembaga sebagai salah satu bahan baku. Sebagai alloy dengan perak (Ag), cadmium (Cd), Timah putih (Sn), dan seng (Zn) (Darmono, 1995)

Secara kimia, senyawa-senyawa yang dibentuk oleh logam Cu mempunyai bilangan valensi +1 dan +2. Kedua jenis ion Cu tersebut dapat membentuk kompleks yang sangat stabil. Secara fisika, logam Cu digolongkan ke dalam kelompok-kelompok penghantar listrik yang baik. Cu dapat dikategorikan sebagai penghantar listrik terbaik setelah perak sehingga banyak digunakan dalam bidang elektronika atau perlistrikan (Palar, 2012)

Pada manusia Cu dikelompokkan ke dalam metalloenzime dalam sistem metabolismenya. Logam Cu dibutuhkan untuk sistem enzim oksidatif seperti enzim askorbat oksidase, sitokrom C oksidase, polifenol oksidase, amino oksidase. Cu juga dibutuhkan manusia sebagai kompleks Cu protein yang mempunyai fungsi tertentu dalam pembentukan hemoglobin, kolagen, pembuluh darah dan myelin otak. Di samping itu Cu juga terlibat dalam proses pembentukan energi untuk metabolisme serta dalam aktivitas tirosin. Namun demikian meski sangat dibutuhkan logam Cu akan berbalik menjadi bahan beracun untuk manusia jika masuk dalam jumlah berlebihan (Palar, 2012)

2. Sumber Tembaga (Cu)

Penemuan tembaga di alam terdapat pada batu karang, tanah, air dan atmosfer. Tembaga dikategorikan sebagai salah satu unsur esensial pada kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan (Soedarto, 2013). Tembaga masuk kedalam suatu tatanan lingkungan secara umum, di pisahkan menjadi secara alamiah dan secara tidak alamiah. Secara alamiah Cu dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan akibat dari suatu peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari pengikisan (erosi) batuan mineral. Sumber lain adalah debu atau partikulat-partikulat Cu yang ada dalam lapisan udara yang di bawa turun oleh air hujan. Secara tidak alamiah, Cu masuk ketatanan lingkungan akibat dari aktivitas manusia, seperti buangan industri yang pada prosesnya menggunakan Cu (Palar, 2012)

Pada umumnya Cu diperoleh dari hasil penambangan. Untuk mendapatkan hasil produksi Cu yang baik, harus melalui beberapa tahapan proses. Tahapan proses tersebut meliputi proses penghalusan bijih Cu, pemekatan secara flotasi, pembakaran pada suhu 600-800 °C dan proses peleburan dengan cara pembakaran pada suhu 1.100 sampai 1.600 °C. Bentuk akhir dari logam Cu yang diperoleh dari rangkaian proses produksi tersebut adalah Cu dalam bentuk campuran sulfide. Sampai sekarang ada lebih dari 50 senyawa Cu yang diproduksi secara komersil (Palar, 2012)

Hasil produksi pemrosesan logam primer biasanya logam target bercampur dan bergabung dengan logam lainnya. Kemudian material tersebut dipanaskan/dibakar dan dilebur untuk memisahkan Cu, Ni, Pb, Zn dan Cd. Sumber lain pencemaran logam berbahaya di udara ialah pemrosesan produksi peleburan besi dan baja pada suhu tinggi, pembakaran sampah kota, produksi semen, dan penggunaan logam pada proses industri (Darmono, 2001)

Berdasarkan dengan ciri-ciri kelogamannya, Cu dapat menyatu dan melebur dengan bermacam-macam logam yang disebut alloy. Alloy yang terbentuk dengan logam – logam lain tersebut digunakan secara luas sesuai dengan sifat alloy yang membentuknya. Alloy tembaga dengan logam barium (Be-Cu) mempunyai komposisi berupa Be sekitar 1-2 %, banyak digunakan dalam bagian instrument –instrumen yang tahan benturan. Alloy lain adalah bentuk logam yang dikenal dengan kuningan. Alloy ini dibentuk dari persenyawaan tembaga, seng, stronsium dan sedikit timah hitam dan banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga. Turuna senyawa karbonat banyak digunakan dalam bidang metalurgi (Palar, 2012), yang salah satunya adalah pemanfaatan Cu sebagai campuran dalam proses pembuatan perhiasan emas atau perak.

3. Nilai ambang batas Cu

Sebagai logam berat, Cu berbeda dengan logam-logam berat seperti Hg, Cd, dan Cr. Logam berat Cu digolongkan kepada logam berat dipentingkan atau logam berat esensial; artinya, meskipun Cu

merupakan logam berat beracun, unsur logam ini sangat di butuhkan tubuh meski dalam jumlah yang sangat sedikit. Toksisitas dari Cu akan terdeteksi dan menunjukkan pengaruhnya pada organisme jika konsentrasi yang masuk melebihi nilai toleransi organisme tersebut (Palar, 2012).

Menurut WHO kebutuhan manusia terhadap tembaga cukup tinggi. Konsentrasi tembaga yang dibutuhkan manusia dewasa sekitar $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Kg berat tubuh sementara pada anak-anak adalah $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Kg berat tubuh, sedangkan pada bayi $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Kg berat tubuh. Selanjutnya batas konsumsi tembaga bagi manusia adalah 2,5 mg/Kg berat tubuh untuk orang dewasa dan 0,05 mg/kg berat tubuh untuk anak-anak dan bayi, nilai ini dapat dikategorikan sebagai jumlah yang baik (Palar, 2012)

Environmental Protection Agency (EPA) telah menetapkan bahwa air minum tidak boleh mengandung lebih dari 1,3 mg tembaga per liter air (1,3 mg / L). EPA juga telah mengembangkan peraturan tentang jumlah tembaga yang diizinkan untuk dikeluarkan industri. *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) menetapkan kadar yang diperbolehkan untuk parameter tembaga di udara adalah dengan batas 0,1 miligram / meter kubik (mg / m^3) untuk uap tembaga (uap yang dihasilkan dari memanaskan tembaga) dan $1,0 \text{ mg} / \text{m}^3$ untuk debu tembaga (partikel tembaga logam halus) dan kabut (aerosol tembaga larut) di udara ruang kerja untuk melindungi pekerja selama shift kerja 8 jam (40 jam kerja setiap minggu).

Penetapan batas konsentrasi normal rambut pada manusia belum dilakukan secara menyeluruh dan hanya berdasarkan hasil-hasil perhitungan nilai rata-rata normal konsentrasi Cu pada rambut (Jaccob, 2008; Kulkarni, 2016; Zhou et al., 2016; Cheng *et al.*, 2018). Nilai rata-rata normal konsentrasi Cu pada rambut berkisar antara 10-100 mg/kg (Mutap, Huremović and Nuhanović, 2020) dimana Trace Element Association of China (2007) menetapkan 11.3 mg/kg menjadi acuan untuk nilai rata-rata normal konsentrasi Cu pada rambut (Zhou *et al.*, 2016)

Badan Pangan dan Gizi Institut Kedokteran telah mengembangkan tunjangan diet yang direkomendasikan (RDA) dari 340 mikrogram (ug) tembaga per hari untuk anak-anak berusia 1-3 tahun, 440 ug / hari untuk anak-anak berusia 4-8 tahun, 700 ug / hari untuk anak-anak berusia 9-13 tahun, 890 ug / hari untuk anak-anak berusia 14-18 tahun, dan 900 ug / hari untuk orang dewasa. Ini memberikan cukup tembaga untuk menjaga kesehatan (ATSDR, 2004)

4. Toksisitas Tembaga (Cu) Terhadap Kesehatan

Penggunaan logam oleh manusia memiliki hubungan yang erat dengan proses pencemaran logam berat terhadap lingkungan. Tembaga (Cu) diperlukan untuk perkembangan tubuh manusia. Pada dosis yang tinggi bersifat beracun, mengganggu enzim yang terkait dengan pembentukan sel darah; dapat menyebabkan gejala GISSP ginjal, hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kram, konvulsi, shock, koma dan dapat meninggal. Dalam dosi rendah menimbulkan

rasa kesat, warna dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur (Soemirat, 2014)

Keracunan tembaga dapat disebabkan oleh adanya konsentrasi tembaga yang berlebihan dalam tubuh manusia. Dalam kondisi normal maka tembaga dibutuhkan oleh tubuh manusia dalam jumlah yang sangat rendah sebagai komponen vitamin B12. Menurut Donaldson & Bayersman 2005, LD50 larutan garam tembaga diperkirakan antara 150 sampai dengan 500 mg/kg. Eksposur terhadap tembaga dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan iritasi dalam hidung, mulut, mata, sakit kepala, muntah-muntah, sakit perut dan diare. Mengonsumsi tembaga dalam jumlah besar dapat merusak ginjal serta hati dan bersifat mematikan. Keracunan kronik tembaga dapat menyebabkan penyakit hati yang dikenal dengan nama Wilson diseases karena adanya akumulasi tembaga dalam hati, otak, ginjal dan kornea (Goyer & Clarkson, 2003). Penyakit lain yang dapat disebabkan oleh akumulasi tembaga adalah melemahnya otot jantung (cardiomyopathy) dan akumulasi kalsium dalam ginjal. Gejala lain keracunan tembaga adalah sensasi bunyi terus menerus dalam telinga (tinnitus), gangguan terhadap sistem persarafan (neuropathy), pernafasan, hiper reaktivitas pembuluh tenggorokan, disfungsi tiroid dan keracunan ginjal (Sembel, 2015)

Sesuai dengan sifatnya sebagai logam berat beracun, Cu dapat mengakibatkan keracunan secara kronis dan akut. Keracunan kronis dan akut sangat tergantung terhadap dosis yang masuk dan kemampuan organisme untuk menetralkan racun tersebut.

Kasus keracunan akut yang disebabkan oleh logam Cu terjadi di New Delhi India, sebanyak 200-300 dilaporkan mengalami keracunan garam CuSO_4 , semua korban menunjukkan gejala yang sama yaitu penderita merasakan rasa logam pada pernafasan penderita serta adanya perasaan terbakar pada epigastrium dan muntah yang terjadi secara terus-menerus. Sementara untuk kasus keracunan kronis dapat dilihat pada penderita penyakit Wilson dan Kinsky. Hepatic cirrhosis, kerusakan pada otak, demielinasi, penurunan kerja ginjal, dan pengendapan Cu pada kornea mata merupakan beberapa gejala dari penyakit Wilson. Sementara gejala terbentuknya rambut yang merah dan kaku dapat dilihat pada penderita penyakit Kinsky (Palar, 2012).

C. Tinjauan Umum Partikulat (PM_{10})

1. Pengertian Partikulat (PM_{10})

Bahan pencemar secara umum dibagi dalam dua kelompok besar yaitu polutan primer dan polutan sekunder, polutan ini berasal dari kegiatan manusia. Polutan udara primer memiliki lima polutan terbanyak yaitu Sulfur Dioksida, Nitrogen Dioksida, Karbon Monoksida, Ozon dan Partikel. WHO (2006) memaparkan bahwa partikulat (PM_{10}) merupakan suatu campuran heterogen atau bervariasi dalam sifat

fisikokimia tergantung pada kondisi meteorology dan sumber emisi. Campuran kompleks udara dan partikel yang memiliki perbedaan dalam ukuran, asal dan komposisi kimia yang secara umum memiliki ukuran diameter kecil dari $10\mu\text{m}$ dapat diartikan sebagai pengertian lain dari partikulat (Mallongi, 2019)

PM_{10} adalah partikulat padat dan cair yang melayang di udara dengan nilai media ukuran diameter aerodinamik 10 mikron. Partikulat 10 mikron mempunyai beberapa nama lain, yaitu PM_{10} sebagai inhalable particles, respirable particulate, respirable dust dan inhalable dust. PM_{10} memang merupakan kelompok partikulat yang dapat diinhalasi, tetapi karena ukurannya, PM_{10} lebih spesifik merupakan partikulat yang respirable dan prediktor kesehatan yang baik (Koren and Bisesi, 2003)

Menurut US. EPA Total Particulate Suspended (TSP) sebagai kelompok substansi fisik dan unsur kimiawi yang ada di udara ambient, dalam bentuk partikulat terpisah (cairan droplets atau padat), yang mempunyai rentang ukuran luas. Partikulat yang ada di udara ini, berasal dari berbagai sumber tetap (statis) dan sumber bergerak. Sedangkan menurut Wilson (1996) serta Whitby (1978) dalam US.EPA (2005), partikulat (TSP) adalah partikulat kasar (coarse particulate) yang berukuran antara $1\mu\text{m}$ sampai dengan $40\mu\text{m}$ (ATSDR, 1990) (EPA Queensland Government, 2006)

Karakteristik Partikulat (PM_{10}) adalah sebagai berikut (Mallongi, 2019):

a. Karakteristik Fisika

Karakteristik fisik partikulat ditentukan oleh sifat pengendapan dan sifat optisnya terhadap cahaya. Sifat pengendapan partikel menjadi penting karena pengendapan adalah proses self clearing untuk menghilangkan partikel-partikel dari atmosfer. Sedangkan sifat optis partikulat terhadap cahaya dapat mengakibatkan reduksi visibilitas. Partikel yang efektif dalam mereduksi visibilitas berada pada rentang gelombang ($0,038-0,76\mu$).

b. Karakteristik Kimia

Terdapat perbedaan komposisi kimia yang nyata antara partikel halus dan partikel kasar atau ukuran partikel yang ada di udara. Sulfat, nitrat, ammonium, ion anorganik, cadmium, tembaga, nikel, vanadium dan seng secara umum merupakan kandungan kimia dari partikulat.

c. Karakteristik Biologi

Partikulat di udara dapat mengandung virus, bakteri, jamur, alga, protozoa, dan serbuk sari.

2. Sumber Partikulat (PM_{10})

Menurut National Pollution Inventory oleh Australian Government sumber PM_{10} adalah sebagai berikut (Mallongi, 2019):

a. Sumber industri

PM_{10} yang dihasilkan dari berbagai proses industri melalui material handling curah, pembakaran dan pengolahan mineral.

b. Sumber membaaur

Sumber ini merupakan hasil dari berbagai sumber difus seperti memotong rumput, kompor kayu, kebakaran dan angin.

c. Sumber alami

Sumber alami dari PM_{10} termasuk kebakaran hutan, badai debu, dan serbuk sari.

d. Sumber transportasi

Kendaraan akan menghasilkan partikel baik dari emisi langsung dari pembakaran bahan bakar atau dari keausan ban dan turbulensi kendaraan di jalan raya.

e. Produk konsumen

Partikel umumnya tidak termasuk dalam produk secara sengaja, tetapi menjadi bagian dari produk tersebut seperti produk bubuk bedak dan lainnya.

Sumber partikulat sesuai dengan ukuran diameter menurut US.EPA adalah sebagai berikut :

- a. Partikulat sangat halus/ultrafine (diameter $\leq 0,1 \mu m$), berasal dari hasil pembakaran hasil transformasi SO_2 dan campuran organik di atmosfer serta hasil proses kimia pada temperatur tinggi.
- b. Partikulat mode akumulasi (diameter $0,1 \mu m$ s/d $3 \mu m$), berasal dari hasil pembakaran batubara, minyak, bensin, solar dan kayu bakar, hasil transformasi NO_x , SO_2 dan campuran organik, serta hasil proses pada temperatur tinggi (peleburan logam, pabrik baja).

- c. Partikulat kasar/coarse ($>3 \mu\text{m}$), berasal dari resuspensi partikulat industri, jejak tanah di atas jalan raya, suspensi dari kegiatan yang mempengaruhi tanah (pertanian, pertambangan dan jalan tak beraspal), kegiatan konstruksi dan penghancuran, pembakaran minyak dan batubara yang tidak terkendali, percikan air laut serta sumber biologi (US EPA, 2004)

3. Nilai Ambang Batas Partikulat (PM_{10})

World Health Organization (WHO) menetapkan nilai ambang batas PM_{10} saat ini adalah sebesar $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata pajanan tahunan dan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata pajanan harian dengan pengukuran selama 24 jam (WHO, 2005). Sedangkan baku mutu udara ambient nasional untuk PM_{10} dalam 24 jam pengukuran adalah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kementrian Lingkungan Hidup, 2010)

Tabel 2. 3 Baku Mutu PM_{10}

Instansi	Waktu Pengukuran	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
The WHO Air Quality Guideline	24 Jam	50
	1 Tahun	20
National Ambient Air Quality Standard – USEPA	24 Jam	50
BMUA Nasional (Lamp. PP No. 41 Tahun 1999)	24 Jam	150

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010

Peraturan ini mengakomodir rata-rata standar PM_{10} untuk pengukuran rata-rata tahunan adalah $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan rata-

rata harian untuk pengukuran 24 jam adalah $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (Kementrian Lingkungan Hidup, 2010)

Saat ini Indeks standar kualitas udara yang dipergunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP 45 / MENLH / 1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. (KLH, 1997) dan baku mutu kualitas udara dalam ruang atau rumah diatur berdasarkan PERMENKES No 1077 Tahun 2001 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Ruang Rumah dengan nilai baku mutu $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Menurut definisi yang diberikan oleh BAPEDALDA Indeks Standar Pencemar Udara adalah angka yang tidak mempunyai satuan tetapi menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Batas indeks Standar Pencemar PM_{10} adalah sebagai berikut (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1999):

Tabel 2. 4 Batas Indeks Standar Pencemar Udara dalam Satuan SI

No	Indeks Standar Pencemar Udara	24 Jam PM_{10}
1	50	50
2	100	150
3	200	350
4	300	420
5	400	500
6	500	600

Sumber: Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Hidup No. 107 Tahun 1997 (Mallongi, 2019)

Rentang Indeks Standar Pencemar Udara dan efek kesehatan yang ditimbulkan kepada manusia dapat dilihat pada tabel berikut (Mallongi, 2019)(Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1999)

Tabel 2. 5 Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara untuk Parameter PM₁₀

Kategori	Warna	Rentang	Efek
Baik	Hijau	0 - 50	Tidak ada efek kesehatan
Sedang	Biru	51 - 100	Terjadi penurunan jarak pandang
Tidak Sehat	Kuning	101 - 199	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana-mana
Sangat Tidak Sehat	Merah	200 - 299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	Hitam	300 - lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

Sumber: Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor : KEP-107/KABAPEDAL/11/1997

Menurut Purwana (2005) nilai batas konsentrasi PM₁₀ di udara untuk melindungi kesehatan masyarakat yaitu 70 µg/m³. Hal ini sesuai hasil penelitian yang menunjukkan tinggi konsentrasi PM₁₀ paling sensitif dan spesifik untuk menduga terjadinya gangguan pernapasan adalah 70 µg/m³. Sesuai dengan PERMENKES 1077 tahun 2001 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang (Purwana, 2005).

4. Toksisitas Partikulat (PM₁₀) Terhadap Kesehatan

Secara spesifik gas pencemar di udara yang mengalami reaksi kimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder yang menimbulkan masalah pada pernapasan manusia. Sedangkan pencemaran udara dalam bentuk debu biasanya menyebabkan penyakit pernapasan kronis, seperti bronchitis kronis, emphysema paru, asma bronchial bahkan kanker paru-paru. Partikel dengan ukuran antara 0,1-10 mikron merupakan sumber pencemar udara yang utama, karena secara fisik tidak terlihat nyata dan berada di atmosfer dalam waktu yang lama (Koren and Bisesi, 2003)

Particulate Matter 10 micron atau *Coarse Particle* merupakan partikel yang memiliki dimensi ukuran diameter kurang dari 10 mikron (2,5-10 mikron) dan dipercaya memiliki hubungan yang erat dengan kesehatan terutama saluran pernapasan karena partikel ini dapat memasuki saluran pernapasan melalui hidung, tenggorokan kemudian masuk ke paru-paru (US EPA, 2004)

Reaksi radang paru-paru, ISPA/gejala pada saluran pernapasan, meningkatkan efek pada sistem kardiovaskular, meningkatnya perawatan gawat darurat, peningkatan penggunaan obat serta peningkatan kematian merupakan efek kesehatan akibat pajanan PM₁₀ dalam waktu singkat. Sedangkan efek kesehatan akibat pajanan jangka panjang diketahui dengan adanya peningkatan gejala pada saluran pernapasan bawah, eksaserbasi asma, penurunan fungsi paru pada anak-anak, peningkatan

obstruktif paru-paru kronis, penurunan rata-rata usia harapan hidup, terutama kematian akibat cardiopulmonary dan probabilitas kejadian kanker paru. Secara umum, partikulat dapat digunakan sebagai prediktor kematian dan kesakitan pada masyarakat (WHO, 2005)

Pencemaran udara terhadap saluran pernapasan dapat menyebabkan terjadinya (Mukono, 2008):

- 1) Iritasi pada saluran pernafasan yang dapat menyebabkan pergerakan silia hidung menjadi lambat, bahkan dapat terhenti, sehingga tidak dapat membersihkan saluran pernapasan.
- 2) Iritasi yang menyebabkan peningkatan produksi lendir
- 3) Produksi lendir dapat menyebabkan penyempitan saluran pernafasan
- 4) Rusaknya sel pembunuh bakteri di saluran pernafasan.
- 5) Pembengkakan saluran pernafasan dan merangsang pertumbuhan sel, sehingga saluran pernafasan menjadi menyempit.

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*suspended partikulat*). Partikel debu yang dapat masuk ke dalam saluran pernafasan manusia adalah yang berukuran 0,1-10 mikron (partikulat melayang dengan ukuran ≤ 10 mikron dikenal juga dengan PM₁₀). Pencemaran udara yang terjadi secara *indoor* atau *outdoor pollution*, indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya terhadap lingkungan salah satunya adalah debu.

Partikel debu dapat melayang-layang diudara dan berada di udara dalam waktu yang relatif lama, partikel debu tersebut kemudian dapat memasuki tubuh manusia menggunakan portal entri inhalasi atau pernafasan. Selain dapat membahayakan kesehatan partikulat tersebut juga dapat mengganggu daya penglihatan mata dan dapat menyebabkan berbagai reaksi kimia. Hal ini menjadikan komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda-beda (Pujiastuti, 1998)

Ukuran debu sangat berpengaruh terhadap terjadinya penyakit pada saluran pernapasan, dari hasil penelitian ukuran tersebut dapat mencapai target organ sebagai berikut:

- a. 5-10 mikron, akan tertahan oleh saluran pernafasan bagian atas.
- b. 3-5 mikron, akan tertahan oleh saluran pernafasan bagian bawah.
- c. 1-3 mikron, sampai di permukaan alveoli.
- d. 0,5-1 mikron, hinggap di permukaan alveoli/selaput lendir sehingga menyebabkan vibrosis paru.
- e. 0,1-0,5 mikron, melayang di permukaan alveoli.

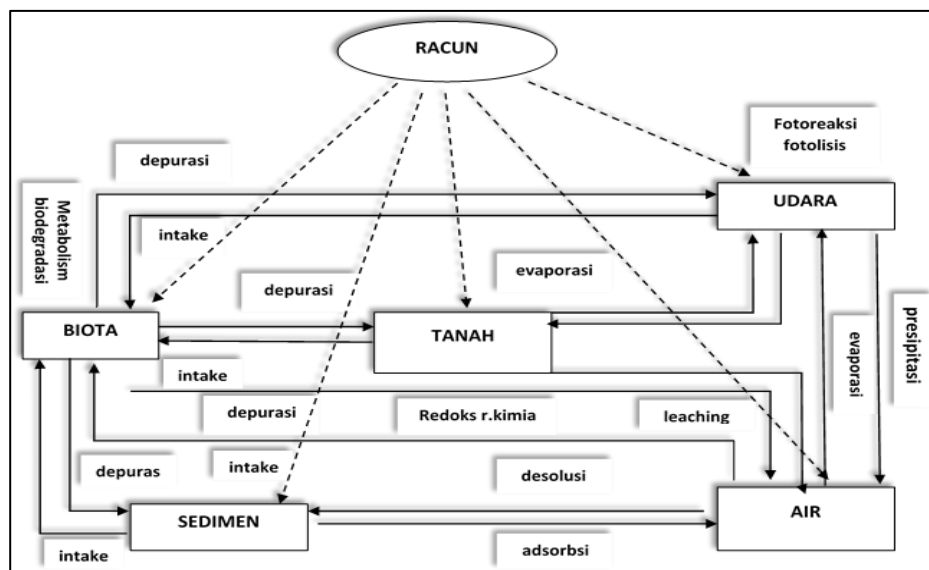
D. Tinjauan Umum Tentang Bahan Toksik

1. Aliran Toksin Di Lingkungan

Bahan kimia yang digunakan dalam industry dapat berupa bahan toksik/ berbahaya. Bahan berbahaya tersebut sebagiannya dapat dimanfaatkan kembali namun dalam kuantitas yang sangat terbatas. Sebagian bahan kimia (toksikan) tersebut masuk ke lapisan troposfer dan terus kelapisan statosfer. Selain itu bahan berbahaya dapat masuk ke dalam tanah, seterusnya ke air bawah tanah, samudera dan tenggelam di dalamnya (Mukono, 2008).

Pergerakan bahan toksin/ beracun dil dalam suatu ekosistem dikenal dengan ekokinetika. Pengertian lain adalah perjalanan atau nasib suatu zat, yang tergantung kepada sifat kimi, fisika dan biologis dan kondisi keberadaannya akan menentukan kemana akan dialirkan atau pergi (Soemirat dan Ariesyadi, 2017) Bahan pencemar di lingkungan akan mengalami beberapa perlakuan yang menentukan nasib dari bahan pencemar yaitu proses pengangkutan, perubahan bentuk melalui proses hidrolisis, fotolisis dan proses biodegradasi. Bahan-bahan pencemar di lingkungan selanjutnya mengalami beberapa proses lain misalnya bioakumulasi, biomagnifikasi dan biotransformasi (Des W. Connel & Gregory J. Miller, 1995).

Perjalanan toksikan saat masuk ke dalam substansi lingkungan akan mengalami proses pemindahan atau transfer dan akhirnya mengalami proses transformasi atau perubahan yang dapat digambarkan sebagai berikut (Soemirat and Ariesyadi, 2017) :



Gambar 2. 1 Skema Proses-Proses dalam Ekokinetika dikutip dalam Calamari, in Ruchiwat (1996) ditulis ulang pada Soemirat dan Ariestyadi (2017)

2. Aliran Toksin Dalam Tubuh Manusia

a. Jalur Paparan Toksikan

Bahan kimia yang telah mengalami proses-proses di lingkungan memasuki tubuh organisme melalui tiga jalur utama yaitu melalui jalur *ingestion*, *inhalation* dan *dermal* (WHO, 2000; Mukono, 2005; Soemirat, 2017). Jalur lain untuk masuk kedalam tubuh manusia menurut Mukono (2005) adalah dengan rekayasa manusia sendiri, yaitu dengan jalan intravenous, intraperitoneal, subcutaneous dan intramuscular. Portal entri lewat suntikan, atau intramuscular, peritoneum, dan subcutan disebut sebagai portal entri parenteral (Soemirat and Ariestyadi, 2017)

Jalur paparan yang paling umum dari suatu zat adalah kulit dan merupakan barier yang sangat efektif terhadap berbagai jenis zat kimia. Jika zat kimia tidak dapat menembus kulit, toksisitasnya

tergantung pada kemampuan absorpsi yang berlangsung. Semakin besar absorpsinya maka semakin besar kemungkinan dari bahan kimia tersebut untuk mengeluarkan efek toksiknya. Bahan kimia akan lebih mudah menembus kulit yang terluka atau tergores dan sangat berhubungan dengan kemampuan zat kimia untuk larut dalam lemak agar dapat menembus dan terbawa pada aliran darah. Iritasi kulit atau alergi kulit merupakan kondisi yang paling lazim ditemui akibat paparan suatu zat kimia (WHO, 2000)

Paru merupakan sumber pemaparan yang umum namun tidak seperti kulit, jaringan paru tidak berperan sebagai barier yang protektif terhadap zat kimia. Fungsi utama paru-paru adalah untuk pertukaran antara oksigen dari udara ke dalam darah dengan karbondioksida dari dalam darah ke udara. Akibatnya, kondisi ini memungkinkan masuknya berbagai bahan xenobiotik dari udara ke dalam tubuh. Zat kimia yang masuk bersama udara pernapasan melalui dua cara: baik sebagai partikel yang sangat halus (misalnya debu) maupun sebagai gas atau uap (WHO, 2000)

Ingesti merupakan jalur masuknya senyawa yang terkandung dalam makanan dan minuman yang dimakan oleh manusia. Zat kimia yang ditelan masuk ke dalam tubuh dan di absorpsi melalui saluran gastrointestinal. Absorpsi zat kimia dapat berlangsung di sepanjang saluran pencernaan, dari mulut sampai rektum, tetapi lokasi utama absorpsi adalah usus halus karena fungsi fisiologisnya di dalam mengabsorpsi zat gizi (WHO, 2000)

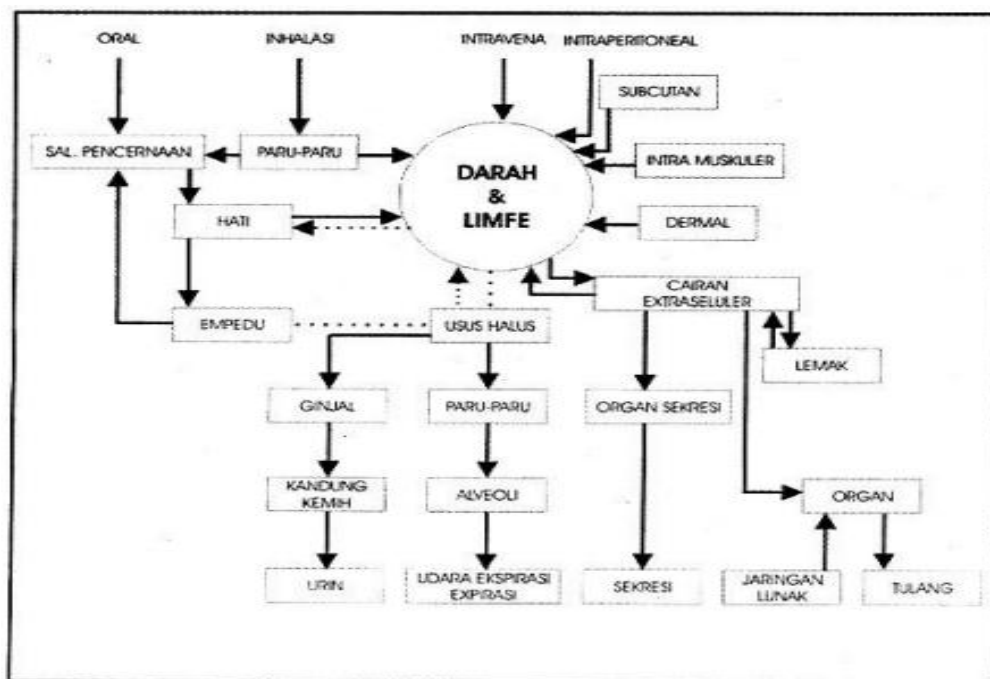
b. Absorpsi Toksik

Absorpsi adalah proses masuknya zat racun ke dalam tubuh organisme, dan dapat mengalami reaksi atau menimbulkan efek. Hal ini sangat ditentukan oleh portal entri, daya larut, sifat fisika-kimia suatu zat, konsentrasi, luas area kontak dan kondisi sirkulasi pada organisme. Absorpsi dapat terjadi pada organisme karena berbagai mekanisme yang ada dalam tubuh organisme, berupa difusi (pasif), difusi katalis dan transport aktif (Soemirat and Ariesyadi, 2017).

Toksikan yang diabsorpsi oleh paru-paru biasanya berupa gas misalnya CO, NO₂, SO₂ dan sebagainya (Mukono, 2005). Portal entri melalui inhalasi memberikan akses bagi unsur xenobiotik masuk ke peredaran darah yang disebabkan oleh tipisnya dinding paru-paru (selapis sel alveoli) yang berhadapan dengan dinding kapiler darah yang juga hanya terdiri dari satu sel. Kondisi ini memungkinkan penyerapan xenobiotik saat pernafasan berlangsung. (Soemirat, 2009).

Konsentrasi toksikan dalam darah tergantung pada plasma, cairan interstisial dan cairan intraseluler. Toksik yang telah memasuki darah akan diedarkan dengan cepat ke seluruh tubuh. Mudah tidaknya zat kimia melewati dinding kapiler dan membran sel dari suatu jaringan sangat tergantung pada aliran darah ke organ tersebut. Bagian tubuh yang berhubungan dengan distribusi bahan toksikan antarlain adalah protein plasma, liver, ginjal, lemak dan tulang (Mukono, 2005).

Proses distribusi xenobiotik pada organisme dapat dilihat dalam Gambar berikut :



Gambar 2. 2 Skema Portal Entri, Distribusi dan Ekskresi
(Soemirat dan Ariesyadi, 2017)

c. Ekskresi Toksikan

Ekskresi adalah proses pengeluaran toksikan baik secara perlahan atau cepat dari dalam tubuh organisme. Toksikan dapat dikeluarkan dalam bentuk asal, sebagai metabolit atau dan sebagai konjugat. Jalur utama ekskresi adalah urin, empedu, pari-paru dan jalur lain seperti air susu ibu (ASI) (Ahmad, 2004).

Ditegaskan oleh Juli Soemirat (2017) ekskresi adalah bagian dari proses metabolisme, yaitu proses mengeluarkan zat (metabolit) yang tidak terpakai oleh tubuh atau toksikan yang masuk ke dalam tubuh. Ekskresi dipengaruhi oleh seberapa baik fungsi dari organ ekskresi. Fungsi dari beberapa organ ekskresi antara lain ginjal

menghasilkan urin, kelenjer keringat mengekresi cairan yang khas, rambut dan kuku menyimpan berbagai logam. Oleh karena itu hasil ekskresi dapat digunakan sebagai sampel biologis untuk mengetahui toksikan yang ada di dalam tubuh organisme.

E. Tinjauan Umum Pengrajin Emas Tradisional

Emas merupakan logam mulia yang sudah dimanfaatkan oleh manusia dari zaman purba kala. Seiring dengan kemajuan zaman, pertambangan dan industri dalam bidang metalurgi terus berkembang dan di lakoni oleh banyak orang (Diantoro, 2010).

Indonesia dikenal dari zaman dahulu untuk potensi pertambangan batu mulia. Propinsi Sulawesi Selatan dapat dikategorikan sebagai salah satu provinsi yang memiliki komunitas pengrajin emas tradisional yang terletak di Kelurahan Malimongan Makassar. Komunitas ini bekerja secara mandiri dan menjual hasil karya mereka pada penjual emas yang terletak di Jalan Somba Opu, Makassar. Komunitas ini telah berkembang dari waktu ke waktu, namun usaha ini masih menggunakan cara –cara tradisional untuk mengolah biji emas yang ada menjadi perhiasan siap pakai.

1. Alat dan Bahan Pengolahan Emas Secara Tradisional

Pada proses pengolahan biji emas menjadi perhiasan alat dan bahan yang digunakan adalah:

- a. Gunting : Berukuran panjang rata-rata 17 cm, digunakan untuk menggunakan kawat atau lembaran emas

- b. Patul : Alat penjepit emas yang sedang dikerjakan, berbentuk seperti tang dengan ukuran 17 cm
- c. Musa : Wadah seperti mangkok kecil dari gerabah dengan ukuran diameter 8 cm, digunakan sebagai tempat peleburan emas
- d. Penjepit : Alat penjepit musa saat peleburan emas
- e. Lumpangan : Berbentuk persegi panjang dengan dua alur cekungan, bahan besi baja berfungsi sebagai cetakan emas
- f. Puputan : Sebagai kompor dalam peleburan emas
- g. Mesin : Alat roll press, untuk mempress batangan emas menjadi tipis
- h. Gum-gum : Alat seperti tang bertangkai panjang , untuk menjepit emas saat di Tarik pada urutan
- i. Tukul : Palu kecil untuk membentuk emas
- j. Landasan : Digunakan sebagai landasan saat memukul emas
- k. Urutan : Alat berbentuk persegi panjang berlubang – lubang dengan diameter kecil yang berguna untuk membentuk rantai
- l. Soloman : Sebagai pegangan untuk ukuran gelang atau cincin
- m. Suntikan : Plat kecil dengan ukuran 20 cm, digunakan untuk membuat hiasan gores pada emas
- n. Patri : Alat pematri yang dipanaskan dengan pancaran api
- o. Gergaji : Digunakan untuk memotong emas yang tidak

muat pada gunting besar

- p. Jangka : Digunakan untuk membuat pola lingkaran dan busur
- q. Ukuran : Ukuran standar gelang atau cincin Cincin/ Gelang
- r. Acuan : Digunakan dalam mencetang gelang keroncong
- s. Setangkup : Digunakan untuk mencetak giwang dan Mata gelang
- t. Aqua Regia : Campuran antara HCL dan Asam Nitrat yang digunakan saat peleburan emas
- u. Tawas : Digunakan dalam proses pencucian emas yang telah terbentuk

2. Proses Pengolahan Emas Secara Tradisional

Bahan baku kerajinan emas biasanya berbentuk blok mas. Emas dalam kondisi ini disebut emas masak yang berarti emas yang siap untuk diproses menjadi perhiasan. Emas blok ini terlebih dahulu akan dilebur dengan Aqua Regia, dengan menggunakan wadah penampung yang ada. Selanjutnya dilakukan peleburan dengan lempengan tembaga (Cu). Langkah ini untuk membuat perhiasan yang sesuai dengan kadar emas yang diinginkan dan juga nilai jualnya. Proses selanjutnya emas akan dicairkan pada wadah pencairan dan penuang (musa).

Proses pencairan ini menggunakan api yang sangat panas dan merubah bentuk emas dari padat menjadi cair yang berlangsung selama 15-20 menit dengan titik lebur emas adalah $1.064,43^{\circ}\text{C}$. Cairan tersebut lalu dituang dan di dinginkan pada

cetakan / acuan perhiasan yang diinginkan. Langkah pengerjaan secara manual dengan palu dan ukiran dilakukan pada emas yang telah mengeras. Pada tahap akhir, setelah emas berupa perhiasan yang disesuaikan bentuk dan ukurannya, perhiasan tersebut kemudian dicuci dalam wadah yang mengandung larutan air, tawas dan garam. Proses terakhir ini akan memberikan efek kilap dan berkilau pada perhiasan yang dibentuk (Prayoga, Mardiani, 1999)

F. Tinjauan Umum Metode Inductively Coupled Plasma

Bahan pencemar yang berbahaya di lingkungan dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Perhitungan konsentrasi bahan pencemar seperti logam pada tubuh manusia dapat dilakukan dengan menggunakan metode Atomic Absorption Spectrometry, Atomic Emission/ Fluorescence Spectrometry (AES/AFS), Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), Neutron Activation Analysis (NAA), dan Anodic Stripping Voltammetry (Helaluddin et al., 2016)

Penelitian menggunakan metode ICP-MS dan ICP-OES untuk mengetahui konsentrasi polutan banyak dilakukan di negara berkembang. Metode ini menitik beratkan pada memecah partikel sampel sampai ukuran atom atau ion-ion, sehingga perhitungan konsentrasi lebih akurat. Dalam penelitian Helaluddin (2016) juga menyampaikan beberapa penelitian yang telah menggunakan ICPMS/ ICP-OES sebagai metode pengujian konsentrasi. Penelitian di Turki menunjukkan adanya kandungan logam As, Cu, Zn, Cd dan Pb pada

sampel minuman ringan dengan nilai 0.037,0.070,0.143,0.005, dan 0.029 ppm. Konsentrasi 10 logam ditemukan pada ikan di laut Parangipettai (pantai tenggara India) dengan metode ICP-OES. Perhitungan konsentrasi logam pada pengrajin emas di Kelantan dilakukan dengan ICP-OES dengan temuan rata-rata konsentrasi dari 40 pengrajin emas 35,4 μ g/g (Abidin et al., 2015).

Penggunaan metode ICP-OES untuk mengetahui logam berat dan logam berbahaya pada perokok di Arab Saudi menunjukkan metode ini dapat mendeteksi konsentrasi logam berat dan logam berbahaya dengan baik (Alrobaian and Arida, 2019). Saat ini pemeriksaan konsentrasi polutan untuk penelitian ARKL di Indonesia masih menggunakan metode AAS et al, 2015; Mallongi et al., 2018; Suhelmi, 2018; Limbong, 2019). Hambatan utama dalam pemilihan metode adalah terbatasnya laboratorium yang dapat melaksanakan pengujian ICP-MS atau ICP-OES.

Secara umum perbedaan antara ICP dan AAS dilihat dari berbagai sudut anatara lain : 1) Kemampuan deteksi konsentrasi ICP-MS/ ICP-OES lebih baik dari AAS; 2) Pemilihan dan penggunaan sampel lebih besar dan mudah pada AAS; 3) Biaya operasional yang lebih tinggi dari AAS. Persamaan dari ketiga metode adalah seluruhnya harus dilakukan oleh tenaga yang ahli dan sesuai pada bidangnya (Muhammad Amin et al., 2018)

G. Tinjauan Umum Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

1. Pengertian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) atau *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) dapat diartikan sebagai suatu metode efektif dalam menilai atau membuat kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan. Faktor lingkungan yang berupa faktor fisik, kimia, biologis adalah penyebab dari risiko lingkungan. Indonesia belum secara luas menerapkan ARKL/EHRA, dalam konteks Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) kajian yang dilakukan masih bersifat epidemiologis, berbanding terbalik dengan beberapa negara maju yang telah menggunakan ARKL sebagai acuan untuk pengambilan keputusan

IPCS (2004) mendefinisikan analisis risiko sebagai proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memprediksi risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau (sub) populasi, termasuk identifikasi probabilitas yang mungkin terjadi, setelah terpajan oleh agent tertentu, dengan memperhatikan karakteristik pada agent dan karakteristik sasaran yang spesifik.

Pengertian lain dari analisis risiko adalah karakterisasi efek-efek yang memiliki kemampuan untuk menurunkan kesehatan manusia oleh pajanan bahaya lingkungan (Aldrich dan Griffith, 1993). Sejalan dengan ini menurut NRC (1983) analisis risiko dapat dijadikan suatu alat pengelola risiko, proses penilaian

bersama anata ilmun dan birokrat untuk memprakirakan peningkatan risiko kesehatan pada manusia yang terpajan.

Sementara Food and Drug Administration (2002) memberikan pengertian analisis risiko berdasarkan aktifitas yang dilakukan dengan seluruh komponennya, yaitu risk assessment, risk management dan risk communication activity. Hal ini dijadikan alat untuk mengembangkan ilmu dasar tentang kebijakan, yang setiap komponennya saling berhubungan dan memiliki tanggung jawab mendasar (Mallongi, 2019)

Analisis risiko diartikan suatu kegiatan yang sistematis untuk menganalisa dan memperkirakan risiko dalam berbagai bidang antara lain kesehatan lingkungan, toksikologi, hygiene industry, keselamatan kerja, prediksi cuaca, dan perilaku sosial. Sehingga dapat diambil kesimpulan analisis risiko adalah sebuah analisis yang menggunakan informasi dari suatu zat toksin pada lokasi tertentu untuk memprakirakan risiko yang mungkin terjadi terhadap masyarakat apabila terpajan, sehingga dapat dibuat suatu keputusan atau tindakan untuk melindungi masyarakat tersebut (Soemirat, 2013)

Informasi bahan berbahaya dapat diperoleh dari data lingkungan dan institusi terkait. Bahan berbahaya menjadi sumber risiko pada lingkungan. Risiko dapat didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya kerusakan atau penderitaan akibat suatu bahaya, dan bersifat preventif atau mencegah

karena perhitungan besar kerusakannya dilakukan sebelum terjadi dan komponen utama dari risiko adalah frekuensi pajanan, durasi pajanan dan keparahan outcome. (Soemirat, 2013)

Menurut WHO (2000) risiko adalah satu konsep matematis yang mengarah pada probabilitas terjadinya efek yang tidak diinginkan akibat pemaparan terhadap suatu polutan. Tujuan pengkajian risiko adalah untuk menentukan tingkat pemaparan terhadap suatu zat kimia yang dianggap tidak berisiko cukup besar terhadap kesehatan manusia dan ekosistem tertentu.

Sementara Rahman (2007) yang dikutip dalam Ezra Limbong (2019) menerangkan bahaya lingkungan terdiri atas tiga *risk agent* yaitu *chemical agents* (zat kimia), *physical agents* (energi radiasi dan gelombang elektromagnetik berbahaya) dan *biological agents* (makhluk hidup atau organisme). Analisis risiko digunakan untuk menghitung pemajanan yang telah lampau (*past exposure*), dengan efek yang merugikan sudah atau belum terjadi, dan studi prediksi risiko pemajanan yang akan datang (*future exposure*).

2. Tujuan dan Paradigma Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

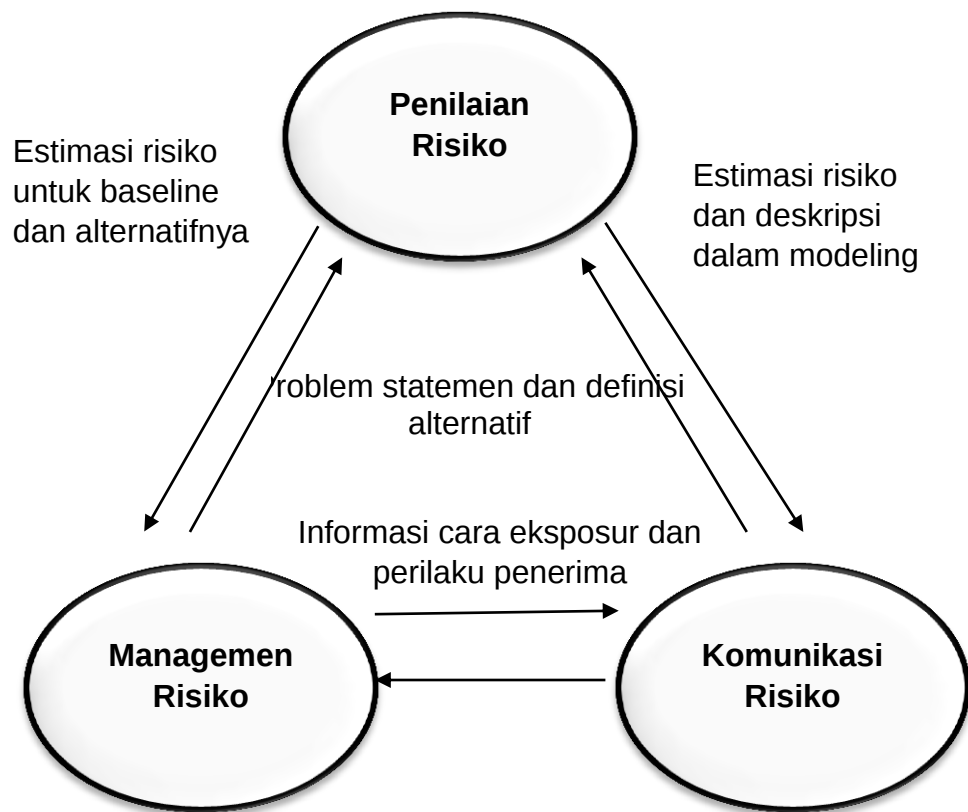
Menurut Anwar Mallongi (2019) tujuan dilakukan suatu analisis risiko adalah untuk mengetahui besaran risiko yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai dasar atau latar belakang pengambilan suatu keputusan dalam manajemen risiko. Dalam pelaksanaannya keputusan yang diambil dalam membuat

managemen risiko juga dapat dipengaruhi oleh politik, ekonomi, sosial dan faktor lainnya. Hal yang fundamental dalam suatu penilaian analisis risiko adalah:

- a. Digunakan sebagai cara untuk memperhitungkan batasan atau efek terburuk yang dapat terjadi walau tanpa prakiraan awal
- b. Dapat membantu decision maker dalam mengambil keputusan
- c. Mengestimasi batasan risiko yang dapat ditoleransi oleh individu atau populasi yang terpapar

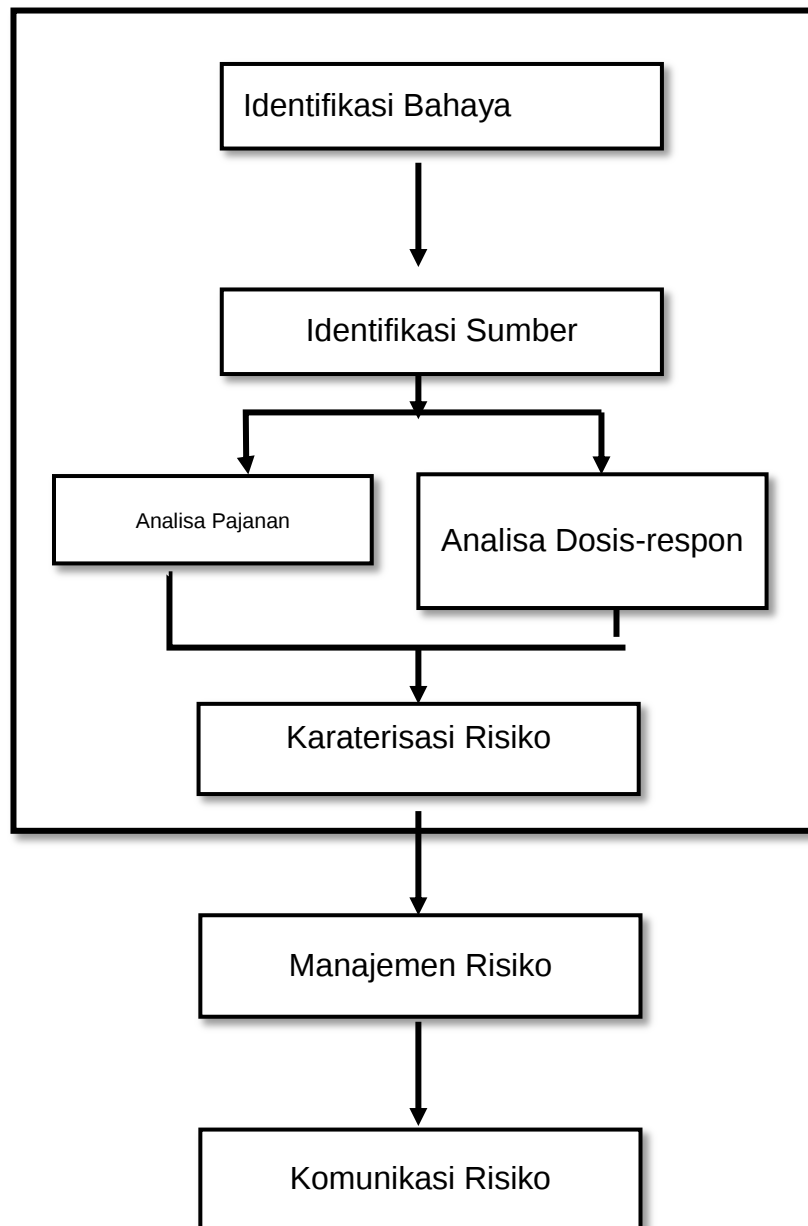
Pandangan mengenai paradigma risk analysis untuk kesehatan masyarakat dikemukakan pertama kali oleh US National Academic of Science (US-NRC) pada tahun 1983 untuk menilai risiko kanker dalam bahan makanan yang mengandung bahan kimia dengan kesimpulan penelitian (research), analisis risiko (risk assessment) dan manajemen risiko adalah tiga langkah dalam melakukan risk analysis. Analisis risiko sendiri dilakukan melalui tahap identifikasi bahaya (hazard identification), analisis dosis-respon (*dose-response assessment*), analisis pemajanan (*exposure assessment*) dan karakteristik risiko (*risk characterization*) (Mallongi, 2019)

Pemahaman ini kemudian berkembang dan oleh American Chemical Society (ACS) dikembangkan menjadi penilaian risiko (risk assessment), manajemen risiko (risk management) dan komunikasi risiko (risk communication).



Gambar 2. 3 Hubungan antara risk assessment, risk management dan risk communication

International Programme on Chemical Safety (IPCS) melakukan suatu telaah tentang metode analisis risiko dan manajemen risiko selanjutnya membuat suatu kesimpulan bahwa langkah-langkah analisis risiko dan manajemen risiko tidaklah bergerak lurus dan hanya satu arah, melainkan berupa proses siklus yang interaktif dan terkadang mengalami pengulangan. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam analisis risiko :



Gambar 2. 4 Langkah-Langkah Analisis Risiko (Louvar JF dan Loufar BD 1989 dalam Ezra Limbong (2019))

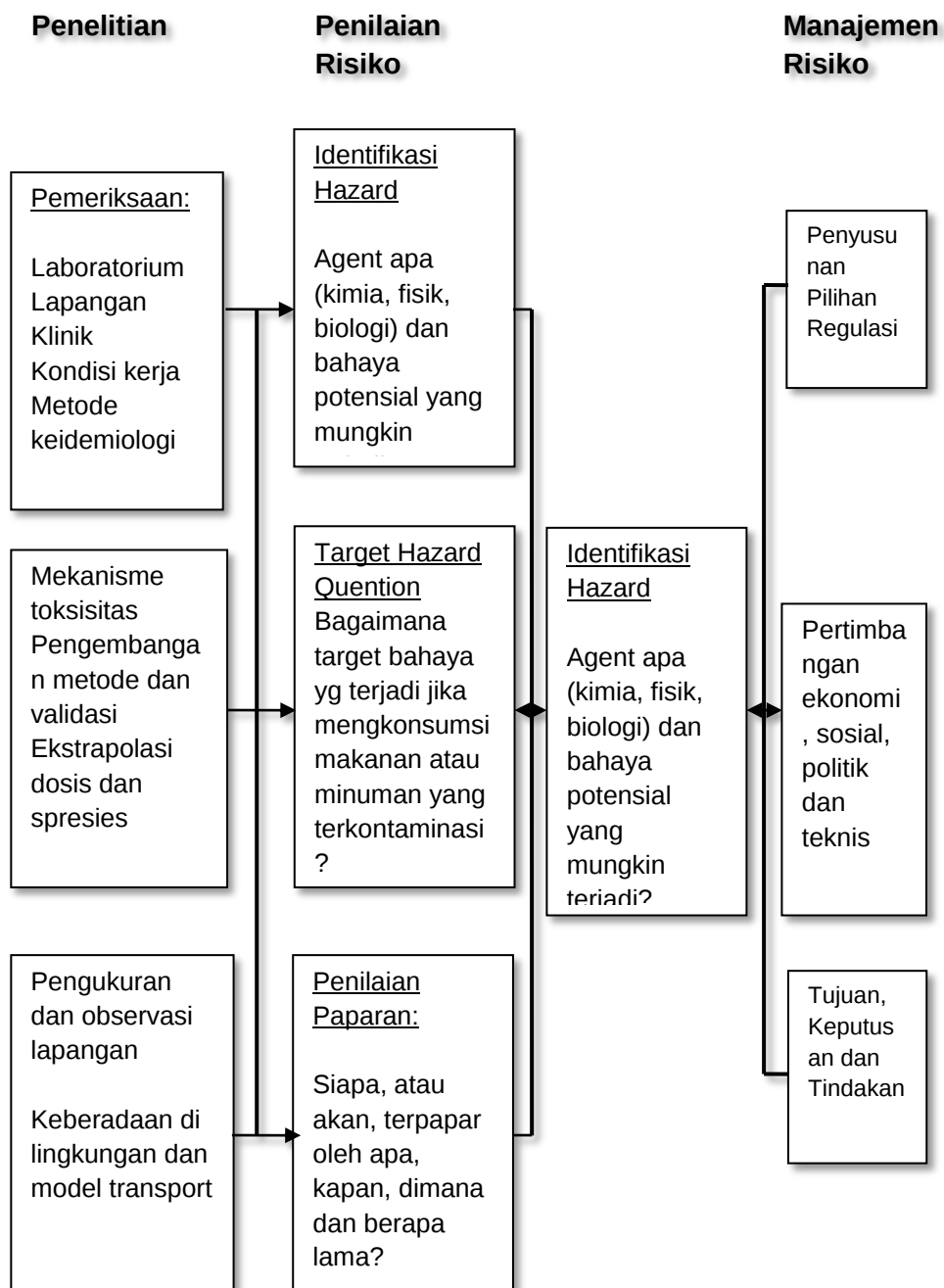
Selanjutnya melalui International Programme on Chemical Safety (IPCS) dikemukakan suatu pandangan bahwa prosedur pelaksanaan suatu analisis risiko dan manajemen risiko adalah kegiatan berulang dan tidak bersifat satu arah. Berdasarkan hal

tersebut WHO (2004) mengharuskan suatu analisis risiko hendaklah dimulai dengan dilakukannya analisis risiko pendahuluan yang bersifat subjektif dan informal.

Tahapan ini merupakan langkah untuk memastikan urgensi analisis risiko formal pada suatu kasus. Transisi ke arah analisis risiko formal yang merupakan suatu proses interactive yang memudahkan persinggungan kritis analisis risiko dengan manajemen risiko yang selanjutnya dikenal sebagai proses perumusan masalah adalah definisi dari proses analisis risiko pendahuluan.

Managemen risiko dibuat dengan tujuan melindungi masyarakat agar tidak sakit akibat pajanan yang diterima. Ditegaskan bahwa suatu populasi yang dapat beradaptasi, atau suatu wilayah yang tidak berpenduduk, dan bahan bahaya yang ada tidak dapat menimbulkan kerusakan pada wilayah tersebut, maka pada akhirnya dapat disebut dengan tidak rawan terhadap bahaya (pos hoc) (Soemirat, 2013). Analisis risiko

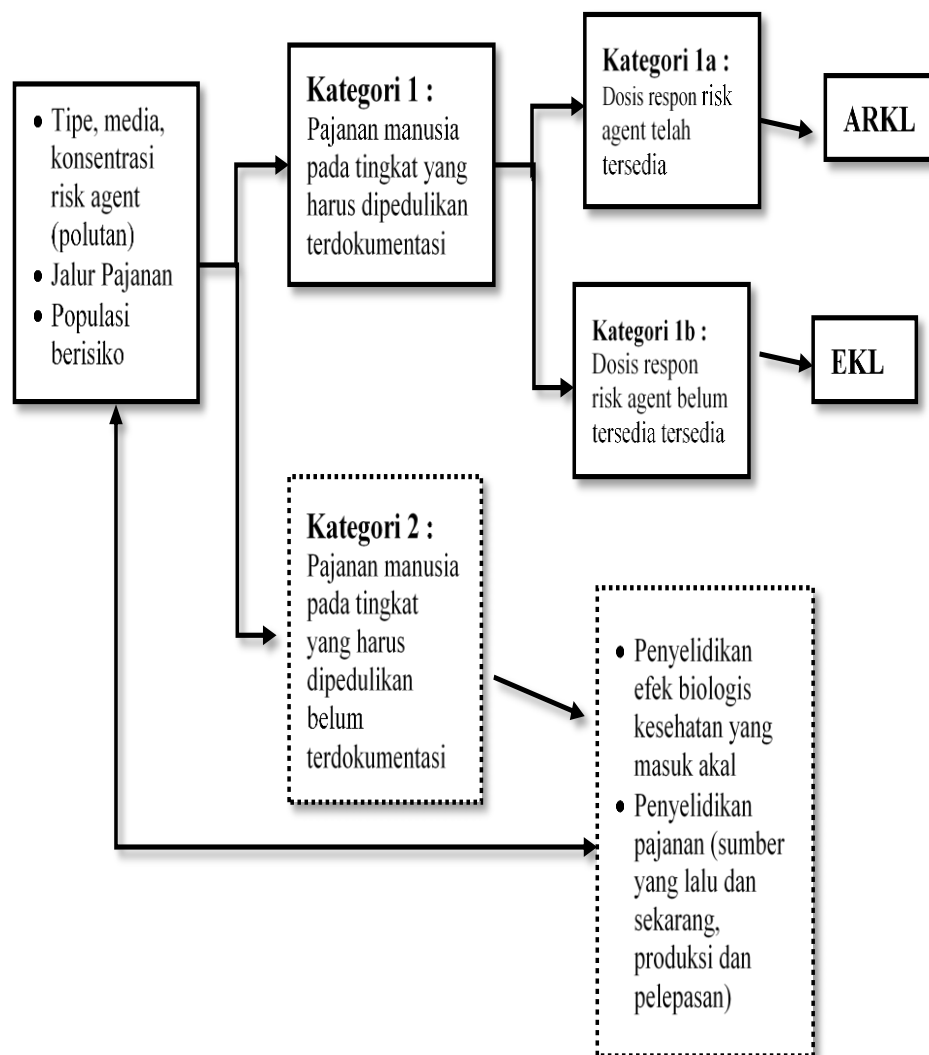
Metode, teknik dan prosedur analisis risiko kesehatan lingkungan saat ini bersifat agent specific dan site specific yang dikembangkan dari paradigma seperti di bawah ini :



Gambar 2. 5 Paradigma analisi risiko (NRC,1983; Mallongi, 2019)

3. Dasar dan Prosedur Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menurut *National Research Council* (NRC) secara umum terdiri dari empat tahap kajian yaitu; *hazard identification, analysis of exposure, dose-respon analysis, dan risk characterisation*.



Gambar 2. 6 Ilustrasi logika pengambilan keputusan untuk menentukan tipe studi yang dapat dilakukan dalam mempelajari efek lingkungan terhadap kesehatan manusia (Rahman, 2007; Mallongi, 2019)

Prosedur pelaksanaan kegiatan diatas tidak menuntut untuk dilakukan secara berurutan pada setiap langkah, kecuali untuk karakterisasi risiko yang harus dilakukan sebagai tahap akhir. Karakterisasi risiko kesehatan pada populasi berisiko dinyatakan secara kuantitatif dengan menggabungkan hasil dari analisis dosis-respon dengan analisis paparan. Nilai risiko yang diperoleh dalam bentuk numerik menunjukkan estimasi risiko kesehatan yang kemudian digunakan untuk merumuskan pilihan-pilihan manajemen risiko yang dapat dilakukan untuk mengendalikan risiko tersebut. Sebagai tahap akhir dari analisis risiko manajemen risiko tersebut kemudian dikomunikasikan ke pihak-pihak yang berkepentingan agar risiko potensial dapat diketahui, diminimalkan atau dicegah.

4. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko secara umum adalah suatu prosedur litratif dengan hasil akhir perhitungan terhadap risiko potensial akibat paparan dari suatu agent. Penekanan definisi pada konteks akibat paparan bahan kimia tertentu yang persisten dan mengganggu pada kesehatan manusia. Tujuan dari penilaian ini adalah untuk melihat beberapa skenario paparan dan menghitung risiko tambahan yang terkait dengan masing-masing skenario serta keseluruhan skenario yang timbul dari semua skenario yang digabungkan.

ATSDR (2005) mensyaratkan kajian ARKL dimulai dengan melakukan pemeriksaan secara teliti terkait ketersediaan data dan informasi yang meliputi ; 1) jenis spesi kimia agent risiko, 2) dosis referensi untuk setiap spesi kimia agent risiko, 3) media lingkungan tempat agen berada (udara, air, tanah dan pangan), konsentrasi agent risiko dalam media lingkungan yang bersangkutan, 5) jalur-jalur pajanan agent risiko (sesuai media lingkungannya), 6) populasi dan sub-sub populasi yang berisiko dan 7) gangguan kesehatan (gejala penyakit atau penyakit) yang terindikasi sebagai efek pajanan agent risiko yang merugikan kesehatan pada semua segmen populasi berisiko.

Informasi minimal yang harus tersedia sebelum melaksanakan ARKL adalah informasi pada no 1 sampai 4. Terdapat dua bentuk kajian ARKL yang dapat dilakukan yaitu:

- a. Evaluasi di atas meja (desk evaluation), selanjutnya disebut ARKL meja. ARKL meja dilakukan untuk menghitung estimasi risiko dengan segera tanpa harus mengumpulkan data dan informasi baru dari lapangan. Evaluasi di atas meja hanya membutuhkan konsentrasi agent risiko dalam media lingkungan bermasalah, dosis referensi agent risiko dan nilai default faktor-faktor antropometri pajanan untuk menghitung intake atau asupan menurut **persamaan (1)**.
- b. Kajian lapangan (field study), selanjutnya disebut ARKL lengkap. ARKL lengkap pada dasarnya sama dengan evaluasi

di atas meja namun didasarkan pada data lingkungan dan faktor-faktor pemajanan antropometri sebenarnya yang diperoleh dari lapangan bukan dengan asumsi atau stimulasi. Kajian ini memerlukan data dan informasi tentang jalur pemajanan dan populasi berisiko.

Berikut adalah langkah-langkah ARKL meja maupun ARKL field study:

a. Identifikasi Zat Berbahaya (hazard identification)

Tahap awal analisis risiko kesehatan lingkungan untuk mengenali risiko disebut juga identifikasi bahaya atau *hazard identification*. Informasi terkait hal ini dapat digali dari berbagai sumber dan penggunaan agent oriented. Identifikasi bahaya juga bisa dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap gejala penyakit yang berkaitan dengan toksisitas risk agent di masyarakat yang telah terkumpul pada studi terdahulu.

b. Analisis Pemajanan (exposure assessment)

Perkiraan penyebaran atau analisis pemajanan merupakan penilaian kontak terhadap suatu populasi yang mungkin terkena dampak. Perkiraan penyebaran adalah salah satu segi dalam analisis risiko yang menghitung besarnya level pemajanan sebenarnya dari individu atau popuasi yang terpapar. Tujuan umum exposure assessment adalah mengetahui jalur-jalur pajanan risk agent sehingga jumlah asupan yang diterima oleh individu dalam populasi berisiko dapat di ketahui. Penilaian exposure merupakan

tahap penting dari pelaksanaan ARKL, dimana validitas kuantitatif dan penilaian risiko tergantung dari penilaian pajanan (exposure assessment). Tingkat pajanan di ukur berdasarkan frekuensi dan durasi pemaparan pada media seperti tanah, air, udara, dan makanan. Estimasi pajanan maksimum lingkungan dengan memanfaatkan informasi yang ada dilakukan pada proses penilaian. Data dan informasi yang dibutuhkan untuk menghitung asupan adalah semua variabel yang terdapat dalam persamaan (1) (ATSDR, 2005)

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Persamaan (1)

Keterangan:

- I : Asupan (intake), mg/kg/hari
- C : Konsentrasi risk agent, mg/m³ (udara), mg/L (air minum), mg/kg (pangan/makanan)
- R : Laju asupan atau konsumsi, m³/ jam (inhalasi), L/hari (air minum), g/hari (makanan)
- t_E : Waktu pajanan
- f_E : Frekuensi pajanan
- D : Durasi pajanan, tahun (real time atau default)
- W_b : Berat badan (kg)
- t_{avg} : Periode waktu rata-rata (30 x 365 hari /tahun untuk realtime, 70 tahun x 365 hari/ tahun untuk lifetime)

Pada penelitian (Cheng *et al.*, 2018) ditegaskan bahwa ARKL yang dilakukan termasuk didalamnya perhitingan risiko karsinogenik dan nonkarsinogenik yang mengikut kepada metode yang dikeluarkan oleh US Environmental Proction Agency (US-EPA). Dimana Cu tidak

termasuk dalam element trace / logam penyebab kanker sesuai dengan EPA (2011), jalur pajanan pada penelitian diasumsikan hanya melalui inhalasi maka perhitungan intake harian atau life time .

Tabel 2. 6 Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dari dalam analisis pajanan

No	Aspek –Aspek	Keterangan
1	Agent	Biologis kimia, fisika, agen tunggal, berganda dan campuran
2	Sumber	Antropogenik/non antropogenik, titik bergerak/ diam, indoor/outdoor
3	Media pembawa (carrier medium)	Air, udara, tanah, debu, makanan, produk
4	Jalur pajanan (exposure pathway)	Memakan makanan yang terkontaminasi, menghirup udara yang terkontaminasi, menyentuh permukaan benda
5	Konsentrasi pajanan	Mg/kg (makanan), mg/liter (air), $\mu\text{m}/\text{cm}^3$ (udara), $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ (permukaan terkontaminasi, % (berat)
6	Rute pajanan	Inhalasi, kontak kulit, ingesti, kontak berganda
7		Detik, menit, jam, hari, minggu, bulan, tahun, seumur hidup
8	Frekuensi	Kontinu,intermiten,bersiklus, acak
9	Latar Pajanan	Lingkungan kerja/ bukan lingkungan kerja, pemukiman atau bukan pemukiman, indoor/ outdoor
10	Populasi terpajan	Populasi umum sub populasi individu
11	Lingkup geografis	Tempat/ sumber spesifik, lokal, regional, nasional, internasional, global
11	Kerangka waktu	Masa lalu, sekarang, masa depan, trend

Sumber WHO (2000)

Konsentrasi risk agent di lingkungan dilakukan sesuai dengan hasil karakterisasi statistiknya. Nilai aritmatik mean digunakan jika distribusi konsentrasi risk agent normal, sedangkan jika tidak normal maka harus digunakan log normal atau mediannya. Kondisi normal atau tidaknya distribusi konsentrasi risk agent dapat ditentukan dengan menghitung *coeficiente of variance* (VoC) yaitu SD (standar deviasi) dibagi mean. Jika nilai $VoC \leq 20\%$ distribusi dianggap normal dan karena itu dapat digunakan nilai mean (NRC, 1983 dalam Mallongi 2019).

c. Analisa Dosis Respon

Analisis dosis-respon, disebut juga dose-response assessment atau toxicity assessment, digunakan untuk menetapkan nilai-nilai kuantitatif toksisitas risk agent pada setiap bentuk spesi kimianya. Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (reference doses atau RfD) untuk efek non karsinogenik dan cancer slop faktor (CSF) atau cancer unit risk (CUR) untuk efek-efek karsinogen. Analisis dosis-respon merupakan tahap yang paling krusial karena ARKL hanya bisa dilakukan jika risk agent yang di analisa telah ada dosis responnya.

Menurut IPCS, reference dose adalah toksisitas kuantitatif nonkarsinogenik, menyatakan estimasi dosis pajanan harian yang diperkirakan tidak menimbulkan efek merugikan kesehatan meskipun berlanjut sepanjang hayat atau terus menerus (Rahman, 2007 dalam Mallongi 2019). *Dosis referensi* dibedakan untuk pajanan oral atau tertelan (ingesti untuk makanan dan minuman) yang disebut RfD dan

untuk pajanan inhalasi disebut *reference concentration* (RfC). Dalam analisis dosis-respon, dosis dinyatakan sebagai risk agent yang terhirup (inhaled), tertelan (ingested) atau terserap melalui kulit (absorbed) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari) (US-EPA, 1997 dalam Mallongi, 2019).

Dosis yang digunakan untuk menetapkan RfD adalah dosis yang menyebabkan efek paling rendah yang disebut NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) atau LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level). NOAEL adalah dosis tertinggi suatu zat pada studi toksisitas kronik atau subkronik yang secara statistik atau biologis tidak menunjukkan efek merugikan pada hewan uji pada manusia sedangkan LOAEL berarti dosis terendah yang masih menimbulkan efek.

Dosis respon dalam penelitian ini dinyatakan sebagai risk agent yang terhirup (inhaled) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari) sebagai rujukan konsentrasi risk agent yang tidak menimbulkan masalah kesehatan sepanjang hayat (IPCS, 2004). Sampai saat ini nilai Reference Concentration untuk tembaga (Cu) dan PM₁₀ belum tersedia pada Integrated Risk Information System (IRIS) maupun Minimum Risk Level (MRL) tabel sehingga nilai konsentrasi referensi PM₁₀ dicari berdasarkan baku primer (primary standart) National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) (Gusti et al., 2018)

Nilai referensi konsentrasi (RfC) untuk PM₁₀ adalah sebesar 70 µg/m³ (arithmetic mean tahunan). Berdasarkan konsentrasi aman I=RfC artinya intake aman pada responden sebesar nilai RfC, dengan nilai default R=0,83 m³/jam, t_E=24 jam/hari, f_E=350 hari/ tahun, W_b=70 kg, t_{Avg}=365 hari/tahun. Maka nilai konsentrasi referensi (RfC) PM₁₀ adalah 0,019 mg/kg/hari.

Sementara nilai referensi (RfC) untuk Cu dengan konsentrasi nilai ambang batas Cu 11.3 µg/g, dan dihitung dengan nilai default R=0,83 m³/jam, t_E=24 jam/hari, f_E=350 hari/ tahun, W_b=70 kg, t_{Avg}=365 hari/tahun. Maka nilai konsentrasi referensi (RfC) Cu adalah 3.08 mg/kg/hari.

d. Karakterisasi Risiko

Tahapan akhir dari suatu penilaian risiko adalah karakterisasi risiko. Karakterisasi harus dibuat transparan /transparent, jelas/clear, konsisten/consistent, dan masuk akal / reasonable (TCCR) (Soemirat, 2013). Penentuan karakteristik risiko di bagi menjadi karsinogenik dan nonkarsinogenik.

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai Risk Quotient (RQ) untuk efek-efek non karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (Ink) risk agent dengan RfD atau RfC nya menurut persamaan 2 (ATSDR, 2005)

$$RQ = \frac{Ink}{RfC}$$

Persamaan (2)

Baik Ink atau RfC/ RfD harus spesifik untuk setiap spesi kimia, risk agent dan jalur pejanannya. Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ \geq 1$. Jika $RQ \leq 1$, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan RQ_{cum} dengan menjumlahkan seluruh RQ yang diperoleh. Untuk estimasi target tingkat bahaya (THQ) yang berpotensi terjadi jika seseorang menghirup udara yang terkontaminasi oleh bahan kimia/kontaminan toksik tertentu yang bersifat non karsinogenik menggunakan persamaan 3 yaitu :

$$THQ = \frac{EF \times ED \times R \times C}{RfC \times W \times AT} \times 10^{-3} \quad \text{Persamaan (3)}$$

e. Manajemen Risiko

Berdasarkan karakteristik risiko, dapat dirumuskan pilihan-pilihan manajemen risiko untuk meminimalkan RQ dan efek risk agent dengan mengubah nilai faktor-faktor pemajanan yang tercakup dalam persamaan (1) sedemikian rupa sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. Berikut manajemen risiko yang dapat dilakukan untuk meminimalisir pengaruh negatif dari pemajanan, yaitu :

1. Menurunkan konsentrasi risk agent bila pola dan waktu konsumsi tidak dapat diubah. Cara ini menggunakan prinsip $Ink = RfD$, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$C = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t} \quad \text{Persamaan (4)}$$

2. Mengurangi pola (laju) konsumsi bila konsentrasi risk agent dan waktu konsumsi tidak dapat diubah. Persamaan yang digunakan untuk manajemen risiko cara ini adalah :

$$R = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t} \quad \text{Persamaan (5)}$$

3. Mengurangi waktu kontak bila konsentrasi risk agent dan pola konsumsi tidak dapat diubah. Cara ini juga sering digunakan dalam strategi studi epidemiologi kesehatan lingkungan. Persamaan yang digunakan adalah :

$$D_t = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E} \frac{L}{hari} \quad \text{Persamaan (5)}$$

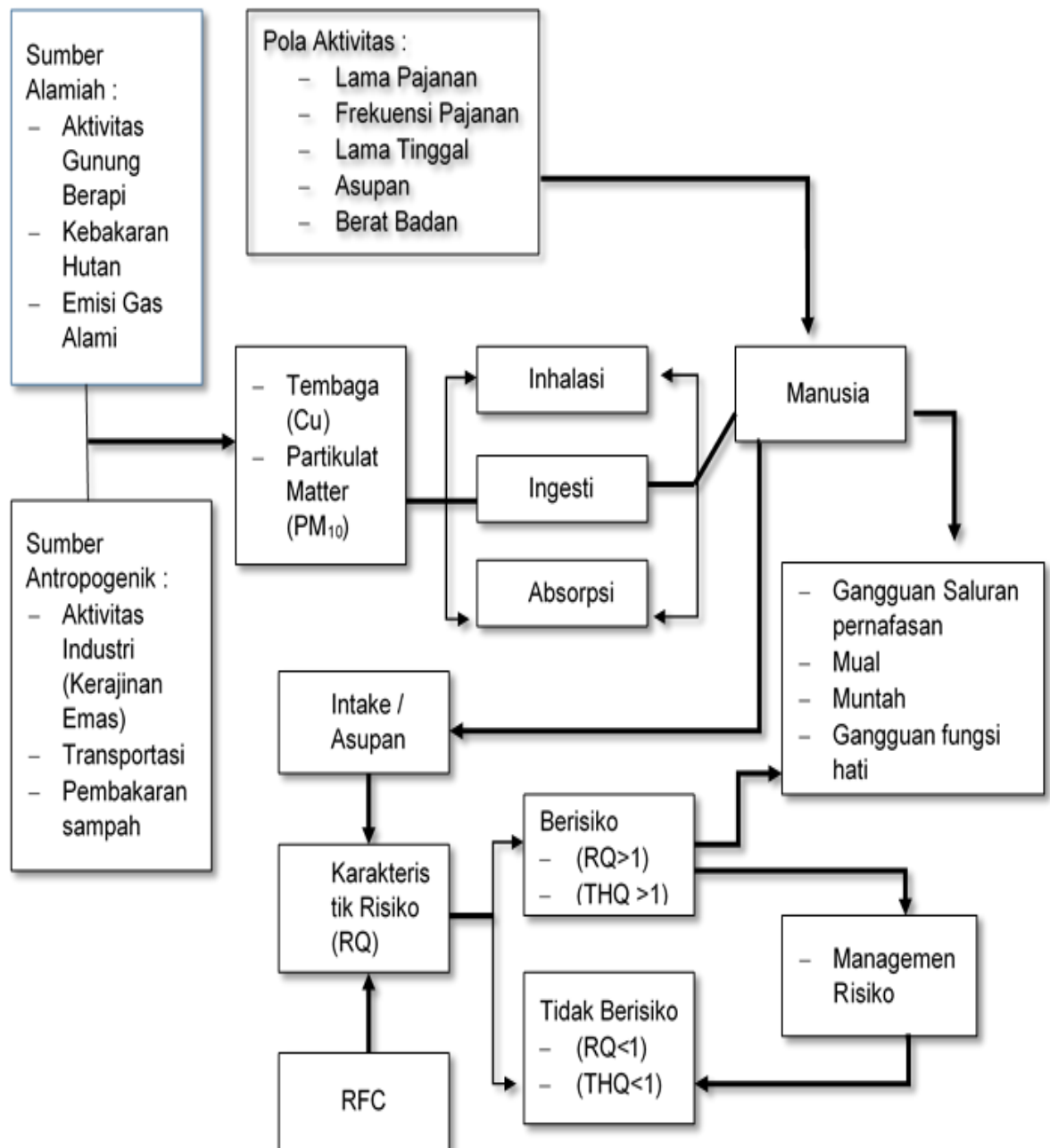
Keterangan

- C : Konsentrasi risk agent, mg/m³ (udara), mg/L (air minum), mg/kg (pangan/makanan)
- R : Laju asupan atau konsumsi, m³/jam (inhalasi), L/hari (air minum), gr/hari (makanan)
- t_E : Waktu pajanan
- f_E : Frekuensi pajanan
- D_t : Durasi pajanan, tahun (real time atau proyeksi 30 tahun untuk nilai default residensial)
- W_b : Berat badan (kg)
- t_{avg} : Periode waktu rata-rata

H. Kerangka Teori

Peningkatan pemakaian perhiasan pada masyarakat menjadi salah satu alasan peningkatan usaha dalam bidang produksi perhiasan. Pengrajin emas di Kelurahan Malimongan merupakan usaha kecil masyarakat yang bergerak dalam produksi perhiasan emas dan turunannya secara tradisional. Pekerjaan ini mengharuskan kontak dengan bahan kimia antara lain tembaga (Cu), Aqua Regia, tawas, dan garam (NaCl). Selain menggunakan bahan kimia, proses produksi juga melibatkan aktivitas fisik seperti memahat, memukul dan membakar yang menjadi salah satu sumber PM₁₀. Hampir 100% pengrajin emas menggunakan rumah sebagai tempat tinggal dan bengkel/ workshop untuk produksi perhiasan.

Masyarakat yang tinggal dan bekerja bersama keluarga dapat memiliki risiko kesehatan akibat terpajan dengan bahan berbahaya seperti Cu dan PM₁₀. Besaran toksikan yang masuk ke tubuh masyarakat dan memungkinkan terjadinya efek kesehatan disebut intake. Intake tersebut akan sangat dipengaruhi oleh faktor antropometri/pola aktivitas masyarakat meliputi lama pajanan, frekuensi pajanan, lama tinggal, asupan dan berat badan. Intake tembaga (Cu) dan partikulat (PM₁₀) oleh tubuh manusia dapat melalui jalur ingesti, inhalasi maupun dermal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan analisis risiko kesehatan lingkungan yang bertujuan mengetahui tingkat risiko kesehatan masyarakat yang disimbolkan dengan RQ, target bahaya atau THQ, dan manajemen risiko.



Gambar 2. 7 Kerangka Teori dimodifikasi dari Ilham (2012) dan Limbong (2018)

I. Kerangka Konsep

1. Dasar Penentuan Variabel

Peningkatan usaha dan produksi akan menghasilkan bahan buangan / sisa ke lingkungan. Bahan buangan tersebut dapat berupa zat cair, padat atau gas. Rendahnya pengolahan dan

pengawasan terhadap barang buangan di lingkungan akan berdampak kepada lingkungan dan kesehatan manusia. Tembaga (Cu) merupakan salah satu bahan utama yang digunakan oleh pengrajin emas di Malimongan sebagai campuran bahan alloy terhadap emas. Tembaga dipilih karena merupakan padanan yang sangat baik dengan emas dan perak serta dapat dijangkau oleh masyarakat. Dalam proses produksi perhiasan pengrajin yang tinggal dan menetap di Malimongan memanfaatkan rumah sekaligus sebagai tempat produksi perhiasan emas. Kondisi ini menyebabkan orang lain selain pengrajin emas tersebut dapat terpajan dengan tembaga selama tinggal dan menetap di rumah tersebut.

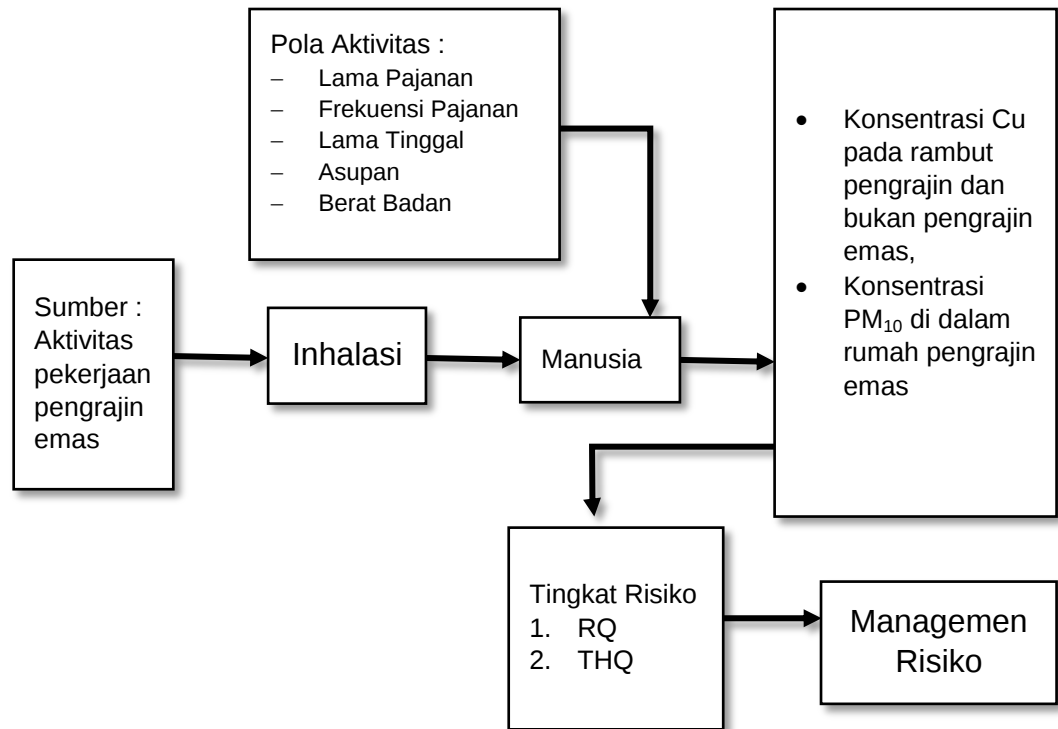
Proses pembuatan perhiasan dilakukan secara tradisional menggunakan tenaga manusia. Bahan baku yang dibakar, dileburkan, di pukul dan cuci di tempat pemrosesan perhiasan tersebut sehingga menimbulkan PM_{10} didalam dan disekitar rumah. Kedua parameter tersebut menjadi salah satu sumber pencemar akibat pekerjaan pengrajin emas. Cu dan PM_{10} dapat menimbulkan bahaya dan risiko untuk masalah kesehatan terhadap pengrajin emas dan orang lain yang menetap dan tinggal di rumah tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu analisis risiko kesehatan lingkungan dengan mengetahui tingkat risiko masyarakat (RQ) target bahaya (THQ) dan manajemen risiko sebagai upaya pengendalian terhadap pajanan tembaga (Cu) dan PM_{10} pada komunitas Satando yang ada di Malimongan.

2. Bagan Rancangan Penelitian

Dalam penentuan tingkat risiko dan tingkat bahaya akibat pajanan tembaga (Cu) dan PM_{10} pada manusia sangat dipengaruhi oleh konsentrasi tembaga (Cu) dan PM_{10} pada udara dan pola aktivitas yang terdiri dari lama pajanan, frekuensi pajanan, lama tinggal, asupan dan berat badan. Laju asupan merupakan jumlah udara terhirup oleh seseorang setiap harinya melalui pernafasan /inhalasi. Semakin besar laju asupan maka semakin besar tingkat risiko dan target bahaya seseorang terpajan oleh sumber polutan yang terkandung dalam udara yang dihirup sehingga dapat dibuat suatu manajemen risiko dalam upaya mengurangi laju paparan bahan polutan terhadap manusia.

3.

Tingkat risiko dan tingkat bahaya berkaitan dengan lama seseorang berada di tempat yang bersumber bahan polutan. Peluang seseorang terpajan bahan polutan akan semakin besar jika seseorang tinggal dan menetap pada daerah yang terpajan. Frekuensi pajanan merupakan total jumlah hari dalam setahun seseorang berada pada daerah atau wilayah dan menghirup udara yang sudah terkontaminasi bahan polutan sedangkan berat badan merupakan faktor utama dalam menghitung laju asupan karena semakin besar berat badan seseorang maka semakin kecil dosis internal yang diterima. Dengan demikian kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 8 Kerangka Konsep penelitian

J. Definisi Operasional

1. Konsentrasi tembaga (Cu) adalah besarnya konsentrasi senyawa (Cu) pada rambut pengrajin emas dan bukan pengrajin emas yang dianalisa dari rambut responden dengan metode Inductively Couplet Plasma
2. Konsentrasi PM₁₀ adalah besarnya konsentrasi PM₁₀ di dalam rumah pengrajin emas pada masyarakat di Kelurahan Malimongan yang dianalisa dengan metode Low Volume Sampler
3. Intake adalah besaran konsentrasi Cu dan PM₁₀ yang masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi / pernafasan dengan satuan mg/Kg/hari yang dihitung dengan persamaan 1 :

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

4. Tingkat risiko (RQ) adalah nilai prakiraan besarnya kemungkinan terjadinya gangguan kesehatan pada responden akibat efek pajanan senyawa (Cu) dan PM₁₀ melalui inhalasi selama tinggal dan bekerja di Malimongan yang dihitung dengan persamaan 2 :

$$RQ = \frac{Ink}{RfC}$$

Kriteria objektif :

Berisiko : jika nilai RQ > 1

Tidak berisiko: jika nilai RQ ≤ 1

5. Estimasi target tingkat bahaya (THQ) yang berpotensi terjadi jika seseorang menghirup udara yang terkontaminasi oleh bahan kimia/kontaminan toksik tertentu yang bersifat non karsinogenik menggunakan persamaan 3

$$THQ = \frac{EF \times ED \times R \times C}{RfC \times W \times AT} \times 10^{-3}$$

6. Manajemen risiko sebagai alternative cara untuk mengurangi atau mengelola risiko dengan modifikasi faktor-faktor pemajanan dalam persamaan 1 menjadi perhitungan dengan persamaan 4,5, dan 6 sebagai berikut:

- a. Menurunkan konsentrasi risk agent bila pola dan waktu konsumsi tidak dapat di ubah (mg³/hari)
- $$C = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t}$$

b. Menurunkan laju asupan $R = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t}$
(mg³/jam)

c. Mengurangi durasi pajanan $D_t = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E}$
(tahun)

7. Frekuensi pajanan (f_E) adalah jumlah hari dalam setahun responden terpajan oleh senyawa (Cu) dan PM₁₀ melalui inhalasi. Nilai frekuensi pajanan (f_E) diperoleh dengan mengurangi jumlah hari dalam setahun (365 hari) dengan jumlah hari ketika keluar atau tidak berada di rumah pada daerah yang terpajanan polutan.
8. Durasi pajanan (D_t) adalah lama tinggal masyarakat pada lokasi penelitian (tahun).
9. Laju asupan (R) adalah laju inhalasi /pernafasan oleh masyarakat dimana dalam penelitian ini penetapan laju asupan mengacu pada standar yang digunakan US-EPA yaitu 0,83 m³/hari untuk orang dewasa
10. Berat badan (W_b) adalah jumlah massa tubuh responden yang diukur saat penelitian dilakukan dengan menggunakan timbangan dalam satuan kilogram dengan merek LAICA PS 2022 Timbangan Analog
11. t_{avg} adalah periode waktu rata-rata (30 tahun untuk non karsinogenik dan 70 tahun untuk karsinogenik)
12. RfC adalah dosis referensi untuk Cu dan PM₁₀ yang masuk melalui inhalasi, dihitung dengan menganggap Intake= RfC pada kondisi normal

K. Tabel Sintesa

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul (Lokasi Penelitian)	Metodologi	Hasil
1	Anwar Mallongi M.Najib Bhustan, Nur Juliana Herawati (Mallongi et al., 2018)	Risk Assessment due to the exposure of Copper and Nitrogen Dioxide in the Goldsmith in Malimongan Makassar (Makassar-Indonesia)	Desain penelitian observasional analitik dengan pendekatan ARKL (Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan)	- Hasil perhitungan konsentrasi tembaga seluruhnya dibawah 1 mg/m³ dan 23 responden (76,7%) diantaranya memiliki RQ>1 atau berisiko akibat terpapar Cu. - Waktu, frekuensi dan durasi pajanan sangat mempengaruhi dari ukuran asupan yang diperoleh oleh pengrajin emas - Hasil perhitungan risiko akibat pajanan NO₂ seluruhnya tidak berisiko dengan RQ < 1
2	Novita Sekarwati, Bardi Murachman, Sunarto (Sekarwati et al., 2015)	Dampak Logam Berat Cu (Tembaga Dan Ag (Perak) Pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur Dan Kesehatan Masyarakat Serta Upaya Pengendalian Nya Yogyakarta	Desain penelitian adalah Cross Sectional	- Hasil penelitian menunjukkan untuk parameter pada air limbah Ag (<0.0059) < dari Baku Mutu yang ditetapkan melalui Peraturan Gubernur No. 7 Tahun 2010 (0,1) - Parameter Ag (84,9350) > dari ketentuan PerGub (0,6). - Hasil penelitian untuk upaya pengendalian menggunakan enceng gondong menunjukkan mengalami penurunan pada hari ke -4 sebesar 0,82 mg/l menjadi 1.56 mg/l. Rat-rata penurunan pada hari ke -8 sebesar 1,003 mg/l menjadi 0.54 mg/

3	Vinda Agita Ediputri, Pertiwi Andarani, Irawan Wisnu Wardhana (Ediputri et al., 2017)	Analisis Risiko Logam Berat (Pb Dan Cu) Dalam Total Suspended Particulate (TSP) Terhadap Kesehatan Siswa Dan Guru Di Sekolah Dasar (Studi Kasus : SDN Pandean Lamper 01 Dan SDN Srandol Wetan 03) (Semarang-Indonesia)	1. Desain penelitian adalah observasional analitik 2. Pengukuran konsentrasi logam berat pada TSP dengan metode Inductively Coupled Plasma (ICP)	1. CR _{ing} Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper ($1,85 \times 10^{-6}$) dan berisiko kanker 2. CR _{inh} tertinggi di SDN Pandean Lamper $5,002 \times 10^{-10}$ dan tidak berisiko kanker 3. HI Cu tidak berisiko karena berada dibawah batas toleransi risiko
4	Subhashis Sahu, Biswajid Roy, Subhabrata Moitra (Sahu et al., 2013)	Assessment of the lung function status of the goldsmith working in unorganized sector of India (India)	Desain penelitian case control . Total sampel adalah 184, dengan kelompok kontrol 66 dan ETA1 waktu bekerja <5 tahun (28),ETA2 waktu bekerja 5 s/d 10 tahun (34),ETA3 waktu bekerja >10 tahun (56)	1. Hasil analisa menunjukkan penurunan fungsi paru-paru pengrajin emas dengan signifikansi ($P<0.01$) dibandingkan dengan kelompok kontrol 2. Perbandingan antar group juga menunjukkan kemerosotan fungsi paru paru yang berasosiasi dengan waktu pajanan dan lama kerja pada pengrajin emas

5	SP Choudhari, RS Doiphode, Khaled Mohsin Badaam, Ahmed Munibuddin M, ST Khan	Study of Pulmonary Functions in Goldsmith Worker : A CrossSectional Study (India)	Desain penelitian adalah studi Cross Sectional.	Hasil penelitian menunjukkan secara statistik untuk FVC, FEV dan MVV adalah signifikan dengan P value < 0.05. yang mengindikasikan perubahan fungsi paru pada pengrajin emas di Aurangabad India
(Choudhari et al., 2014)				
6	Sandipan Ganguly, Avijiv Guray	Socio-economic Profile of Gold Mongers and Goldsmiths -A Case Study of Sonapatti Area in Barddhaman Town of West Bengal (India)	Desain penelitian adalah studi kasus di Barddhaman, Bengal Barat India	1. Proses penambangan dan pengolahan biji emas sangatlah berbahaya dan melibatkan penggunaan bahan bahan berbahaya seperti Sianida dan Merkury. 2. Secara umum 78% Industri perhiasan merupakan indutri lokal dan toko pribadi, terjadi pemrosotan minat bagi kawula muda untuk bekerja sebagai pengrajin emas.
(Ganguly dan Guray, 2015)				

Siti Nur Athirah Amanah, Emilia Zainal Abidin, Sarva Mangala Praveena, Sharifah Anita Abdul Rahman (Amanah et al., 2015)	Heavy Metals (Pb and Cu) Assessment in Hair Samples of Goldsmiths in Kelantan, Malaysia (Malaysia)	1. Desain penelitian adalah cross sectional 2. Metode pengujian menggunakan Inductively Coupled Plasma (ICPOES)	Adanya korelasi positif yang signifikan yang menunjukkan kemungkinan pengrajin emas terpajan dengan debu logam selama bekerja 3.
Siti Nur Athirah Amanah, Emilia Zainal Abidin, Sarva Mangala Praveena, Sharifah Norkhadijah Syed Ismail, Anita Abdul Rahman (Amanah et al., 2015)	Heavy Metals (Pb and Cu) Assessment in Hair Samples of Goldsmiths in Kelantan, Malaysia (Malaysia)	3. Desain penelitian adalah cross sectional 4. Metode pengujian menggunakan Inductively Coupled Plasma (ICPOES)	Adanya korelasi positif yang signifikan yang menunjukkan kemungkinan pengrajin emas terpajan dengan debu logam selama bekerja

9	Thunwadee Srithawirat, Mohd Talib Latif, Fazrul Razman Sulaiman (Srithawirat et al., 2016)	Indoor PM ₁₀ and its heavy metal composition at a roadside residential environment, Phitsanulok, Thailand (Thailand)	Observasional dengan pendekatan Risk Assessment from risk carsinogenic metal	1. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi dari PM ₁₀ adalah 41.5 hingga 105.3 $\mu\text{g m}^{-3}$, dan 95.2 hingga 145.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ untuk indoor dan outdoor 2. Hasil pengukuran risiko menunjukkan Cr memiliki ECR _s tertinggi dari seluruh logam yang diteliti
10	Jing Zhang, Lin Wu, Xiaozhen Fang, Fenghua Li, Zhiwen Yang, Ting Wang, Hongjun Mao, Enqi Wei (Zhang et al., 2018)	Elemental Composition and Health Risk Assessment of PM ₁₀ and PM _{2.5} in the roadside Microenvironment in Tianjin, China (China)	Observasional dengan pendekatan Health Risk Assessment	Hasil penelitian menunjukkan CR (Cancer Risk) As,Co,Cd,Cr,Ni, dan Pb pada PM _{2.5} dan PM ₁₀ berkisar antara 1.58×10^{-5} sampai 4.95×10^{-5}
11	Giulia Paoloci, Lisa Bauleo, Ilenia Murgia, Giacomo Muzi, (Paoloci et al., 2020)	Industrial Air Pollution and Respiratory Health Status Among Residents in an Industrial Area in Central Italy	Desain penelitian adalah cross sectional	Ditemukan asosiasi antara konsentrasi PM ₁₀ dengan rendahnya parameter untuk fungsi paru-paru (FEV1: β = -0.12, 95% CI -0.21- 0.03; p= 0.02; FEV1/FVC: β = -1.67, (-3.10-0.23); p = 0.02)

12	Jingmei Dong, Su Zhang, Li Xia, Yi Yu, Shuangshuang Hu, Jingyu Sun, Ping Zhou, Peiji Chen (Dong et al., 2018)	Physical Activity, a Critical Exposure Factor of Environmental Pollution in Children and Adolescents Health Risk Assessment (China)	Penelitian observasional dengan pendekatan Environmental Health Risk Assessment	Penelitian ini memberikan saran kepada pemerintah agar dapat menerbitkan petunjuk teknis / handbook yang berkaitan dengan pajanan polutan pada anak-anak. Selanjutnya diperlukan penelitian dan survey secara nasional yang dapat memberikan promosi dan pengetahuan berkaitan dengan faktor pajanan yang terjadi pada anak-anak dan usia muda dewasa di China.
13	Xin Cheng, Yi Huang, Shi-Peng Zhang, Shi-Jun Ni, Zhi-Ji Long (Cheng et al., 2018)	Characteristics, Sources, and Health Risk Assessment of Trace Elements in PM ₁₀ at an Urban Site in Chengdu, Southwest China (China)	Penelitian observasional dengan pendekatan Environmental Health Risk Assessment	1. Analisis menunjukkan bahwa As, Pb,Zn,Cu,Cd, berasal dari sumber antropogenik. 2. Lima faktor diidentifikasi melalui PMF model dengan hasil sumber tersebut adalah debu tanah (48.4%), debu jalan (19.4%), permbakaran bahan bakar fosil (14.9%), industry electroplating (13.8%) dan industry metalurgi (3.5%) 3. EHRA menunjukkan Cr dapat menyebabkan kanker pada anak-anak dan dewasa
14	Sujie Zhang, Zhenzheng Wei, Wenliang Liu, (Zhang et al., 2015)	Indicators for Environment Health Risk Assessment in the Jiangsu Province of China (China)	Analytical Hierarchy Process (AHP)	Hasil dari penelitian digunakan sebagai latar belakang ilmiah dan saintifik pembuatan regulasi berkaitan isu lingkungan dan kesehatan di Jiangsu, China.

15	Mona Elbarbary, Trenton Honda, Geoffrey Morgan, Paul Kowal, Joel Negin (Elbarbary et al.,2020)	Ambient Air Pollution Exposure Association with Anaemia Prevalence and Hemoglobin Levels in Chinese Older Adult	Desain penelitian adalah cohort	Seluruh polutan yang diteliti memiliki hubungan yang signifikan dengan peningkatan prevalensi anemia dan penurunan kadar haemoglobin pada orang dewasa usia lanjut cina.
16	Majed Alrobaian, Hassan Arida (Alrobaian dan Arida, 2019)	Assessment of Heavy and Toxic Metals in Blood and Hair of Saudi Arabia Smokers Using Modern Analytical Techniques	1. Desain penelitian adalah cross sectional 2. Pemeriksaan logam berat dengan (ICP-AES)	Hasil uji ICP-AES menunjukkan terdapat Cd,Pb,As,Hg,Se,Mn,Zn,Cr dan Ni pada darah dan rambut respondent baik yang merokok menggunakan pipa dan yang tidak. Bahkan beberapa parameter memiliki nilai yang melebihi yg diperbolehkan.
17	Nur A. S Feisal, V. How, Hashim, W.F W.Azmi, Z.F Anual R. Shaharudin (Feisal et al., 2019)	The Determinant of Heavy Metals Concentration in Hair by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry	Menggunakan SOP pelaksanaan ICP MS	Hasil pengukuran Ni,As, Cd dan Pb pada 10 rambut semuanya dapat dideteksi menggunakan metode ICP-MS. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran logam pada rambut menggunakan metode ICP-MS valid, lebih sensitive, akurat dan telah dikembangkan.

18	M. Angelova S. Asenova V. Nedkova (Angelova et al., 2011)	Copper in The Human Organism	Reiew	Tembaga merupakan logam esensial yang dibutuhkan oleh organisme. Defisiensi atau kelebihan dari logam akan memberikan efek bagi tubuh makhluk hidup
19	Alicia A.Taylor Joyce S.Tsuji Michael R (Alicia et al.,2020)	Critical Review of Exposure and Effects:Implication for setting regulatory Health Criteria for Ingested Copper	Critical Review	Nilai RfD kronik untuk Cu adalah 2.7 mg/hari atau 0.04 mg/kg/hari untuk kategori lifetime