



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS RISIKO DAN GAMBARAN SPASIAL PAJANAN PM_{2.5}
DI UDARA AMBIEN (*OUTDOOR*) DI SIANG HARI TERHADAP
MASYARAKAT DI KAWASAN INDUSTRI**
(Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang
Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang, Tahun 2012)

SKRIPSI

RANDY NOVIRSA
0806323012

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM KESEHATAN MASYARAKAT
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS RISIKO DAN GAMBARAN SPASIAL PAJANAN PM_{2.5}
DI UDARA AMBIEN (*OUTDOOR*) DI SIANG HARI TERHADAP
MASYARAKAT DI KAWASAN INDUSTRI
(Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang
Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang, Tahun 2012)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Kesehatan Masyarakat**

**RANDY NOVIRSA
0806323012**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM KESEHATAN MASYARAKAT
DEPOK
JULI 2012**

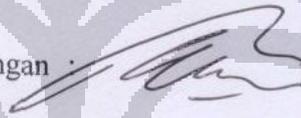
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri sebagai penulis dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Randy Novirsa

NPM : 0806323012

Tanda tangan :



Tanggal : 2 Juli 2012

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Randy Novirsa

NPM : 0806323012

Program : Sarjana (S1)

Tahun Akademik : 2008

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiat dalam penulisan skripsi ini yang berjudul :

Analisis Risiko dan Gambaran Spasial Paparan PM_{2.5} di Udara Ambien (Outdoor) Pada Siang Hari Terhadap Masyarakat di Kawasan Industri. (Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, 2012)

Apabila suatu saat nanti ditemukan tindakan plagiat dalam penulisan skripsi ini, saya siap ditindak sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 10 Juli 2012



(Randy Novirsa)

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Randy Novirsa

NPM : 0806323012

Program Studi: Kesehatan Masyarakat

Peminatan : Kesehatan Lingkungan

Judul Skripsi : Analisis Risiko dan Gambaran Spasial Paparan PM_{2.5} di Udara Ambien (*Outdoor*) Pada Siang Hari Terhadap Masyarakat di Kawasan Industri (Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, 2012).

Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada program studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.

Dewan Penguji

Pembimbing : Prof. Dr. Umar Fahmi Achmadi, MPH, Ph.D (.....)

Penguji 1 : drg. Sri Tjahjani Budi Utami, M.Kes (.....)

Penguji 2 : Dr. Riris Nainggolan, SKM, M.Si (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Randy Novirsa
Tempat, tanggal lahir : Balai Selasa, 25 November 1990
Jenis kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Handphone : 085719737981
Universitas : Universitas Indonesia
Fakultas : Fakultas Kesehatan Masyarakat / Kesehatan Lingkungan –
2008

1. Riwayat pendidikan

No	Pendidikan	Tahun masuk	Tahun lulus
1	SDN 1 Ranah Pesisir	1996	2002
2	SMP 1 Ranah Pesisir	2002	2005
3	SMA 1 Ranah Pesisir	2005	2008

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Randy Novirsa

NPM : 0806323012

Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat

Departemen : Kesehatan Lingkungan

Fakultas : Kesehatan Masyarakat

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Risiko Dan Gambaran Spasial Paparan PM_{2.5} Di Udara Ambien (Outdoor) Di Siang Hari Terhadap Masyarakat Di Kawasan Industri
(Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang, Tahun 2012)

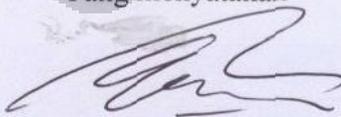
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2012

Yang menyatakan



(Randy Novirsa)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah mengkarunikan rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat memiliki kesempatan dan kekuatan untuk menyelesaikan Skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan berdasarkan analisis masalah-masalah kesehatan lingkungan yang terjadi di masyarakat, khususnya di bidang aktivitas industri. Industri sebagai roda ekonomi juga memberikan dampak terhadap kesehatan lingkungan.

Skripsi ini mencoba memberikan analisis risiko pemajanan polutan dari suatu industri terhadap masyarakat yang tinggal di kawasan tersebut. Penulis sebagai mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi suatu masalah dan memberikan penyelesaian sebagai solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut. Harapannya, hasil penulisan ini dapat menjadi pertimbangan dan rujukan bagi pemerintah atau pihak terkait dalam menyelesaikan masalah-masalah mengenai kesehatan di lingkungan kawasan industri.

Penulisan laporan ini tidak terlepas dari dukungan banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Umar Fahmi Achmadi sebagai pembimbing akademis yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan, ilmu dan nasehat beliau akan selalu teringat dalam kehidupan penulis.
2. Kedua penguji skripsi saya, yaitu Ibu drg. Sri Tjahjani Budi Utami, M.Kes dan Ibu Dr. Riris Nainggolan, SKM, M.Si yang telah memberikan masukan dan kritik yang menambah pengetahuan penulis dalam penulisan skripsi. Selain itu juga menyadarkan saya betapa pentingnya metode sebuah penelitian.
3. Bapak Andika selaku kepala lingkungan hidup PT Semen Padang memberikan bantuan dan fasilitas alat ukur $PM_{2.5}$ selama penulis menyelesaikan kegiatan turun lapangan.
4. Bapak Drs. Abdur Rahman, M.Env yang telah memberikan banyak masukan dan arahan dalam menggunakan metode ARKL pada penulisan skripsi ini.

5. Pak Nasir, Pak Tusin, dan Bu Itus, Staf KL FKM UI, yang selalu membantu penulis dalam setiap keperluan akademis selama menyelesaikan studi di FKM UI.
6. Orang tua tercinta, Herman dan Neneng, Adik-adik, dan Nenek penulis yang selalu memberikan motivasi, saran, nasehat, doa, dan segala fasilitas agar penulis dapat menjalani segala kegiatan di kampus dengan lancar dan dapat melakukan yang terbaik. Semoga kita berkumpul kembali di surgaNya kelak.
7. Teman-teman K3LH PT Semen Padang yang selalu membantu dalam pengumpulan data dan mengajak keliling pabrik untuk mendapatkan pengalaman di lapangan. Terima kasih untuk Bang Pernandes, Deni, Nanda, Bang Am, Kak Neng, Kak Teli, Bang Deka, Bang Ilvi, Pak Andhika, dan teman-teman K3LH lainnya.
8. Teman-teman Kesehatan Lingkungan 2008, 2009, 2010, dan ekstensi yang menemani hari-hari penulis selama di kampus dan bertukar pikiran. Terima kasih juga selalu memberikan informasi dan bantuan selama menjalani penulisan skripsi.
9. Teman-teman dekat penulis sebagai keluarga yang selalu setia mendengarkan keluh kesah dalam kesulitan yang dialami penulis. Terima kasih Rico, Adrian, Haerul, Budi, Imam, Ratih, Dian, dan Sifa.
You are incredible mate
10. Teman-teman seperjuangan dakwah di FKM UI : Naufal, Ricky, Zay, Agung, Imin, Udin, Firman, dan Ferdhy yang selalu memberikan masukan, saran, dan motifasi kepada penulis. Terima kasih atas segala tawa dan tangis kalian, semoga kita bisa terus bersama-sama hingga di surga nanti.
11. Teman-teman kontrakan yang selalu menularkan semangat dan motivasi, terima kasih Irsyad, Edo, Iqbal, Dodi, Da Ichsan, Budi, dan Dino.
12. Terima kasih juga buat Zani yang selalu mendorong penulis untuk segera sidang.

13. Radian, Arif, Rio, dan Anggi, sahabat penulis yang telah meluangkan waktunya membantu penulis selama turun lapangan di Kota Padang.
14. Seluruh pihak yang telah membantu demi kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu. semoga amal baiknya diterima disisi Allah Swt.

Akhir kata, penulis mengharapkan kebaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini. Semoga hasil tulisan ini dapat menjadi manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Penulis



ABSTRAK

Nama : Randy Novirsa
NPM : 0806323012
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Judul : Analisis Risiko dan Gambaran Spasial Paparan PM_{2.5} di Udara Ambien (*Outdoor*) Pada Siang Hari Terhadap Masyarakat di Kawasan Industri (Studi Kasus di Kawasan Industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, 2012).

Pengaruh pertumbuhan industri tidak hanya memberikan nilai tambah terhadap perkembangan ekonomi di suatu negara, lebih dari itu industri memberikan andil yang cukup besar memberikan efek negatif terhadap kesehatan lingkungan, khususnya pencemaran partikulat PM_{2.5}. Penelitian ini bertujuan menganalisis besarnya risiko yang muncul pada masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang terhadap paparan PM_{2.5} di udara ambien. Untuk menghitung besarnya risiko dilakukan sampling konsentrasi PM_{2.5} di 10 titik area pada setiap radius 500 meter dan survey antropometri serta pola aktifitas pada 92 masyarakat yang tinggal di kawasan industri tersebut. Hasil perhitungan risiko *lifetime* menunjukkan terdapat 3 area berisiko dengan nilai RQ > 1, yaitu Ring 2 (500-1000 m), Ring 4 (1500-2000 m) dan Ring 5 (2000-2500 m), sedangkan hasil risiko *realtime* yang dihitung berdasarkan lamanya seseorang tinggal di satu daerah terdapat penambahan area berisiko yaitu Ring 1 (0-500 m), Ring 3 (1000-1500 m) dan Ring 10 (4500-5000 m). Area berisiko tersebut terdapat pada area yang lebih dekat dengan sumber pencemar, memiliki intake tinggi, dan pada area dengan tingkat konsentrasi PM_{2.5} tinggi. Daerah paling aman yang dapat dihuni oleh masyarakat di kawasan industri semen adalah diatas 2.5 km dari pusat industri dengan konsentrasi paling aman 0.028 mg/m³.

Kata kunci : Analisis risiko, industri semen, PT Semen Padang, Partikulat, PM_{2.5}

ABSTRACT

Name : Randy Novirsa
NPM : 0806323012
Programs : Public Health Science
Title : Risk Assessment and Spatial Analysis of Ambient Air Particulate (PM_{2.5}) Exposure to Residence at Industrial Area (A Case Study at PT Semen Padang Industrial Area, Lubuk Kilangan Sub-district, Padang, 2012).

The growth of industrial activity is not only provide added value to economic development of a country, further, it's substantially contributed to environmental health problems particularly to the pollution of particulate (PM_{2.5}). This research was aimed to assess the magnitude of emerging health risk of ambient air PM_{2.5} exposure to the residence at PT Semen Padang industrial area. In order to assess the risk, outdoor ambient air PM_{2.5} was observed at 10 points area for every 500 meters and also individual anthropometry and activity pattern have been surveyed to 92 respondents. The results of lifetime risk assessment showed that there are 3 risk area with RQ > 1, they are Ring 2 (500-1000 m), Ring 4 (1500-2000 m) and Ring 5 (2000-2500 m), while the results of realtime assessment which was assessed based on time of people live in the area showed that there are 3 added risk area, they are Ring 1 (0-500 m), Ring 3 (1000-1500 m) and Ring 10 (4500-5000 m). the risk areas is located near to the source of pollutant, high intake of particulate, and high PM_{2.5} concentration. The most secure area which can be inhabited by people in the cement industry is over 2.5 km from the center of the industry with the safest concentration is 0.028 mg/m³.

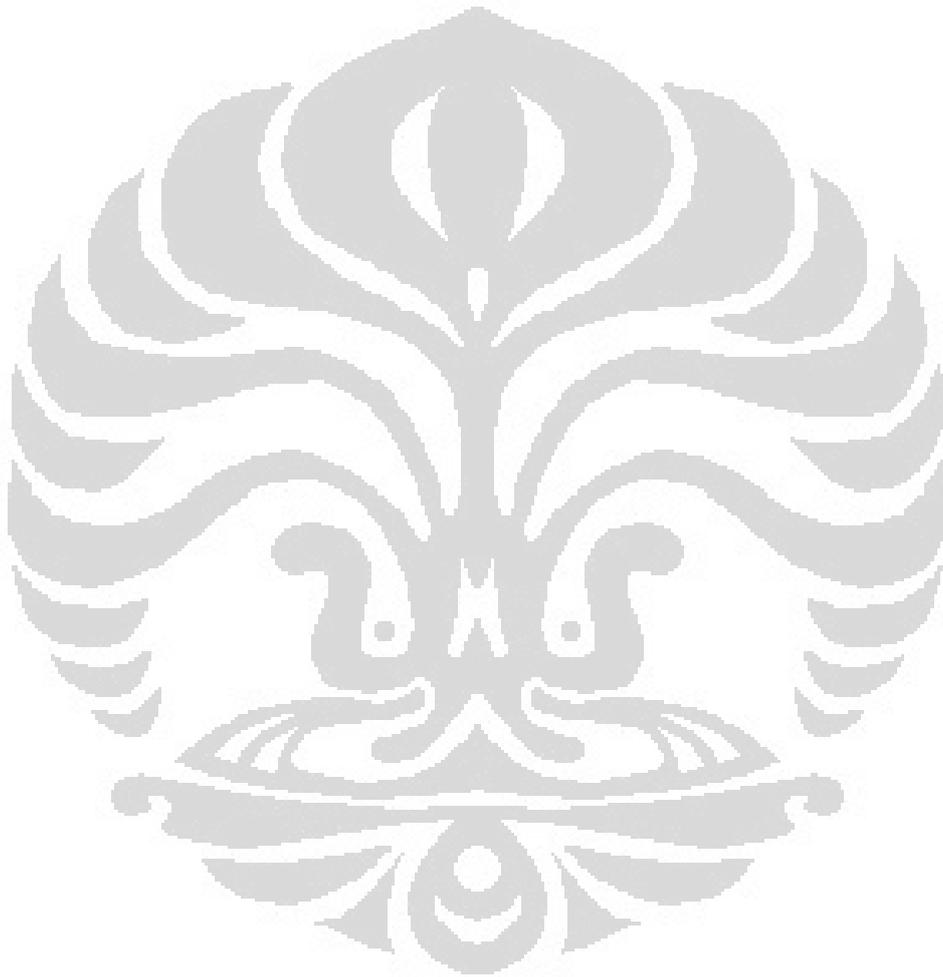
Key words : risk assessment, cement industry, PT Semen Padang, Particulate, PM_{2.5}

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR DAN PETA.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	5
1.3 Pertanyaan Penelitian	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.4.1 Tujuan Umum	6
1.4.2 Tujuan Khusus.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.5.1 Bagi Peneliti	7
1.5.2 Bagi Pihak Industri	7
1.5.3 Bagi Pemerintah	7
1 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Partikulat Matter.....	8
2.1.1 Pengertian Partikulat Matter	8
2.1.2 Karakteristik Partikulat	9
2.1.3 Sumber Partikulat	10
2.1.4 Efek Partikulat Pada Kesehatan	11
2.1.5 Mekanisme Paparan ke Manusia	14
2.1.6 Baku Mutu.....	16
2.1.6.1 Baku Mutu Emisi Tidak Bergerak	16
2.1.6.2 Baku Mutu Ambien.....	17
2.2 Manajemen dan Penilaian Risiko	18
2.2.1 Pengertian Risiko.....	18
2.2.2 Analisis Risiko	20
2.2.2.1 Identifikasi Bahaya	22
2.2.2.2 Penilaian Paparan	23
2.2.2.3 Penilaian Dosis Respons	24
2.2.2.4 Karakterisasi Risiko	25
2.2.3 Manajemen Risiko.....	26
2.2.4 Pengendalian Risiko	26

2.2.5 Komunikasi Risiko	27
2.3 Analisis Spasial	28
2.3.1 Data, Informasi, dan Sistem	28
2.3.2 Sistem Informasi Geografis.....	28
2.3.3 Analisis Spasial	28
2.3.3.1 Operasi Kartografi	29
2.3.3.2 Analisis Data Spasial	29
2.3.3.3 Permodelan Matematika.....	30
2 KERANGKA KONSEP	31
3.1 Kerangka Teori	31
3.2 Kerangka Konsep	32
3.3 Definisi Operasional.....	33
4 METODE PENELITIAN	35
4.1 Rancangan Studi.....	35
4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	35
4.3 Rancangan Sampel	35
4.3.1 Sampel Udara	36
4.3.1.1 Prosedur Pengukuran	36
4.3.2 Sampel Masyarakat.....	37
4.4 Pengumpulan Data	38
4.5 Pengolahan Data.....	39
4.6 Analisis Data.....	40
4.6.1 Analisis Univariat.....	40
4.6.2 Analisis Bivariat	40
4.6.3 Analisis Risiko	40
4.6.4 Analisis Spasial	41
5 HASIL PENELITIAN.....	42
5.1 Gambaran Umum Kecamatan Lubuk Kilangan.....	42
5.2 Profil Umum PT Semen Padang	43
5.3 Proses Produksi	44
5.3.1 Bahan Baku	44
5.3.2 Bahan Tambahan.....	45
5.4 Tahapan Produksi.....	45
5.4.1 Penambangan	45
5.4.2 Penggilingan dan Pencampuran Bahan Baku	46
5.4.3 Pembakaran	47
5.4.4 Penggilingan Semen	47
5.4.5 Pengepakan	48
5.5 Sistem Pengendalian Partikulat.....	48
5.6 Karakteristik Individu.....	49
5.7 Konsentrasi PM _{2.5} di Udara Ambien	50
5.8 Karakteristik Antropometri dan Pola Aktivitas	52
5.9 Analisis Pemajanan	53
5.10 Analisis Dosis Respons	55
5.11 Karakterisasi Risiko	56
5.12 Gejala Gangguan Pernafasan	58
5.13 Manajemen Risiko.....	60
6 PEMBAHASAN	63

6.1 Keterbatasan Penelitian	63
6.2 Konsentrasi PM _{2.5} di Udara	63
6.3 Karakteristik Individu, Antropometri, dan Pola Aktivitas	66
6.4 Analisis Intake dan Risiko	68
6.5 Gambaran Gangguan Pernafasan	71
6.6 Manajemen Risiko.....	72
7 PENUTUP	76
7.1 Kesimpulan	76
7.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR DAN PETA

Gambar 2.1	Diagram Skematik Pahtogenesis Penyakit.....	15
Gambar 2.2	Titik Pajanan Partikulat di Dalam Paru-Paru	16
Gambar 2.3	Paradigma Analisis Risiko	19
Gambar 2.4	Framework Analisis risiko	20
Gambar 3.1	Kerangka Teori.....	31
Gambar 3.2	Kerangka Konsep	32
Peta 4.1	Lokasi Titik Sampling Udara	36
Peta 5.1	Wilayah Administrasi Kecamatan Lubuk Kilangan.....	43
Peta 5.2	Tingkat persebaran konsentrasi PM2.5 di udara ambient	52
Peta 5.3	Besar Intake yang Diterima Oleh Individu	55
Peta 5.4	Daerah Tingkat Risiko <i>Lifetime</i>	58
Peta 5.5	Distribusi Gejala Gangguan Pernafasan	60
Gambar 6.1	Struktur Penyebaran Udara di Siang Hari.....	66

DAFTAR GRAFIK

Grafik 6.1. Konsentrasi <i>Time Weighted Average</i> (TWA) PM2.5 di udara ambient di kawasan industri PT. Semen Padang (mg/m ³)	51
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku mutu emisi tidak bergerak pada industri semen	17
Tabel 2.2	Baku mutu udara ambien nasional PP No.41/1999	17
Tabel 3.1	Definisi Operasional.....	33
Tabel 5.1	Karakteristik Individu Masyarakat di Kecamatan Lubuk Kilangan	49
Tabel 5.2	Konsentrasi <i>Time Weighted Average</i> (TWA) PM2.5 di udara ambient di kawasan industri PT. Semen Padang (mg/m ³)	50
Tabel 5.3	Karakteristik antropometri dan pola aktivitas responden (n = 92)	53
Tabel 5.4	Nilai <i>risk quotient</i> (RQ) <i>lifetime</i> pada setiap ring pengamatan.....	57
Tabel 5.5	Gejala gangguan pernafasan yang dirasakan responden dalam 2 minggu terakhir.....	59
Tabel 5.6	Manajemen waktu pajanan aman yang diperkenankan pada individu yang tinggal di area berisiko.	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan industri saat ini menjadi sektor yang tidak dapat dipisahkan dalam pembangunan ekonomi suatu negara atau bahkan roda perekonomian dunia. Sektor industri telah memberikan kontribusi yang besar seperti pembukaan lapangan kerja, dengan ditemukannya inovasi dalam bidang teknologi, dan berbagai kontribusi lainnya baik dalam bidang ekonomi, politik, dan sosial. Namun, tidak kalah pentingnya kegiatan industri juga memberikan dampak negatif yang cukup besar bagi kesehatan, khususnya kesehatan lingkungan.

Permasalahan lingkungan akibat aktivitas industri pada prinsipnya bervariasi antara tiap-tiap industri. Setiap industri memiliki proses, bahan baku, dan hasil produk yang berbeda. Kegiatan industri ini akan mengeluarkan sisa-sisa proses dalam bentuk zat-zat dan limbah dengan karakteristik tertentu yang dapat menjadi agen polutan lingkungan. Agen-agen polutan ini dapat masuk ke media lingkungan seperti udara, air, tanah, atau makanan. Industri pertambangan emas akan mengeluarkan limbah-limbah logam berat yang akan mencemari perairan, atau zat-zat dioksin dari industri pestisida dapat mencemari kualitas udara. Namun, yang sering menjadi permasalahan saat ini adalah pajanan partikulat di udara yang biasanya bersumber dari transportasi atau kegiatan industri khususnya ukuran $PM_{2.5}$.

Partikulat merupakan zat padat atau cair yang terdispersi di udara dengan ukuran yang lebih besar dari molekul tunggal (diameter besar dari 0,0002 mikron), tetapi lebih kecil dari 500 mikron (Wark and Warner, 1981). Jumlah partikulat ini yang melayang di udara disebut juga dengan Total Partikulat atau *Total Suspended Particulate* (TSP). Partikulat memiliki rentang ukuran yang cukup lebar. Ukuran tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan diameternya yang disebut sebagai diameter aerodinamik (*aerodynamic diameter*). Namun, kelompok ukuran yang paling penting bagi masalah kesehatan adalah *particulate matter* (PM) yang terbagi atas PM_{10} dan $PM_{2.5}$ (Fitria, 2009).

PM₁₀ adalah partikulat berbentuk padat atau cair yang berukuran kurang dari 10 mikron. PM₁₀ dapat bersifat toksik karena mengandung campuran partikulat jelaga, kondensat asam, garam sulfat partikel nitrat, ataupun logam berat. PM₁₀ memiliki istilah lain yang biasa disebut juga dengan *inhalable particles*, *respirable particulate*, *respirable dust*, dan *inhalable dust*. PM_{2.5} memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu kurang dari 2,5 mikron. PM_{2.5} biasanya dihasilkan dari proses pembakaran dan dari reaksi kimia berbagai gas seperti sulfur dioksida, nitrogen dioksida, dan VOCs (*Volatile Organic Compounds*). PM_{2.5} memiliki bahaya yang lebih besar karena dapat masuk ke dalam saluran pernafasan hingga ke alveoli (Fitria, 2009).

Sumber PM_{2.5} banyak dihasilkan dari kegiatan antropogenik seperti transportasi, industri, dan rumah tangga. Sumber dari kegiatan industri biasanya banyak berasal dari kegiatan pertambangan, cerobong asap pabrik, hasil pembakaran, dan industri semen (WHO, 2006). Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Wiguna (2006), partikulat yang berasal dari tungku industri dan industri pengolahan menjadi penyumbang terbesar yaitu 51,27 %. Sedangkan kegiatan industri semen berkontribusi terhadap total emisi partikulat dan menyumbang 5% pada emisi CO₂ global (Zeleeke et al, 2010).

PM_{2.5} yang berasal dari kegiatan antropogenik biasanya banyak berasal dari hasil pembakaran bahan baku fosil. Hasil pembakaran bahan baku fosil banyak mengeluarkan material seperti logam berat dan sulfur dioksida sehingga kandungan PM_{2.5} memiliki tingkat toksisitas yang lebih besar dibanding dengan ukuran partikulat lainnya yang lebih besar. EPA dalam World Bank (1998) mengestimasi 90% dari PM_{2.5} yang dikeluarkan ke udara mengandung sulfur dioksida. Selain ukurannya yang dapat masuk ke dalam sistem paru-paru, hal inilah yang menjadi alasan mengapa WHO merekomendasikan PM_{2.5} sebagai indikator kualitas udara sebagai pengganti dari TSP (WHO, 2003).

Efek kesehatan yang disebabkan oleh partikulat sudah banyak diketahui. Partikulat khususnya PM_{2.5} dapat mengakibatkan infeksi saluran pernafasan akut (ISPA), kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular, kematian dini, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (WHO, 2010). Paparan PM_{2.5} memiliki hubungan dengan munculnya penyakit saluran pernafasan. Selain itu PM_{2.5} juga menjadi

faktor penyebab dalam kematian prematur di seluruh dunia. WHO memperkirakan sekitar 0,8% kematian dini disebabkan oleh penyakit kardiovaskular, bronchitis, kanker trakea dan paru-paru, dan ISPA yang berhubungan dengan pajanan PM_{2,5} di udara (Jimenez et al, 2009).

Anak-anak merupakan kelompok yang paling rentan terhadap pajanan PM_{2,5}. Hal ini disebabkan karena anak-anak memiliki aktivitas yang lebih besar diluar ruangan, selain itu faktor imunitas dan kondisi fisiologi organ yang sedang berkembang juga menjadikan anak-anak lebih mudah sakit dengan pemaparan yang sedikit (Gilliland, 2009). Studi yang dilakukan Koenig et al (1993) di Pacific Northwest terdapat hubungan antara peningkatan konsentrasi PM_{2,5} di udara dengan penurunan fungsi paru pada anak-anak dengan asthma. Anak-anak dengan asthma memiliki kerentanan yang lebih besar dibanding dengan anak-anak dengan kondisi normal. Dalam hal ini kondisi penyakit sebelumnya dapat memperparah kondisi terhadap pajanan partikulat PM_{2,5}.

Selain anak-anak atau balita, orang dewasa juga memiliki kerentanan terhadap pajanan PM_{2,5}. Penelitian pajanan PM_{2,5} di kota Madrid, Spanyol menunjukkan adanya hubungan pada peningkatan konsentrasi rata-rata PM_{2,5} di udara dengan seluruh kematian diatas umur 75 tahun. Relative risk pada peningkatan konsentrasi 25 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ dari PM_{2,5} seluruh kematian 1,057 (1,025–1,088), akibat sirkulasi darah 1,088 (1,041-1,135), dan akibat penurunan fungsi pernapasan 1,122 (1,056 – 1,189). Attributable risk masing-masing adalah 5,41%, 8,12%, dan 10,9% (Jimenez et al, 2009). Selain itu, tingkat resiko pada orang dewasa akan meningkat jika ditemui riwayat berat badan lahir rendah pada orang tersebut (Walter et al, 2009).

Suatu studi eksperimen juga dilakukan pada tikus CD (Sprague-Dawley) untuk melihat efek pajanan partikulat pada perubahan fisiologi sel paru-paru. Tikus yang dipajankan dengan partikulat yang telah dilarutkan dalam larutan garam mengalami peningkatan laktat dehidrogenase (LDH) pada cairan bronchoalveolar lavage (BAL). LDH dalam BAL meningkat sebesar 153% dari keadaan normal. Peningkatan cairan LDH menunjukkan adanya respon inflamasi atau injuri yang diakibatkan oleh peningkatan sel netrofil. Inflamasi inilah yang kemudian mendorong timbulnya ISPA (Dye et al, 2001).

PM_{2.5} yang berasal dari kegiatan antropogenik seperti industri memiliki tingkat toksisitas yang lebih tinggi dibanding yang berasal dari sumber alami (WHO, 2006). Pada industri semen, PM_{2.5} pada umumnya mengandung bahan-bahan seperti trikalsium silikat, dikalsium silikat, beberapa bahan alumina, trikalsium aluminat, besi oksida, dan sedikit heksavalen kromium (Mwaiselage et al, 2006). Paparan dari bahan-bahan tersebut telah terbukti memberikan dampak yang bersifat toksik bagi tubuh manusia, diantaranya menyebabkan iritasi pada mukosa lambung, mukosa paru-paru, gangguan kulit, gangguan pernapasan, dan kanker (Al-Neaimi et al, 2001).

Kecamatan Lubuk Kilangan yang terletak di sebelah barat Kota Padang merupakan wilayah kegiatan industri. Industri yang menjadi pusat pergerakan ekonomi di wilayah ini adalah PT Semen Padang yang telah berdiri sejak 1910. Industri ini telah menjadi lapangan kerja yang menjanjikan bagi masyarakat setempat dan aset yang cukup besar bagi pemerintah daerah. Namun pengaruh negatifnya, masyarakat di Kecamatan Lubuk Kilangan dapat menjadi populasi beresiko terhadap penyakit pernafasan karena industri semen yang berada di wilayah tersebut dapat mengeluarkan PM_{2.5} ke udara.

Berkaitan dengan hal tersebut, berdasarkan data Dinkes Kota Padang tahun 2010 penyakit saluran pernafasan seperti ISPA masih menempati urutan teratas di Kota Padang. ISPA Bukan Pneumoni tahun 2010 sebanyak 84075 kasus naik dibanding tahun 2009 (42076 kasus) dan tahun 2008 (43298 kasus). Sedangkan kasus ISPA Pneumoni sebanyak 1094 kasus , juga naik dibanding tahun 2009 (732 kasus) dan tahun 2008 (929 kasus). Sementara itu pada tahun 2010 di Kecamatan Lubuk Kilangan tercatat jumlah kasus ISPA sebanyak 1573 kasus. Tingginya kasus ini dicurigai sebagai akibat dari paparan PM_{2.5} di udara.

Pencegahan terhadap potensi paparan pencemaran industri telah diatur oleh Kementerian Perindustrian dalam Permenperind No. 35 tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri bahwa jarak industri dari pemukiman masyarakat minimal 2 km. Namun kenyataannya pemukiman masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang berada dalam jarak tidak lebih dari 100 m. Kondisi ini dapat menjadi potensi dan resiko terhadap kesehatan masyarakat setempat.

Penilaian mengenai pengaruh $PM_{2.5}$ di udara dan penyakit pernafasan secara epidemiologi telah banyak dilakukan di berbagai area. Namun, masih sedikit sekali dilakukan penelitian mengenai estimasi resiko terhadap manusia dengan menggunakan karakterisasi pajanan lingkungan, antropometri, dan pola aktivitas. Selain itu analisis resiko pajanan $PM_{2.5}$ di udara terhadap masyarakat juga masih jarang dilakukan di Indonesia. Padahal studi mengenai analisis resiko lingkungan ini tidak hanya bermanfaat dalam pengendalian resiko itu sendiri, tapi juga dapat digunakan sebagai kerangka ilmiah dalam pengambilan keputusan dan kebijakan dalam mengatasi masalah-masalah kesehatan dan lingkungan (Louvar dan Louvar, 1998).

Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti mencoba melihat persebaran pajanan $PM_{2.5}$ di udara berdasarkan jarak dari sumber pajanan secara spasial. Selain itu, konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara perlu dilakukan analisis resiko terhadap masyarakat yang bermukim di kawasan industri PT Semen Padang Kecamatan Lubuk Kilangan untuk melihat seberapa besar resiko yang diterima.

1.2 Rumusan Masalah

Kawasan industri PT Semen Padang memiliki potensi dalam mengeluarkan $PM_{2.5}$ ke udara. $PM_{2.5}$ yang dikeluarkan dapat mengandung bahan-bahan toksik yang dapat berpengaruh pada kesehatan masyarakat setempat terutama penyakit saluran pernafasan. Sementara itu, pemukiman penduduk di kawasan industri PT Semen Padang berada kurang dari 2 km dari pusat industri. Ini tidak sesuai sebagaimana yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam Permenperind No. 35 tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri bahwa pemukiman penduduk berada minimal 2 km dari pusat industri. Oleh karena itu, perlu untuk melihat tingkat resiko $PM_{2.5}$ di udara terhadap kesehatan masyarakat dan melihat tingkatan resikonya berdasarkan radius dari sumber pencemar.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana tingkat resiko pajanan $PM_{2.5}$ di udara terhadap masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan tahun 2012?

2. Bagaimana gambaran spasial tingkat resiko $PM_{2.5}$ di udara pada masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan tahun 2012?
3. Bagaimana gambaran pola aktivitas dan antropometri masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan tahun 2012?
4. Bagaimana manajemen pengendalian yang dapat dilakukan untuk meminimisasi resiko yang muncul di kawasan industry PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui tingkat resiko $PM_{2.5}$ di udara ambien terhadap masyarakat dan distribusi resikonya secara spasial di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang.

1.3.2 Tujuan Khusus

- Memperoleh tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ dalam setiap radius 500 m dari pusat industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan.
- Mengetahui karakteristik antropometri dan pola aktivitas masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan.
- Menentukan intake dan tingkat resiko $PM_{2.5}$ yang diterima masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan.
- Mengetahui gambaran gangguan pernafasan pada masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang.
- Menentukan pengendalian yang dapat dilakukan dalam manajemen resiko pajanan $PM_{2.5}$ yang diterima masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Bagi Peneliti

- Penelitian ini dapat menambah wawasan pengetahuan bagi peneliti sebagai akademisi dan mengembangkan temuan-temuan baru untuk mengetahui tingkat pencemaran partikulat dan resikonya bagi masyarakat dan pekerja pada suatu kawasan industri.
- Dapat mengembangkan wawasan dan pola pikir yang lebih luas pada bidang akademik dalam memecahkan permasalahan kesehatan lingkungan di suatu kawasan industri.

1.4.2 Bagi Pihak Industri

- Sebagai informasi terkini mengenai gambaran tingkat polusi udara yang disebabkan oleh proses kegiatan industri di kawasan industri PT Semen Padang.
- Hasil penelitian dapat menjadi rujukan dalam mengambil kebijakan yang berkaitan dalam pengendalian pencemaran udara di kawasan industri PT Semen Padang.

1.4.3 Bagi Pemerintah

- Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai referensi dan bahan pertimbangan bagi pemerintah yang berwenang untuk mengambil kebijakan dalam menurunkan tingkat resiko akibat suatu kegiatan industri.
- Sebagai landasan dan pedoman bagi pemerintah dalam membuat landasan hukum dan regulasi dalam rangka mewujudkan tujuan pemerintah untuk menciptakan penyehatan lingkungan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Partikulat Matter (PM)

2.1.1 Pengertian Partikulat Matter

Partikulat Matter (PM) merupakan zat padat atau cair yang terdispersi di udara dengan ukuran yang lebih besar dari molekul tunggal (diameter besar dari 0,0002 μm), tetapi lebih kecil dari 500 μm . PM mengandung zat-zat yang terdiri dari bahan organik, non-organik, logam, dan non-logam (Wark and Warner, 1981).

PM memiliki rentang ukuran yang cukup lebar (Ming, 2005). Ukuran tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan diameternya yang disebut sebagai diameter aerodinamik (*aerodynamic diameter*). Untuk membedakan metode pengukuran, PM dibagi berdasarkan kelompok ukurannya yaitu *Total Suspended Particulate* (TSP) dan yang paling berpengaruh terhadap gangguan kesehatan adalah *Particulate Matter 10* (PM_{10}) dan *Particulate Matter 2,5* ($\text{PM}_{2,5}$) (Fitria, 2009).

Total Suspended Particulate (TSP) adalah jumlah partikel yang melayang di udara dengan komposisi yang terdiri dari berbagai ukuran. TSP biasanya digunakan untuk menggambarkan total konsentrasi partikel di udara yang berada pada suatu wilayah. TSP dapat mengandung tipe partikulat seperti PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$. Namun, TSP tidak efisien digunakan sebagai indikator dampak kesehatan karena TSP juga mengandung partikel dengan ukuran yang tidak dapat masuk ke dalam saluran pernafasan (World Bank Group, 1998).

Particulate Matter 10 (PM_{10}) adalah partikulat berbentuk padat atau cair yang melayang di udara berukuran kurang dari 10 μm . PM_{10} biasanya terbentuk dari proses-proses mekanis seperti penghancuran, penggilingan, pembakaran, dan suspensi debu. PM_{10} dapat bersifat toksik karena mengandung campuran partikulat jelaga, kondensat asam, garam sulfat, partikel nitrat, ataupun logam berat. *Particulate Matter 2,5* ($\text{PM}_{2,5}$) memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu kurang dari 2,5 μm . $\text{PM}_{2,5}$ biasanya dihasilkan dari proses pembakaran dan dari

reaksi kimia berbagai gas seperti sulfur dioksida, nitrogen dioksida, dan VOCs (*Volatile Organic Compounds*). $PM_{2.5}$ memiliki istilah lain yang biasa disebut juga dengan *inhalable particles*, *respirable particulate*, *respirable dust*, dan *inhalable dust*. Namun, kedua kelompok partikulat ini sama-sama dapat masuk dan mengganggu sistem pernapasan (Fitria, 2009).

2.1.2 Karakteristik Partikulat

Secara garis besar partikulat dapat dibagi menjadi partikulat primer dan partikulat sekunder. Partikulat primer adalah partikulat berukuran besar (diameter antara 1 hingga 20 μm) yang terbentuk secara langsung di atmosfer baik melalui proses kimia maupun fisika. Partikulat sekunder adalah partikulat yang lebih kecil (biasanya kecil dari 1 μm) yang terbentuk dari reaksi kimia antara beberapa partikel dan gas yang terjadi di atmosfer. Dalam hal ini PM_{10} termasuk pada kelompok partikulat primer (Ming, 2005). Sedangkan berdasarkan ukurannya partikulat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu partikulat halus (*fine particles*) dan partikulat kasar (*coarse particles*). Partikulat kasar dan halus secara ukuran dibatasi dengan ukuran 2,5 μm atau secara lebih sederhana partikulat kasar adalah kelompok ukuran $\geq 2,5 \mu\text{m}$, sedangkan partikulat halus adalah partikulat dengan ukuran $< 2,5 \mu\text{m}$ (WHO, 2003).

Karakteristik partikulat dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu asal emisi, parameter iklim seperti curah hujan dan kecepatan angin, proses industri, dan aktivitas di udara ambient. Kondisi ini dapat memberikan kondisi yang berbeda pada tiap-tiap partikulat yaitu komposisi material partikel, ukurannya, dan tingkat toksisitasnya (Ho Yu, 2005).

Faktor iklim dapat mempengaruhi kadar partikulat di udara dan jenis material yang dibawanya. Pada wilayah dibelahan bumi bagian timur seperti Mesir, Palestina, Israel, Syria, Lebanon, dan Turki memiliki iklim yang cukup ekstrim. Curah hujan sangat tinggi pada musim hujan dan sangat rendah hingga bisa dikatakan nol pada musim panas. Keadaan pada musim panas menjadikan daerah tersebut lembab dan terjadinya peningkatan aerosol dan jumlah partikulat yang besar karena rendahnya sirkulasi. Pada musim panas ini juga tekanan di

daerah pantai meningkat pada saat pagi hari sehingga partikulat yang terbawa banyak mengandung garam-garam laut (Saliba, 2010).

Asal emisi juga dapat mempengaruhi besarnya toksisitas partikulat. Partikulat yang berasal dari kegiatan perkotaan biasanya memiliki tingkat toksisitas yang lebih besar karena mengandung logam-logam berat seperti timbal (Pb), Cadmium (Cd), Nikel (Ni), Selenium (Se), Vanadium (V), Seng (Zn), Bromin (Br), Cobalt (Co), Mangan (Mn), sulfat, dan benzopiren (Ho Yu, 2005). Pada generator pembangkit listrik dapat mengandung timbal, merkuri, dan logam berat lainnya. Pada proses metalurgi biasanya akan menghasilkan partikel yang mengandung timbal, kadmium, dan nikel (World Bank, 1998). Selain itu pada industri semen banyak dihasilkan partikulat yang mengandung silika, ferro, dan timbal. Keadaan yang berbeda ini juga memberikan sifat dan tingkat toksikologi yang berbeda sehingga memberikan risiko kesehatan yang berbeda juga pada tubuh manusia (Zelege et al, 2010).

PM_{2,5} merupakan partikulat yang terbentuk dari transformasi partikel lain di udara atau disebut juga sebagai partikulat sekunder. Pembentukan PM_{2,5} ini banyak berasal dari kegiatan antropogenik sehingga kandungan PM_{2,5} memiliki tingkat toksisitas yang lebih besar dibanding dengan PM₁₀. Selain ukurannya yang dapat masuk ke dalam sistem paru-paru, hal inilah yang menjadi alasan mengapa WHO merekomendasikan PM_{2,5} sebagai indikator kualitas udara sebagai pengganti dari TSP (WHO, 2006)

2.1.3 Sumber partikulat

Partikulat dapat bersumber baik dari antropogenik maupun alami dan juga dapat ditemukan dalam ruangan (*indoor*) maupun luar ruangan (*outdoor*). Partikulat halus atau PM_{2,5} biasanya bersumber dari aerosol sekunder yang terbentuk dari konversi gas terhadap partikel. PM_{2,5} juga dapat berasal dari hasil pembakaran, rekondensasi material organik, dan uap logam (WHO, 2003).

Partikulat berdasarkan asal pembentukannya dapat dibagi menjadi sumber alami dan sumber antropogenik. Sumber alami dapat berasal dari aktivitas vulkanis, partikel hasil pembakaran di alam, debu dari tanah, pasir pantai, dan partikel-partikel biologi dari tumbuhan seperti serbuk sari, spora, dan lain-lain.

Sumber antropogenik banyak berasal dari aktivitas manusia seperti emisi cerobong dari proses industri, pertambangan, kegiatan pertanian, dan manufaktur lainnya (World Bank, 1998).

Selain itu sumber partikulat juga dapat dibedakan berdasarkan pergerakannya, yaitu sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sumber emisi bergerak adalah sumber emisi yang dapat bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor. Sedangkan sumber tidak bergerak adalah sumber emisi yang tetap pada suatu tempat. Sumber tidak bergerak biasanya banyak terdapat pada industri-industri yang memiliki cerobong emisi.

Partikulat seperti PM_{10} biasanya terbentuk dari proses-proses mekanis seperti penghancuran, penggilingan, pembakaran, dan suspensi debu. Proses mekanis seperti ini banyak dilakukan oleh kegiatan-kegiatan industri pertambangan, pabrik semen, pertanian, konstruksi, dan aktifitas transportasi (Fierro, 2000). Selain itu juga dapat berasal dari kegiatan pertanian, lahan yang tidak tertutup, dan evaporasi air laut yang terbawa oleh angin. Namun sumber terbesar PM_{10} lebih banyak berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar minyak bumi, proses-proses metalurgi, dan pabrik semen (World Bank, 1998).

2.1.4 Efek $PM_{2.5}$ Pada Kesehatan

Efek kesehatan yang disebabkan oleh partikulat $PM_{2.5}$ sudah banyak diketahui. Seseorang yang terpajan partikulat $PM_{2.5}$ dapat mengalami infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asthma, enfisema, kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (WHO, 2010). Hal ini tidak terbatas pada kelompok umur baik golongan orang tua, muda, ataupun pada usia balita. Pajanan terhadap partikulat memiliki tingkat kerentanan tersendiri pada kelompok umur tersebut.

Partikulat yang terhirup akan menempel pada sel-sel epitelium yang merupakan jaringan yang sangat sensitif dalam menyebabkan asthma, kanker paru-paru, bronchitis kronis, ISPA, dan penyakit saluran pernafasan lainnya. Partikulat tersebut biasanya berukuran kurang dari $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$). Berdasarkan

Universitas Indonesia

penelitian-penelitian eksperimental yang dilakukan pada sel epithelium saluran pernafasan, didapatkan bahwa kemampuan partikulat dalam menyebabkan inflamasi disebabkan oleh karakteristik fisik-kimia yang dapat mengeluarkan bioreaktivitasnya. Sifat bioreaktivitas ini dapat mengganggu pertumbuhan, perkembangan, dan kematian sel (Ayres et al, 2006).

PM_{2.5} yang masuk ke dalam paru-paru akan mengaktifkan faktor transkripsi inti sel, aktifator protein-1 (AP-1), faktor-kappa B inti (NF-kB), dan mengganggu aktivitas gen. Pengaktifan faktor-faktor ini berhubungan dengan dihasilkannya *reactive oxygen species* (ROS) sebagai akibat dari ledakan oksidatif ketika pagositosis partikel oleh sel paru-paru. Selain itu, sel alveolus yang terpajan juga akan menghasilkan enzim chemokine dan cytokine sebagai manifestasi dari terjadinya inflamasi, proliferasi, dan fibrogenesis dari suatu jaringan. Hal ini kemudian akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk gen, perubahan perkembangan sel, pertahanan sel, inflamasi, dan kematian sel atau yang disebut apoptosis yang berdampak pada munculnya penyakit (Ayres et al, 2006).

Anak-anak merupakan kelompok yang paling rentan terhadap pajanan PM_{2.5}. Hal ini disebabkan karena anak-anak memiliki aktivitas yang lebih besar diluar ruangan. Dibandingkan dengan orang dewasa, anak-anak lebih banyak menghabiskan waktu di luar ruangan yaitu sekitar 50% lebih (Suwanwaiphatthana et al, 2010). Selain itu faktor imunitas dan kondisi fisiologi organ yang sedang berkembang juga menjadikan anak-anak lebih mudah sakit dengan pemaparan yang sedikit (Gilliland, 2009). Studi yang dilakukan Koenig et al (1993) di Pacific Northwest terdapat hubungan antara peningkatan konsentrasi PM_{2.5} di udara dengan penurunan fungsi paru pada anak-anak dengan asthma. Anak-anak dengan asthma memiliki kerentanan yang lebih besar dibanding dengan anak-anak dengan kondisi normal. Dalam hal ini kondisi penyakit sebelumnya dapat memperparah kondisi terhadap pajanan partikulat PM_{2.5}.

Selain anak-anak atau balita, orang dewasa juga memiliki kerentanan terhadap pajanan PM_{2.5}. Penelitian pajanan PM_{2.5} di kota Madrid, Spanyol menunjukkan adanya hubungan pada peningkatan konsentrasi rata-rata PM_{2.5} di udara dengan seluruh kematian diatas umur 75 tahun. Relative risk pada

Universitas Indonesia

peningkatan konsentrasi $25 \mu\text{m}/\text{m}^3$ dari $\text{PM}_{2.5}$ seluruh kematian 1,057 (1.025–1.088), akibat sirkulasi darah 1,088 (1,041-1,135), dan akibat penurunan fungsi pernapasan 1,122 (1,056 – 1,189). Attributable risk masing-masing adalah 5,41%, 8,12%, dan 10,9% (Jimenez et al, 2009). Selain itu, tingkat risiko pada orang dewasa akan meningkat jika ditemui riwayat berat badan lahir rendah pada orang tersebut (Walter et al, 2009)

Pada industri semen, $\text{PM}_{2.5}$ biasanya dihasilkan dari proses-proses seperti pengolahan bahan mentah (*raw material*), pembakaran, pengolahan, pengepakan, dan penyimpanan (Fatima et al, 2000). Partikulat ini pada umumnya mengandung bahan-bahan seperti trikalsium silikat, dikalsium silikat, beberapa bahan alumina, trikalsium aluminat, besi oksida, dan sedikit heksavalen kromium (Mwaiselage et al, 2006). Paparan dari bahan-bahan tersebut telah terbukti memberikan dampak yang bersifat toksik bagi tubuh manusia, diantaranya menyebabkan iritasi pada mukosa lambung, mukosa paru-paru, gangguan kulit, gangguan pernapasan, dan kanker (Al-Neaimi et al, 2001).

Tingkat keparahan gangguan pernafasan seperti ISPA, asthma, dan bronchitis yang disebabkan oleh partikulat bervariasi pada anak-anak dan dewasa baik pemajanan jangka pendek maupun pemajanan jangka panjang. Anak-anak dengan umur lima tahun ke bawah (balita) memiliki kerentanan yang lebih sensitif dari pada orang dewasa. Hal ini disebabkan karena anak-anak memiliki aktivitas yang lebih besar di lingkungan dari pada orang dewasa sehingga risiko untuk terpajan lebih besar. Faktor imunitas dan kondisi fisiologi organ yang sedang berkembang juga menjadikan anak-anak lebih mudah terserang dengan pemajanan yang sedikit.

Penelitian *in vivo* yang dilakukan oleh Zelikoff et al (2002) bahwa terdapat pengaruh $\text{PM}_{2.5}$ terhadap peningkatan keparahan pada tikus yang terindikasi pneumonia. $\text{PM}_{2.5}$ ternyata memberikan pengaruh pada sistem imunologis host yang terpajan sehingga menyebabkan gangguan imunitas sistemik. Gangguan imunitas ini mendorong bakteri atau virus untuk berkembang dan bekerja lebih agresif di dalam tubuh host sehingga tingkat keparahan suatu penyakit semakin tinggi.

2.1.5 Mekanisme Paparan ke Manusia

Paparan partikulat pada umumnya lebih banyak terjadi pada media udara. Mekanisme paparan partikulat sendiri di udara masih membutuhkan banyak data dan penilaian yang lebih kuat. Hal ini disebabkan karena proses paparan partikulat di udara banyak dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi iklim, cuaca, keberadaan partikel lain di udara, dan karakteristik dari partikulat itu sendiri.

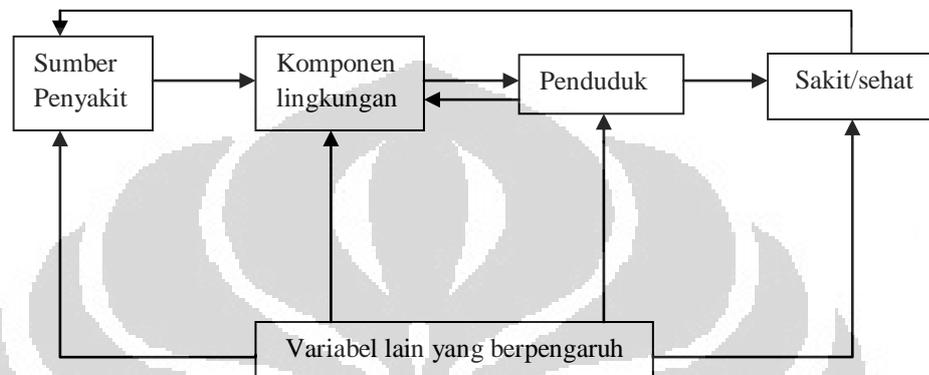
Paparan partikulat biasanya berbeda tergantung dengan karakteristiknya. Partikulat sendiri memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung kepada asal emisi, ukuran, bentuk, agregat, dan kondisi iklim di sekitarnya (Leili, 2008). Pada masyarakat yang berada pada belahan bumi timur seperti Palestina, Syria, dan lainnya akan mendapatkan risiko untuk terpapar partikulat lebih besar pada musim panas. Musim panas pada daerah ini memiliki curah hujan yang sangat sedikit sekali atau bisa dikatakan nol. Keadaan ini mengakibatkan tingginya kelembaban udara dan rendahnya sirkulasi sehingga terjadi pembentukan partikel-partikel dan aerosol yang keberadaannya di udara bisa sangat lama (Saliba, 2010).

Menurut Fierro (2000), masuknya partikulat ke dalam saluran pernafasan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. Faktor mekanis, yaitu gravitasi, gaya antar partikel, gaya tarik elektrostatik, dan difusi brown.
2. Faktor perilaku individu, yaitu perilaku bernafas, kegiatan fisik, umur, penyakit paru-paru, dan kondisi ambient (temperatur, iklim, dan keberadaan polutan lain)

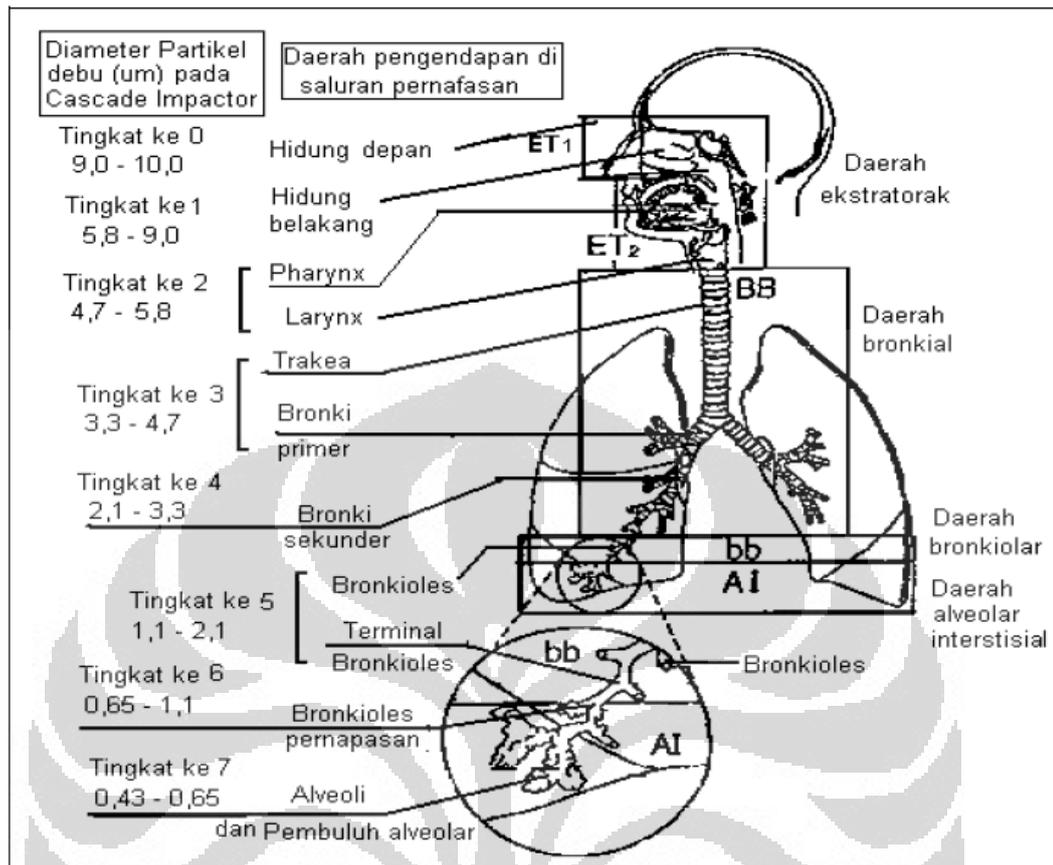
Faktor mekanis akan mempengaruhi seberapa jauh partikulat dapat masuk ke dalam sistem pernafasan. Semakin kecil diameter suatu partikel maka risikonya untuk masuk ke dalam sistem pernafasan lebih besar. Partikel di atas $3 \mu\text{m}$ biasanya banyak terdeposit pada daerah kerongkongan dan laring, sedangkan partikel dengan ukuran lebih kecil dari $0,5 \mu\text{m}$ dapat masuk ke alveolus (Fierro, 2000). Faktor perilaku akan mempengaruhi seberapa banyak kuantitas partikulat yang masuk ke dalam tubuh. Anak-anak dengan usia sekolah biasanya lebih berisiko menghirup partikulat lebih banyak daripada orang dewasa karena anak-anak cenderung lebih aktif di luar (Gilliland, 2009).

Mekanisemen pajanan $PM_{2.5}$ juga dapat dijelaskan dengan teori simpul yang menjelaskan pathogenesis penyakit dan perspektif lingkungan (Achmadi, 2008). Kejadian penyakit atau resiko penyakit merupakan hasil hubungan interkatif antara manusia dan prilakunya serta komponen lingkungan yang memiliki potensi penyakit (Achmadi, 2008).



Gambar 2.1 Diagram skematik pathogenesis penyakit

Di dalam saluran pernafasan partikulat akan mempengaruhi aktivitas sel dan jaringan yang ada di dalamnya. Namun, data mengenai mekanisme partikulat dalam merusak jaringan saluran pernafasan masih belum banyak tersedia. Mekanisme toksisitasnya masih sulit untuk diidentifikasi disebabkan oleh kompleksitas kandungan partikulat yang terdiri dari berbagai logam, bahan-bahan organik, dan komponen toksik lainnya. Namun dipercayai bahwa partikulat, terutama pada kelompok PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dapat merangsang sinyal intraseluler yang akan menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) sebagai indikator terjadinya inflamasi pada sel.



Gambar 2.2. Titik pajanan partikulat di dalam paru-paru sesuai dengan ukuran partikel (ITB, 2000)

2.1.6 Baku Mutu

Baku mutu partikulat biasanya berbeda tergantung negara masing-masing. Perbedaan ini disebabkan karena setiap wilayah memiliki karakteristik dan sukseptibilitas individu yang berbeda. Baku mutu juga dibedakan berdasarkan tipe partikulat, yaitu *Total Suspended Particulate* (TSP), PM_{10} , dan $PM_{2,5}$. Di Indonesia, baku mutu dibedakan atas baku mutu emisi, baku mutu ambient tempat kerja, dan baku mutu ambient lingkungan.

2.1.6.1 Baku Mutu Emisi Tidak Bergerak

Baku mutu emisi tidak bergerak diatur oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13 tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Tidak Bergerak. Dalam peraturan ini diatur baku mutu emisi untuk industri semen :

Tabel 2.1. Baku mutu emisi tidak bergerak pada industri semen

No	Sumber	Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)
1	Tungku recovery	Total Partikel (TSP)	80
		Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	1000
		Opasitas	20%
2	Pendingin Terak (<i>Clinkers Coolers</i>)	Total Partikel (TSP)	80
3	Milling Grinding Alat Pengangkut (<i>conveying</i>) Pengepakan (<i>bagging</i>)	Total Partikel (TSP)	80
4	Tenaga ketel uap (<i>power boiler</i>)	Total Partikel (TSP)	230
		Sulfur Dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	1000

2.1.6.2 Baku Mutu Ambien

Baku mutu udara ambien lingkungan diatur oleh Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang pemantauan kualitas udara :

Tabel 2.2. Baku mutu udara ambien nasional PP No.41/1999

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Metode Analisis	Peralatan
1	PM ₁₀	24 jam	150	Gravimetric	Hi-Vol
2	PM _{2,5}	24 jam	65	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	15		
3	TSP	24 jam	230	Gravimetric	Hi-Vol
		1 tahun	90		

Saat ini WHO dan lembaga pengendalian lingkungan Amerika Serikat (US-EPA) tidak lagi menggunakan TSP sebagai indikator pencemar udara. WHO dan US-EPA saat ini menggunakan PM₁₀ dan PM_{2,5} sebagai indikator.

WHO (2005) menetapkan standar baku mutu udara ambient untuk partikulat yaitu :

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	PM ₁₀	24 jam	50
		1 tahun	20
2	PM _{2,5}	24 jam	25
		1 tahun	10

Berbeda dengan standar US *Environmental Protection Agency* (US-EPA) menetapkan standar pencemaran udara dalam *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) 2006 :

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	PM ₁₀	24 jam	150
2	PM _{2,5}	24 jam	35
		1 tahun	15

2.2 Manajemen dan Penilaian Risiko

2.2.1 Pengertian Risiko

Risiko merupakan suatu keadaan yang memberikan kemungkinan terjadinya dampak terhadap suatu objek atau besarnya peluang suatu bahaya menjadi kenyataan untuk terjadi. Risiko dapat berupa risiko positif dan risiko negative (Kurniawdjaja, 2010).

Risiko dapat dibagi atas dua golongan yaitu risiko strategis (*strategic risk*) dan risiko operasional. Risiko strategis adalah suatu risiko yang dapat mengancam keberlangsungan suatu bisnis, tujuan strategis bisnis, dan kemampuan suatu bisnis untuk dapat bertahan lama. Contohnya adalah kelangkaan ketersediaan bahan baku utama pada suatu industri dapat mengancam keberlangsungan kegiatan industri tersebut. Sedangkan risiko operasional adalah risiko yang dapat merusak

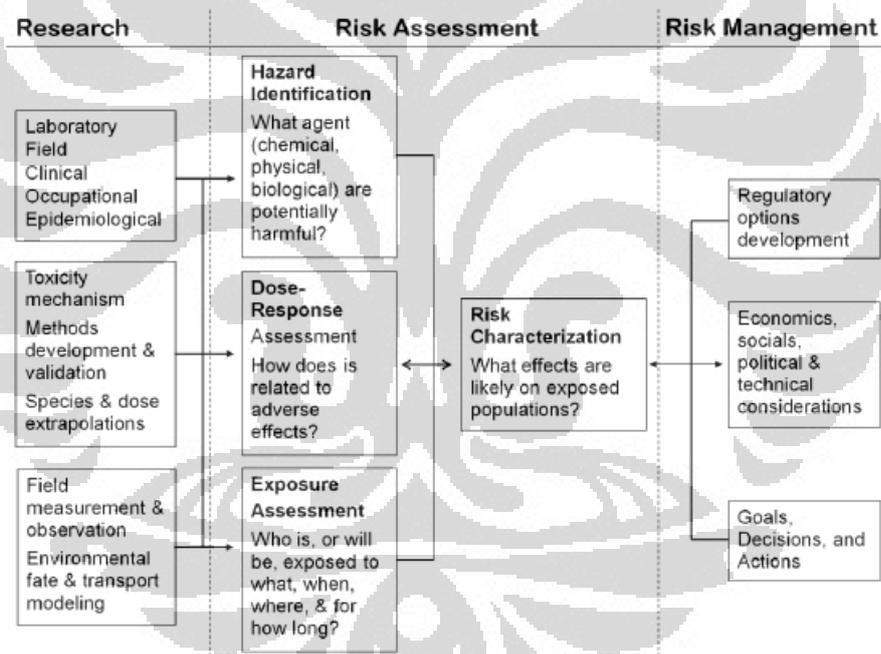
Universitas Indonesia

aspek sistemik dari suatu proses atau operasi. Risiko ini dapat diidentifikasi secara langsung apakah akan memberikan dampak lebih dari satu, dua, dan seterusnya dan dapat ditentukan *outcome* yang akan mendapatkan dampak (Australian Government, 2008).

Secara umum risiko dapat digambarkan sebagai kombinasi antara probabilitas dan konsekuensi dari suatu kejadian. Secara umum dapat dituliskan dalam persamaan :

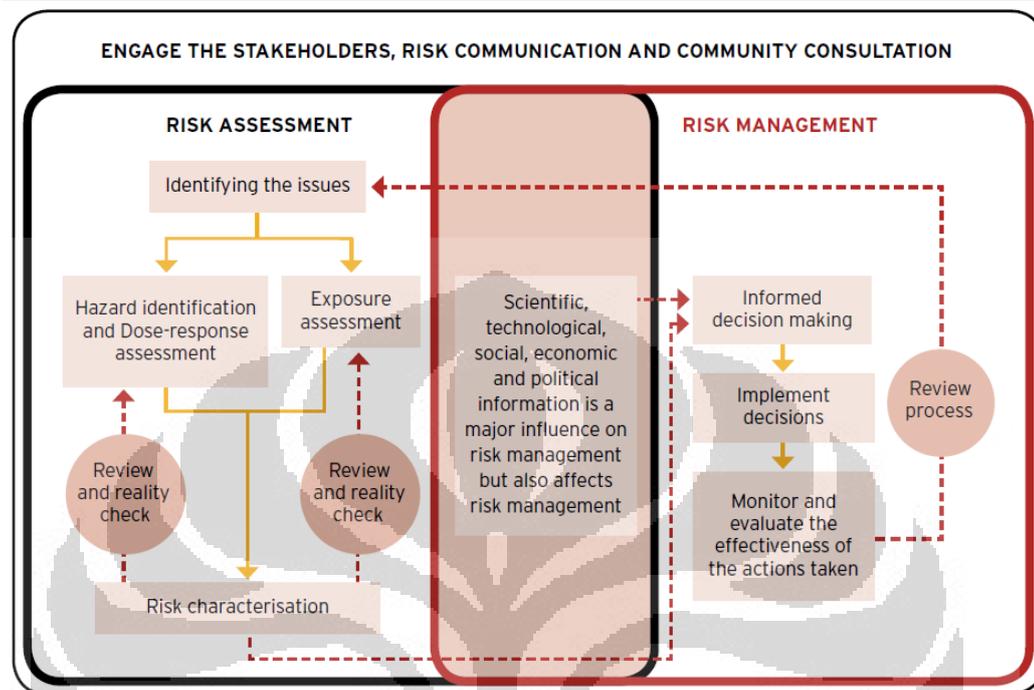
$$\text{RISK} = \text{Probabilitas} \times \text{Konsekuensi}$$

Dalam pelaksanaan penilaian dan manajemen risiko dapat digambarkan dalam paradigma berikut :



Gambar 2.3. Paradigma Analisis Risiko (NRC, 1983)

Sedangkan menurut Australian Government (2008) kerangka analisis risiko dapat digambarkan dalam bagan berikut :



Gambar 2.4. Framework analisis risiko (Australian Government, 2008)

2.2.2 Analisis Risiko (*Risk Assessment*)

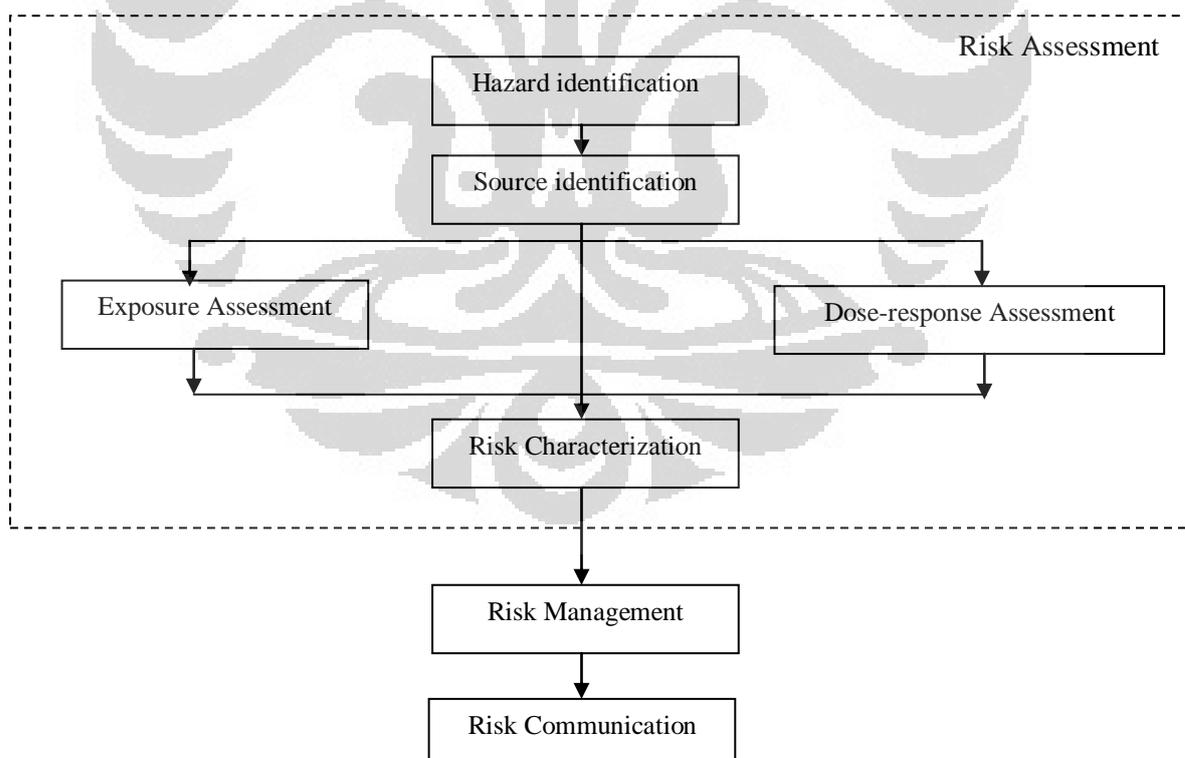
Analisis risiko (*risk assessment*) adalah kegiatan estimasi penilaian dan pemahaman terhadap suatu risiko yang relevan terhadap proyek, aktivitas, dan situasi yang ada, menilai sebab akibatnya, dampak potensial (social, ekonomi, lingkungan, kesehatan, atau keselamatan) dan karakteristik dari suatu risiko pada waktu tertentu (Australian Government, 2008; Kolluru, 1996; Rahman, 2008). Risiko yang diidentifikasi meliputi sumber risiko, besar dampaknya, populasi yang berisiko, dan efeknya pada lingkungan. Tujuan dari penilaian risiko adalah menyediakan kerangka pemikiran keilmuan yang berguna untuk membantu pengambil kebijakan dan pihak terkait dalam menentukan mitigasi risiko kesehatan dan masalah-masalah lingkungan (Louvar dan Louvar, 1998).

Penilaian risiko dilakukan dengan mengumpulkan semua informasi yang terkait dengan komponen risiko yang dinilai. Informasi didapatkan dari operator yang berpengalaman, pekerja yang berpengalaman pada objek risiko yang dinilai, dan stakeholder yang memiliki hubungan dengan industri.

Seorang penilai risiko memiliki beberapa panduan yang digunakan dalam melakukan penilaian risiko :

1. Konsep umum mengenai penilaian risiko lingkungan dan langkah-langkah yang harus diambil.
2. Bagaimana melakukan pengolahan dan evaluasi data untuk mendapatkan data yang adekuat, sustain, dan reliabel.
3. Bagaimana gambaran pajanan lingkungan yang akan dinilai.
4. Bagaimana efek pajanan lingkungan yang akan dinilai.
5. Sejauh mana tingkat persisten, bioakumulasi, dan toksisitas suatu bahan kimia yang dinilai.
6. Bagaimana melakukan karakterisasi risiko dan bagaimana tindakan manajemen risiko yang akan dilakukan.

Berdasarkan *center for chemical safety of the American institute of chemical engineers*, 1985, terdapat beberapa tahap dalam penilaian risiko, yaitu (Louvar dan Louvar, 1998):



Namun, analisis risiko memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri. Kolluru et al (1996) memaparkan kelebihan dan kekurangan analisis risiko :

1. Kelebihan

- Sebagai fondasi dalam menilai kesehatan masyarakat dan keselamatan yang dapat digunakan dalam pemahaman yang luas.
- Kerangka sistematis dalam memprioritaskan masalah, pengalokasian sumber daya, dan mencegah masalah di masa depan.
- Menggunakan faktor-faktor spesifik daripada menggunakan standar umum.
- Lebih baik dalam mengimplementasikan penggunaan biaya dan waktu
- Penggunaan biaya dan sumber daya yang lebih efektif

2. Kekurangan

- Tidak dapat disetujui secara luar baik tujuan, pendekatan, atau hasilnya
- Risiko merupakan kemungkinan, tetapi metode standar yang digunakan merupakan penentuan-penentuan.
- Penentuan risiko kesehatan dan ekologi bersifat subjektif.
- Data tidak adekuat dan lebih menekankan pada asumsi-asumsi.
- Tergantung kepada kredibilitas dan persepsi
- Perkiraan tidak realistik.

2.2.2.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Bahaya (*hazard*) adalah suatu benda (material) atau keadaan yang dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian. Hazard lingkungan dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu hazard fisik, kimia, dan biologi (Kurniawidjaja, 2010).

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam suatu analisis risiko. Identifikasi bahaya adalah melakukan penilaian toksisitas data untuk menilai efek dari suatu bahan dan dampaknya terhadap manusia dan lingkungan atau penilaian besarnya dampak negatif dari suatu keadaan atau kondisi. Pada banyak kasus, bahan yang telah diketahui kemudian dibandingkan

dengan bahan kimia yang sudah teregister apakah memiliki tingkat karsinogen, beracun, non karsinogen, dan sebagainya.

Setelah suatu zat bahaya diketahui, kemudian dilakukan identifikasi terhadap sumbernya. Identifikasi sumber bahaya tergantung kepada dimana suatu studi analisis dilakukan. Namun yang terpenting adalah informasi mengenai sumber bahaya meliputi tingkat debit, lokasi yang berpotensi, kondisi lokasi (temperature dan tekanan), bahan yang dikeluarkan (gas, cair, atau keduanya), dan karakteristik fisik seperti tekanan uap dan toksisitas (Louvar dan Louvar, 1998).

2.2.2.2 Penilaian Paparan (*Exposure Assessment*)

Paparan (*exposure*) proses terjadinya kontak agen di lingkungan ke manusia dalam jangka waktu tertentu dan dalam jumlah tertentu. Sedangkan penilaian paparan adalah penilaian besaran terhadap jumlah, durasi, frekuensi, dan jalur paparan suatu bahan atau zat terhadap manusia (Australian Government, 2008).

Pada proses penilaian paparan akan didapatkan informasi mengenai jalur paparan (*pathway*), jumlah atau konsentrasi suatu bahan di media lingkungan, durasi paparan dalam jam, hari, atau tahun, serta identifikasi populasi berisiko. Informasi ini dapat digunakan untuk melihat seberapa besar paparan suatu bahan pada manusia yang dapat dihitung secara matematis.

Jalur paparan memungkinkan untuk diketahui apakah suatu bahan masuk melalui inhalasi, ingesti, atau dermal. Rute paparan ini dapat dijadikan pedoman untuk melihat sejauh mana suatu zat dapat merusak di dalam jaringan manusia. Selain itu juga dapat diketahui apa organ target yang menjadi pusat paparan dari suatu zat atau bahan.

Untuk menilai besarnya paparan yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat dihitung dengan rumus intake. Intake menyatakan jumlah paparan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari (Louvar dan Louvar, 1998):

$$Intake = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_B \times t_{avg}}$$

Keterangan :

- I : *Intake*, jumlah agen risiko yang diterima individu per berat badan per hari (mg/kg/hari).
- C : Konsentrasi *risk agent*, mg/m³
- R : Laju asupan (intake rate), US-EPA default 0,83 m³/jam
- t_E : Waktu pajanan harian, jam/hari
- f_E : Frekuensi pajanan tahunan, hari/tahun
- D_t : Durasi pajanan, real time atau 30 tahun (*default proyeksi life span*) atau 70 tahun (*US-EPA life expectancy default*)
- W_b : Berat badan, kg
- T_{avg} : Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (nonkarsinogen) atau 70 tahun x 365 hari/tahun (karsinogen)

2.2.2.3 Penilaian Dosis Respons (*Dose-response Analysis*)

Penilaian dosis respons merupakan proses ekstrapolasi data toksisitas suatu bahan dari dosis tinggi ke dosis minimal yang tidak menimbulkan efek pada manusia.

Dalam melakukan analisis dosis respons dapat dilakukan langkah-langkah berikut :

1. Identifikasi jenis efek yang merugikan yang berhubungan dengan pemajanan zat toksik yang telah diidentifikasi.
2. Memprakirakan hubungan besar pajanan dengan efek yang merugikan.
3. Pernyataan tentang ketidakpastian dan kekurangan data dan informasi.
4. Sumber indikasi efek merugikan kesehatan antara lain meliputi :
 - Uji hayati (*bioassay*)
 - Studi epidemiologi
 - Kasus klinik
 - *Structure-reactivity relationship*

Dosis respons akan menunjukkan tingkat toksisitas dari suatu bahan yang biasanya dinyatakan dalam :

- NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) adalah pajanan tertinggi di mana tidak terdeteksi efek yang merugikan.
- LOAEL (*Low Observed Adverse Effect Level*) adalah tingkat pajanan terendah yang dapat menimbulkan efek merugikan bagi manusia.
- ED (*effective dose*) adalah jumlah dosis yang dapat menyebabkan efek permanen pada manusia.
- TD (*toxic dose*) adalah jumlah dosis yang dapat menyebabkan luka permanen pada tubuh manusia
- LD (*lethal dose*) atau LC (*lethal concentration*) adalah jumlah dosis yang dapat menyebabkan kematian pada organisme yang terpajan.

2.2.2.4 Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Karakterisasi risiko merupakan estimasi besarnya tingkat bahaya yang memajan individu atau populasi. Hasil karakterisasi risiko kemudian dibandingkan dengan dosis referensi yang tidak menimbulkan efek pada individu apakah risiko yang dinilai berbahaya bagi individu atau tidak.

Karakterisasi risiko kesehatan dinilai dengan persamaan *risk quotient* (RQ). RQ dihitung dengan membandingkan intake dengan dosis referensi (RfC atau RfD), yaitu dosis yang tidak menimbulkan efek merusak kesehatan pada manusia. Persamaan RQ adalah :

$$RQ = \frac{\text{Intake}}{RfC}$$

Hasil RQ akan menunjukkan tingkat bahaya dari suatu bahan. Apabila nilai $RQ > 1$ berarti pajanan tersebut berisiko atau tidak aman, sedangkan apabila $RQ < 1$ berarti pajanan tersebut aman atau tidak berisiko bagi manusia.

2.2.3 Manajemen Risiko

Manajemen risiko (*risk management*) adalah suatu budaya, proses, dan struktur yang diterapkan untuk mendapatkan potensi dalam menanggulangi bahaya yang merusak bagi manusia (Australian Government, 2008). Ini bertujuan agar suatu risiko tidak mengganggu keberlangsungan jalannya suatu kegiatan perusahaan dan menjamin keselamatan bagi setiap pekerja dan masyarakat yang terkait dengan aktivitas tersebut. Manajemen risiko bukan merupakan suatu konsep tunggal melainkan suatu gabungan dari berbagai sudut pandang, multi studi, multi persepsi, dan membutuhkan berbagai ahli, stakeholder, dan menggunakan prinsip komunikasi dua arah.

Suatu pengelolaan risiko yang efektif harus memastikan kriteria sebagai berikut (Australian Government, 2008):

1. Kesehatan, keselamatan, dan kehidupan pekerja dan masyarakat tidak mengenal kata kompromi.
2. Terlindunginya kondisi keuangan perusahaan.
3. Perusahaan mendapatkan pengakuan sosial untuk beroperasi di dalam lingkungan masyarakat lokal, para pembuat kebijakan, dan stakeholder berdasarkan kemampuan kerja dimiliki.
4. Menguatnya reputasi perusahaan.

Selain itu, manajemen risiko menggunakan seluruh informasi terkait baik informasi teknis, bisnis, lingkungan, social, dan informasi politik yang digunakan untuk :

- Evaluasi alternatif.
- Menentukan cara terbaik dalam minimisasi atau eliminasi risiko.
- Merancang rencana untuk menerapkan tindakan.
- Melaksanakan rencana yang telah dirancang.
- Monitoring pelaksanaan rencana untuk memastikan hasil yang diinginkan.

2.2.4 Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko merupakan sistem, prosedur, peralatan, atau kemampuan operasional untuk mencegah terjadinya bahaya akibat suatu kejadian.

Universitas Indonesia

Pengendalian dapat berupa tindakan pencegahan (*preventive*), pendeteksian (*detective*), perlindungan (*protective*), dan mitigasi (*mitigating*). Kontrol pencegahan merupakan pengendalian yang dilakukan untuk mencegah terjadinya sesuatu yang tidak diinginkan. Kontrol pendeteksian merupakan pendeteksian kejadian-kejadian yang tidak diinginkan ketika terjadi suatu insiden. Control perlindungan merupakan pengendalian untuk mengurangi dampak langsung dari suatu kejadian. Sedangkan pengendalian mitigasi merupakan pengendalian terhadap suatu dampak yang berlangsung dalam jangka panjang (Australian Government, 2008).

Suatu pengendalian perlu dilakukan pembuatan desain pengendalian yang bertujuan untuk memperoleh sistem pengendalian yang tepat diaplikasikan pada suatu keadaan bahaya. Hal ini agar didapatkan tindakan yang efektif pada setiap pengendalian bahaya.

Pengendalian risiko secara hirarki dapat dilakukan dengan :

1. Eliminasi risiko
2. Minimisasi risiko
3. Pengendalian engineering
4. Pengendalian administratif
5. Penggunaan alat pelindung diri (*personal protective equipment*)

2.2.5 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko adalah penyampaian informasi mengenai asal usul, tingkat bahaya, dan tingkat akseptabilitas suatu risiko serta penyampaian informasi mengenai tindakan yang diambil dalam pengendalian risiko (Australian Government, 2008).

Proses pelaksanaan komunikasi risiko sebaiknya melingkupi penyampaian masalah dengan presentasi terbuka pada seluruh stakeholder terkait dengan cara yang sistematis dan mudah dipahami oleh seluruh kalangan. Pada komunikasi risiko para stakeholder mungkin memiliki persepsinya sendiri-sendiri terhadap risiko yang disampaikan. Oleh karena itu diperlukan metode dan teknik yang baik dalam penyampaian risiko sehingga dapat mengurangi tingkat miskomunikasi antar stakeholder.

2.3 Analisis Spasial

2.3.1 Data, Informasi, dan Sistem

Suatu pengelolaan mengenai sistem informasi tidak terlepas dari istilah data dan informasi. Data merupakan bahasa, *matemathical*, dan simbol-simbol pengganti lain yang disepakati untuk menggambarkan suatu objek, manusia, peristiwa, aktivitas, konsep, dan objek-objek penting lainnya. Sedangkan informasi adalah data yang ditempatkan pada konteks yang penuh arti oleh penerimanya atau bisa dikatakan data yang telah diolah sesuai dengan tujuannya akan menghasilkan informasi (Prahasta, 2005).

Suatu informasi hendaknya memiliki atribut untuk mendeskripsikan kualitas suatu informasi agar dapat dipergunakan dengan baik. Atribut suatu informasi meliputi akurat, presisi, tepat waktu, jelas, dibutuhkan, *quantifiable*, *verifiable*, *accessible*, tidak bias, dan, komprehensif. Sedangkan sistem adalah sekumpulan objek dan ide yang saling berhubungan dalam mencapai tujuan atau sasaran bersama.

2.3.2 Sistem Informasi Geografis

Pada dasarnya sistem informasi geografis (SIG) merupakan gabungan dari tiga unsur pokok, yaitu sistem, informasi, dan geografis. Berdasarkan pengertian yang telah dipaparkan pada penjelasan sebelumnya dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa sistem informasi geografis merupakan suatu kesatuan formal yang terdiri dari berbagai sumber daya fisik dan logika yang berkenaan dengan objek-objek yang terdapat di permukaan bumi (Prahasta, 2005).

Menurut Burrough SIG merupakan alat yang sangat berguna dalam mengumpulkan, meyalurkan, memperoleh kembali, menampilkan, dan merubah data spasial dari kondisi yang sebenarnya. Sedangkan menurut Cowen SIG merupakan sistem pendukung yang meliputi integrasi data spasial dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan lingkungan (Poh-Chin et al, 2009).

2.3.3 Analisis Spasial

Analisis spasial pada dasarnya menilai elemen data yang ada dan kemudian dituangkan kedalam peta dengan menggunakan referensi geografis dari

Universitas Indonesia

data yang ada. Analisis spasial pada dasarnya terbagi atas tiga klasifikasi pendekatan, yaitu operasi kartografi, analisis data spasial, dan permodelan matematika.

2.3.3.1 Operasi Kartografi

Operasi kartografi meliputi *buffering*, *overlay*, dan bentuk-bentuk geometrik dari interpolasi spasial dan pengelompokan spasial. Terdapat beberapa hal yang harus dilakukan dalam menggunakan operasi kartografi, yaitu :

1. Jarak dan panjang
2. Area
3. Bentuk
4. Kemiringan dan aspek

Metode transformasi diyakini merupakan elemen kunci dalam melakukan analisis spasial kesehatan. Longley et al (2001) dalam Maheswaran (2004) menentukan lima kelompok besar metode transformasi, yaitu :

1. *Buffering*
2. *Point* dalam *polygon*
3. *Polygon overlay*
4. Interpolasi spasial
5. Perkiraan density (kepadatan)

Buffering merupakan metode dalam menentukan radius dari suatu titik. Radius dibuat dalam bentuk lingkaran-lingkaran yang mengelilingi titik pusat pada radius tertentu, misalnya radius dibuat setiap 50 m, 200 m, atau 500 m. *buffering* biasanya digunakan untuk melihat jangkauan pajanan polutan dari sumber pencemar atau melihat jangkauan akses dari suatu pelayanan kesehatan.

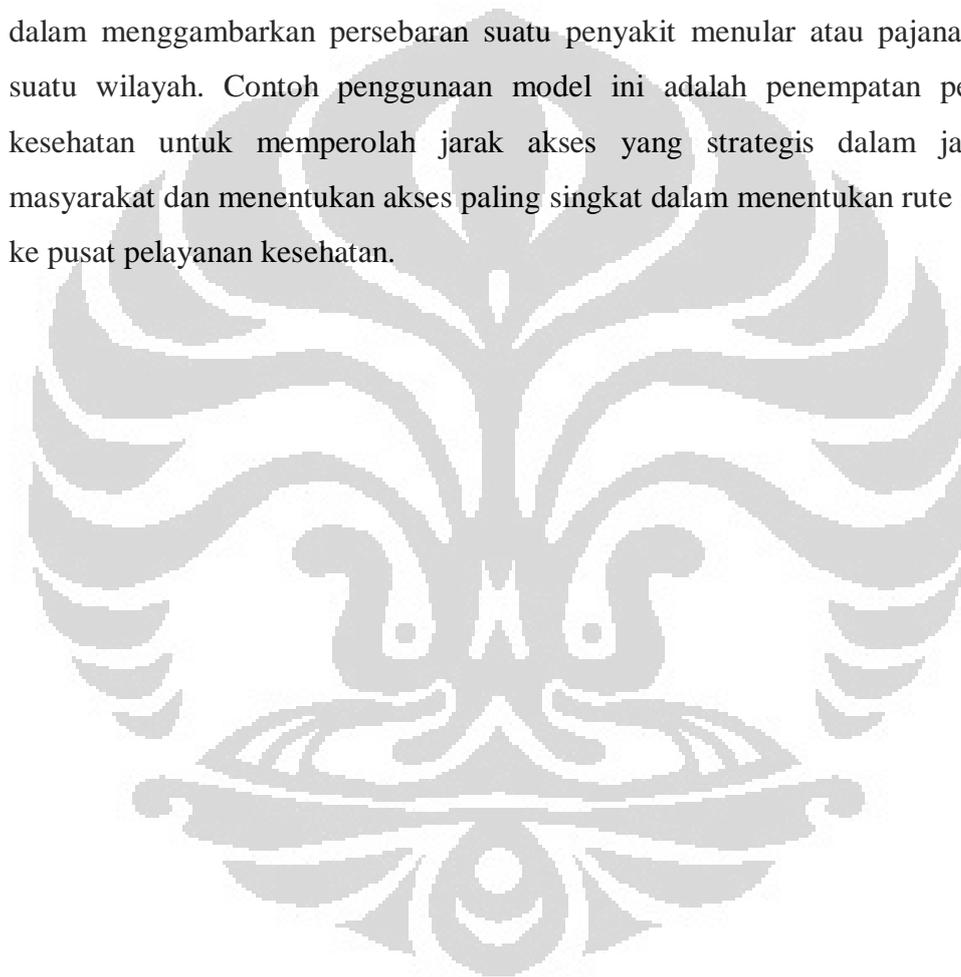
2.3.3.2 Analisis data spasial

Analisis data spasial meliputi analisis data eksploratori dan analisis data konfirmatori. Analisis eksploratori merupakan analisis data spasial murni secara deskriptif tanpa melakukan permodelan dalam menentukan hipotesis, misalnya menguji signifikansi pengelompokan penyakit pada suatu wilayah. Sedangkan analisis data konfirmatori lebih menekankan pada penarikan kesimpulan dan

pengujian hipotesis. Penggunaan metode ini biasanya digunakan untuk menguji hubungan antara berbagai pajanan yang ada di lingkungan dengan kejadian penyakit. Pengujian hipotesis menggunakan metode epidemiologi yang lebih menekankan pada metode studi ekologi (Maheswaran dan Craglia, 2004).

2.3.3.3 Permodelan matematika

Permodelan matematika digunakan untuk optimisasi dan permodelan dalam menggambarkan persebaran suatu penyakit menular atau pajanan dalam suatu wilayah. Contoh penggunaan model ini adalah penempatan pelayanan kesehatan untuk memperoleh jarak akses yang strategis dalam jangkauan masyarakat dan menentukan akses paling singkat dalam menentukan rute ambulan ke pusat pelayanan kesehatan.

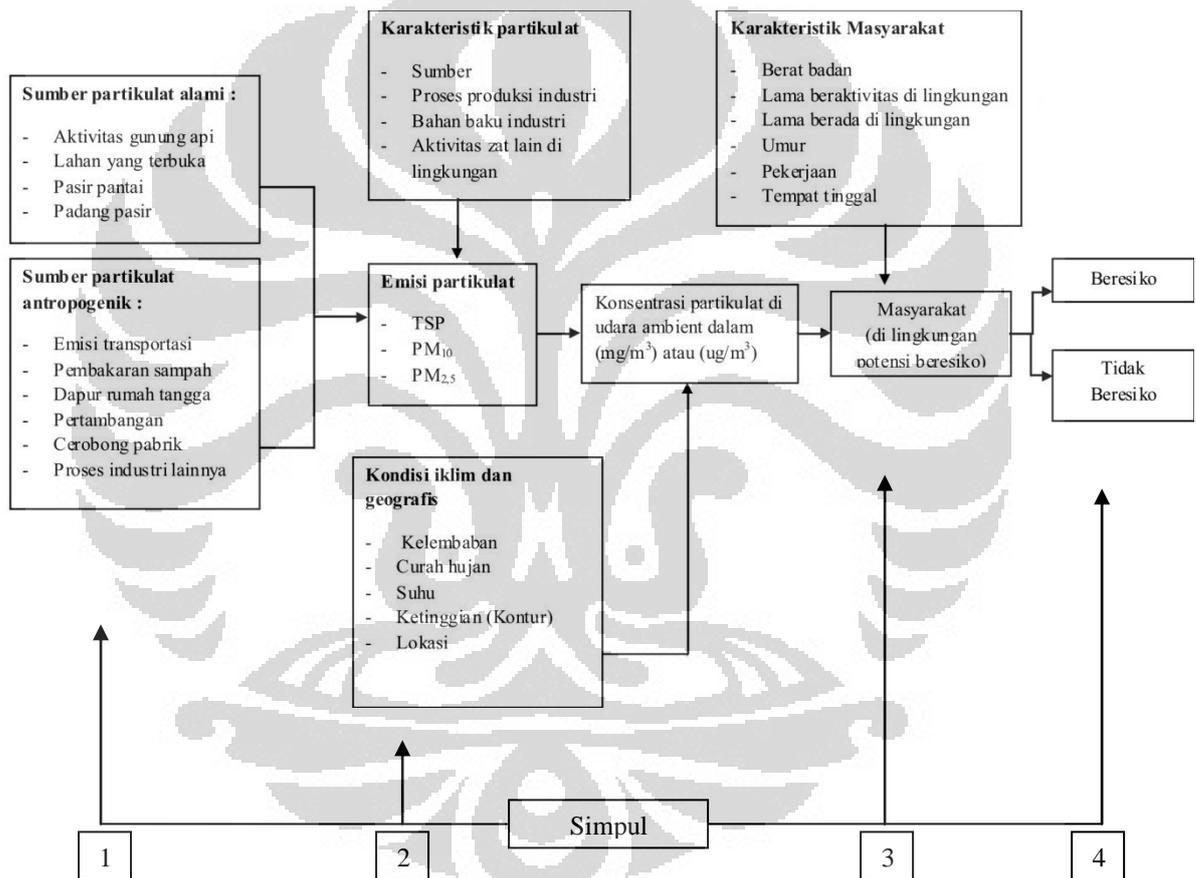


BAB 3

KERANGKA KONSEP

3.1 Kerangka Teori

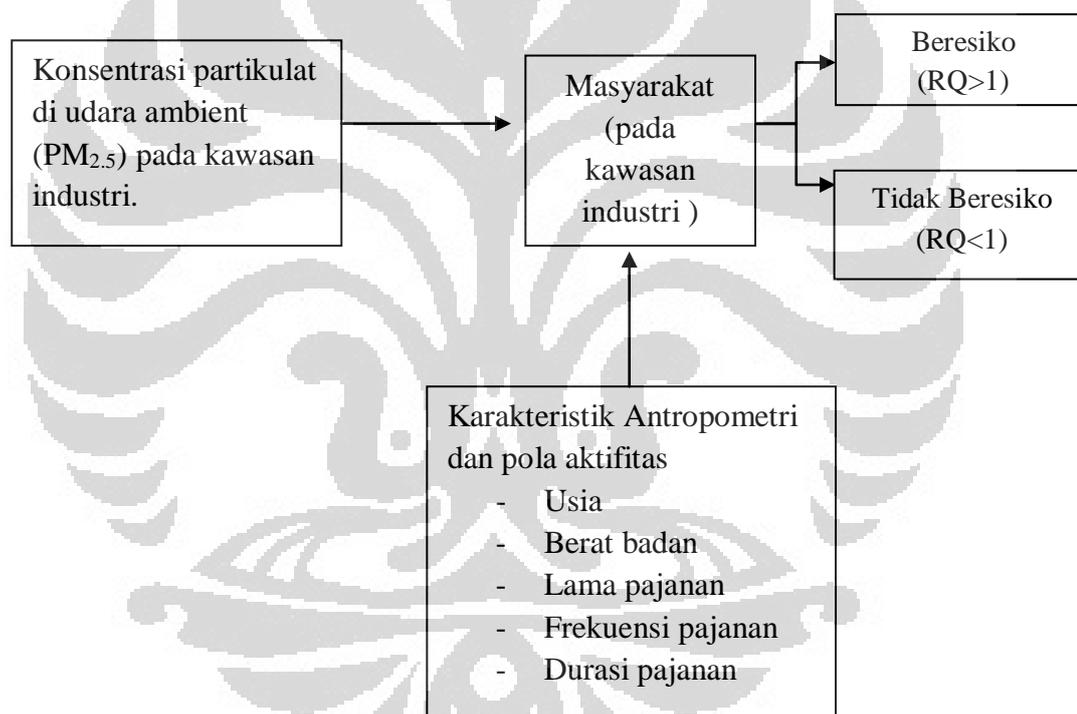
Berdasarkan tinjauan pustaka pada bab sebelumnya maka teori pencemaran partikulat di udara dan mekanismenya dalam memajan manusia dapat digambarkan pada teori simpul pada bagan berikut ini (Achmadi, 2008) :



Gambar 3.1. Kerangka teori pajanan partikulat di udara (modifikasi) (Achmadi, 2008).

3.2 Kerangka Konsep

Dalam penelitian ini dilakukan penyederhanaan pemikiran dan memfokuskan penelitian pada faktor tertentu. Hal ini bertujuan agar penelitian terfokus pada suatu permasalahan dan tidak mengambang. Penelitian ini difokuskan pada analisis resiko $PM_{2.5}$ di udara terhadap masyarakat di kawasan industri. Tingkat pajanan $PM_{2.5}$ tersebut kemudian dilihat tingkat persebarannya secara spasial dengan melihat tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara berdasarkan radius dari sumber pencemar.



Gambar 3.2. Kerangka konsep

3.3 Definisi Operasional Penelitian

No	Variabel	Definisi	Cara Ukur	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
1	PM _{2.5}	Partikulat yang memiliki ukuran aerodiameter kurang dari 2.5 μm (Fitria, 2009)	Sensor optik	Haz Dust EPAM 5000	Jumlah konsentrasi dalam (mg/m^3) atau ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rasio
2	Berat Badan	Berat badan yang diukur langsung pada saat survey dilakukan	Menimbang	Timbangan badan	Berat dalam kilogram	Rasio
3	Laju inhalasi	Jumlah volume udara yang dihirup oleh manusia per satuan waktu	Laju inhalasi telah ditetapkan sesuai dengan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian ini digunakan 0,83 m^3/jam sesuai dengan nilai default pemajanan standar Amerika (Rahman, 2005)			
4	Lama pajanan (tE)	Jumlah waktu seseorang terpajan oleh partikulat di luar ruangan dalam satu hari.	Wawancara	Kuesioner	Lama pajanan dalam jam/hari	Rasio
5	Frekuensi pajanan (fE)	Jumlah hari dalam satu tahun seseorang terpajan dengan partikulat.	Wawancara	Kuesioner	Jumlah frekuensi pajanan dalam hari/tahun	Rasio
6	Durasi Pajanan	Waktu pemajanan yang diterima sepanjang hayat (lifetime) dan pajanan pada waktu sebenarnya.	wawancara	kuesioner	Jumlah tahun	Rasio
7	Intake	Jumlah asupan agent yang	Hitungan dengan	kalkulator	Jumlah konsentra	Rasio

		diterima oleh individu dalam satu hari	rumus		si per berat badan per hari (mg/kg/hari)	
8	RfC	<i>Reference Concentration</i> (RfC) adalah jumlah konsentrasi aman yang tidak menimbulkan efek merugikan pada kesehatan dalam pemajanan jangka panjang.	Diturunkan dari nilai standar udara NAAQS-EPA 2006. Nilai NAAQS untuk PM _{2.5} (24 jam) adalah 35 ug/m ³ .	Kalkulator	Jumlah konsentrasi per berat badan per hari (mg/kg/hari)	Rasio
9	RQ (Risk Quotient)	RQ adalah tingkat perkiraan probabilitas resiko yang diterima oleh individu akibat pemajanan suatu agent.	Membagi nilai intake dengan nilai RfC	Kalkulator	Bilangan integer > 0	Rasio
10	Gejala gangguan pernafasan	Gejala ISPA yang dialami pada pernafasan seperti batuk, sesak nafas, pilek, nyeri dada, demam, atau mengi (Corwin, 2007)	wawancara	kuesioner	1. Mend erita 2. Tidak mende rita	nomi nal

BAB 4

METODE PENELITIAN

4.1 Rancangan Studi

Penelitian ini menggunakan metode studi analisis resiko kesehatan lingkungan, selanjutnya disebut ARKL. ARKL bertujuan memperkirakan resiko yang diterima oleh suatu masyarakat akibat dari pajanan agen-agen pencemar di lingkungan. ARKL bukan studi epidemiologi yang memaparkan efek-efek kesehatan dan agen sebagai variabel independen dengan tujuan memperoleh hubungan kausalitas antar variabel yang dipaparkan. Penelitian ini tidak dapat melihat hubungan antar dua variabel, tapi hanya sebatas penilaian beda resiko yang diterima berdasarkan karakteristik antropometri masyarakat dan komponen pencemar di lingkungan. Dalam penelitian ARKL ini dilakukan prosedur sebagai berikut :

1. Identifikasi bahaya dan sumber resiko
2. Analisis dosis respons
3. Analisis pajanan
4. Karakterisasi resiko

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Sumatera Barat pada April-Mei 2012.

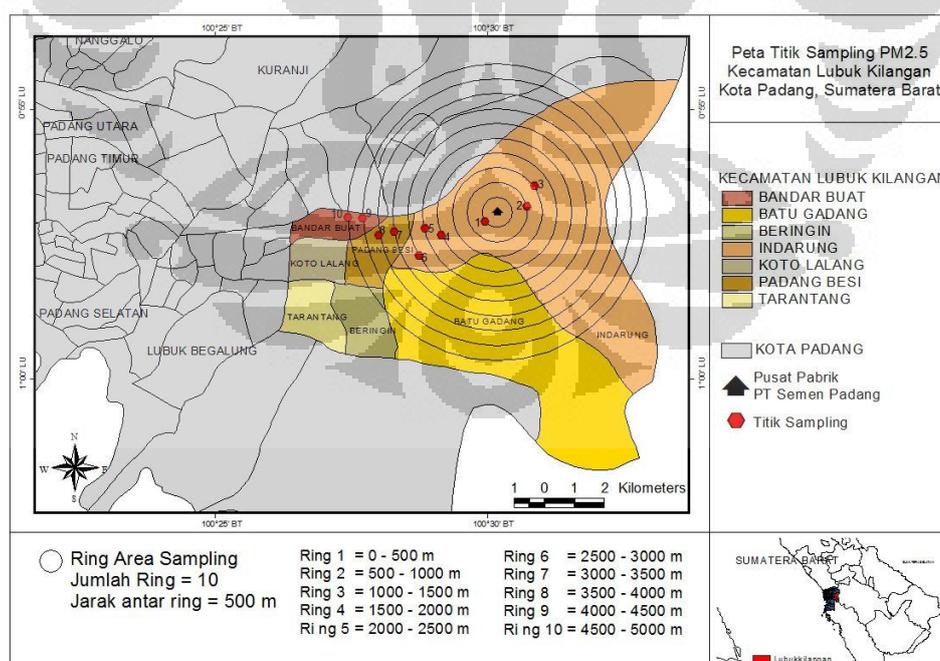
4.3 Rancangan Sampel

Dalam penelitian ini diambil dua jenis sampel sebagai variabel dalam perhitungan analisis resiko. Sampel tersebut adalah sampel udara ambien (*outdoor*) dalam ukuran *particulate matter* $< 2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) dan sampel masyarakat sebagai responden karakteristik antropometri dan pola aktivitas di kawasan industri PT Semen Padang di Kecamatan Lubuk Kilangan.

4.3.1 Sampel Udara

Penentuan jumlah titik sampling dilakukan dengan menggunakan kurva aproksimasi (Carter, 1977, dalam Soedomo, 2001). Jumlah titik ditentukan berdasarkan jumlah penduduk di suatu wilayah dan level pencemaran. Penentuan titik sampling kategori $PM_{2.5}$ disesuaikan dengan kategori SO_2 karena $PM_{2.5}$ juga terdiri dari senyawa SO_2 (World Bank, 1998). Jumlah penduduk di Kecamatan Lubuk Kilangan adalah 48.850 jiwa dan tingkat pencemaran tergolong rendah karena hanya terdapat satu sumber potensial. Berdasarkan kategori tersebut dengan jumlah penduduk di bawah 1 juta jiwa dan tingkat pencemaran rendah maka hanya diperlukan 10 titik pemantauan udara.

Lokasi titik sampling ditentukan dengan radius yang berbeda-beda. ini mengacu pada SK Menteri KLH No.2/Men.LH/1988 bahwa sampling diukur pada radius berbeda-beda. Setiap radius dinyatakan dengan ring dan jarak antar ring ditentukan sebesar 500 m (Suhariyono, Sri Saeni, dan Ahmad Bey, 2003). Titik sampel yang diambil sesuai dengan lokasi adanya kelompok permukiman masyarakat di sekitar kawasan industri tersebut. Lokasi titik sampling yang diambil digambarkan pada peta berikut :



Gambar. Lokasi titik sampling udara (*sampling point*) di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan.

4.3.1.1 Prosedur Pengukuran

Pengukuran $PM_{2.5}$ dilakukan satu kali tiap titik yaitu pada siang hari masing-masing 1 jam pengukuran. Pengukuran tidak dilakukan secara 24 jam karena keterbatasan penelitian. Pengukuran pada waktu tersebut kurang dapat merepresentasikan konsentrasi $PM_{2.5}$ dalam waktu 24 jam. Namun, hasil pengukuran ini dapat dijadikan estimasi konsentrasi dalam waktu 24 jam karena aktivitas produksi semen PT Semen Padang yang sama setiap harinya dan tidak adanya sumber lain yang berpotensi. Selain itu data kualitas udara TSP pada laporan RKL-RPL Semen Padang tahun 2010 yang diukur oleh Balai Hiperkes Kota Padang pada pengukuran ambien *outdoor* pagi, siang, dan malam tidak menunjukkan adanya perbedaan. Hasil uji Anova menunjukkan nilai $P = 0,865$ ($P > 0,05$; 95% CI). Ini berarti bahwa tidak ada perbedaan kualitas udara antara pagi, siang, dan malam hari. Karena TSP juga mengandung $PM_{2.5}$ sehingga dapat dikatakan tidak ada perbedaan kualitas udara selama 24 jam di kawasan industri PT Semen Padang.

Pengukuran $PM_{2.5}$ dilakukan dengan menggunakan alat sampel digital *direct reading* Haz-Dust EPAM 5000 USA. Alat ini menggunakan metode *laser analyzer* dalam melakukan pengukuran partikulat baik *outdoor* maupun *indoor*, berbeda dengan metode gravimetric yang menggunakan filter. Prosedur pengukuran dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Sampling dilakukan pada cuaca cerah. Apabila terjadi hujan maka sampling dibatalkan karena akan berpengaruh terhadap konsentrasi partikulat di udara.
2. Menghidupkan alat dengan menekan tombol power. Alat dapat dihidupkan dengan tenaga baterai atau langsung dari listrik.
3. Mengatur settingan tanggal dan waktu pengambilan sampel
4. Alat ditempatkan pada ketinggian 150 cm dari permukaan lantai. Ketinggian ini merupakan level inhalasi pada manusia sehingga dapat diketahui konsentrasi yang memajan manusia.
5. Alat minimal berada 2-3 meter dari gangguan gedung, pohon, dan jalan raya.
6. Waktu sampling dilakukan selama 60 menit

7. Hasil pengukuran kemudian dicatat, yaitu nilai max, min, *time weighted average* (TWA), dan waktu pengukuran.

4.3.2 Sampel Masyarakat

Masyarakat yang dijadikan sampel adalah masyarakat yang tinggal dalam kawasan industri Pulo Gadung dengan maksimal jarak 5 km dari pusat industri. Besar sampel yang ditetapkan dihitung dengan menggunakan rumus acak sederhana untuk penelitian uji beda mean :

$$n = \frac{Z\alpha^2 P (1-P)}{d^2}$$

n = besar sampel yang digunakan

Z α = batas kepercayaan (CI 95%)

P = proporsi kejadian (kelompok beresiko berdasarkan penelitian Suryaman (2006) didapatkan proporsi sebesar 60%)

d = penyimpangan/tingkat kesalahan

besar sampel yang digunakan adalah :

$$n = \frac{(1.96)^2 \times 0.6 \times (1 - 0.6)}{(0.1)^2}$$

$$n = 92$$

Jadi, sampel masyarakat yang diambil dalam penelitian ini sebesar 92 orang. Jumlah sampel ini kemudian dibagi dengan proporsi yang sama pada setiap titik sampling udara. Lebih jelas dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Ring	Jarak dari lokasi pabrik	Jumlah Sampel
1	Ring 1	0 – 500 m	10
2	Ring 2	500 – 1000 m	10
3	Ring 3	1000 – 1500 m	9
4	Ring 4	1500 – 2000 m	9
5	Ring 5	2000 – 2500 m	9

Universitas Indonesia

6	Ring 6	2500 – 3000 m	9
7	Ring 7	3000 – 3500 m	9
8	Ring 8	3500 – 4000 m	9
9	Ring 9	4000 – 4500 m	9
10	Ring 10	4500 – 5000 m	9
Total			92

4.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data secara primer maupun secara sekunder. Data primer meliputi :

1. Konsentrasi PM_{2.5} udara ambient di kawasan industry PT Semen Padang. Data ini diambil dengan menggunakan alat khusus pengambilan sampel PM_{2.5} yaitu Haz-Dust EPAM 5000 USA.
2. Data antropometri dan pola aktivitas masyarakat di kawasan industry PT Semen Padang. Data antropometri diambil dengan pengukuran langsung pada responden, sedangkan pola aktivitas dilakukan dengan metode wawancara menggunakan bantuan kuesioner.

Data sekunder yang diambil meliputi :

1. Data demografi dan kependudukan masyarakat di kawasan Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang. Data ini diperoleh dari badan pusat statistik Kota Padang dan Kantor Kecamatan Lubuk Kilangan.

4.5 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan tahap yang harus dilaksanakan sebelum melakukan analisis data agar data yang dianalisis dapat menghasilkan informasi yang valid. Dalam proses pengolahan data ini terdapat lima tahapan yang harus dilakukan, yaitu :

1. *Editing*

Merupakan kegiatan untuk melakukan pengecekan isian formulir atau kuesioner apakah daftar jawaban yang ada pada kuesioner sudah lengkap, jelas, relevan, dan konsisten.

2. *Coding*

Merupakan kegiatan merubah data menjadi bentuk-bentuk kode angka yang berguna memudahkan peneliti dalam melakukan entry data dan analisis.

3. *Entry*

Data yang sudah dipindahkan dalam bentuk kode, kemudian di *entry* ke dalam software komputer untuk dilakukan proses analisis selanjutnya.

4. *Cleaning*

Data yang sudah di *entry* dilakukan pengecekan ulang dengan tujuan untuk melihat apakah data yang masuk sudah relevan dengan daftar pertanyaan yang ada pada kuesioner dan memberikan kesempatan untuk dilakukan perbaikan sebelum dilakukan analisis.

4.6 Analisis Data

Tahap selanjutnya setelah pengolahan data adalah melakukan analisis data sesuai dengan output informasi yang diinginkan.

4.6.1 Analisis Univariat

Analisis ini bertujuan melihat gambaran distribusi karakteristik variabel yang diukur dalam penelitian. Distribusi karakteristik kemudian disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi dan grafik.

4.6.2 Analisis Bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk melihat korelasi antara munculnya kasus gejala gangguan pernafasan pada masyarakat dengan jarak radius dari sumber pencemar. Penentuan korelasi dilakukan dengan metode korelasi bivariat yang menggunakan analisis pearson (data normal) atau spearman (data tidak normal).

4.6.3 Analisis resiko

Data yang telah disajikan kemudian dianalisis dengan menggunakan metode analisis resiko yaitu dengan menghitung jumlah *intake* PM_{2.5} yang diterima individu per kilogram berat badan per harinya. *Intake* dihitung dengan

Universitas Indonesia

rumus perhitungan analisis resiko menggunakan nilai konsentrasi pajanan $PM_{2.5}$ yang terukur, nilai-nilai antropometri, dan pola aktivitas individu.

Nilai *intake* kemudian dibandingkan dengan nilai *intake* referensi yang akan menghasilkan nilai *risk quotient* (RQ). Apabila nilai $RQ > 1$ maka pajanan dikatakan memiliki resiko, sebaliknya apabila $RQ < 1$ maka pajanan dikatakan memiliki resiko rendah atau tidak beresiko.

4.6.4 Analisis Spasial

Setelah semua data diolah dengan analisis univariat dan analisis resiko, kemudian data tersebut dipindahkan ke dalam software ArcView 3.1 untuk dilakukan pengolahan data secara spasial ke dalam media peta. Pengolahan secara spasial prinsipnya menggabungkan data tabular dengan referensi geografisnya. Hasil dari pengolahan tersebut kemudian dapat ditampilkan ke dalam peta berdasarkan tujuan analisis yang diinginkan.

Pada penelitian ini analisis spasial dilakukan dengan metode *buffering* untuk melihat tingkat persebaran konsentrasi $PM_{2.5}$ berdasarkan radius dari sumber pencemar. Selain itu, tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ juga dilakukan *overlay* (menimpa) dengan data *risk quotient* (RQ) untuk melihat apakah peningkatan $PM_{2.5}$ juga sejalan dengan peningkatan RQ masyarakat di dalam peta.

BAB 5

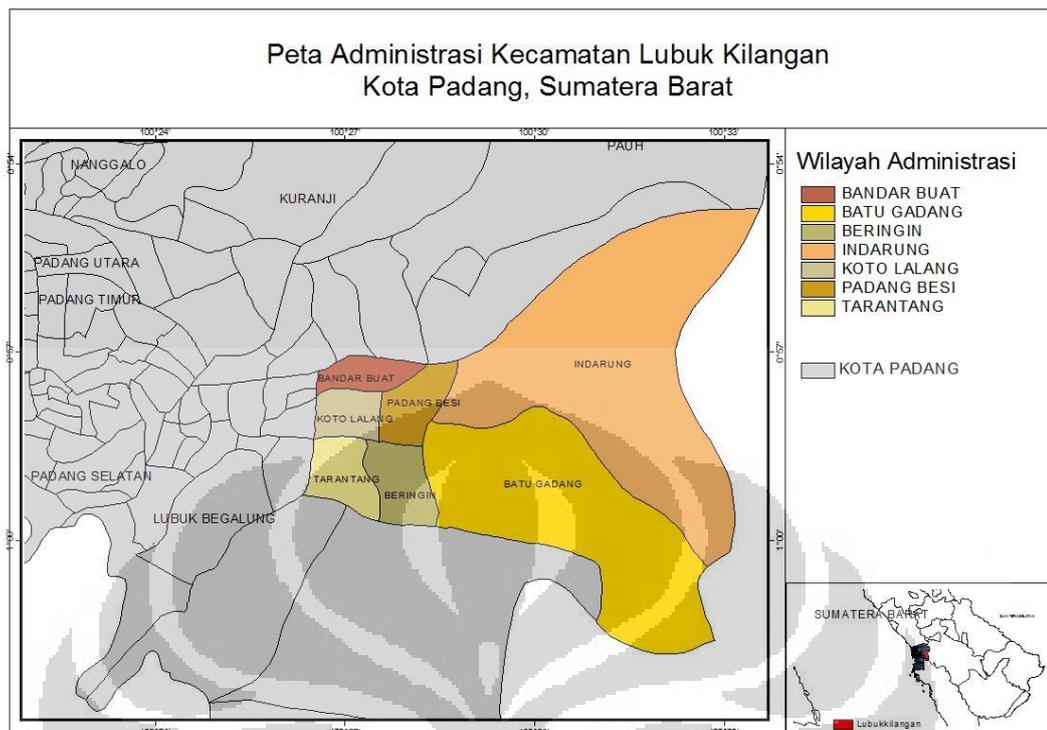
HASIL PENELITIAN

5.1 Gambaran Umum Kecamatan Lubuk Kilangan

Kecamatan Lubuk Kilangan merupakan salah satu dari 11 kecamatan yang terdapat di Kota Padang. Kecamatan ini terletak pada koordinat 0.58'.4" LS dan 100.21'.11" BT yang dilalui oleh jalan lintas antara Kota Padang dan Kabupaten Solok. Secara geografis kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Pauh di sebelah utara, sebelah selatan dengan Kecamatan Bungus Teluk Kabung, sebelah timur dengan Kabupaten Solok, dan sebelah barat dengan Kecamatan Lubuk Begalung. Selain itu Kecamatan Lubuk Kilangan merupakan daerah dataran tinggi dengan ketinggian mencapai 1.853 mdpl (Lubuk Kilangan Dalam Angka, 2010).

Kecamatan Lubuk Kilangan saat ini memiliki 7 kelurahan yaitu Tarantang, Beringin, Batu Gadang, Indarung, Padang Besi, Koto Lalang, dan Bandar Buat dengan luas total wilayah 85,99 Km². Pada luas tersebut, tahun 2010 Kecamatan Lubuk Kilangan memiliki jumlah penduduk 48.850 jiwa dengan perbandingan laki-laki dan perempuan yang tidak jauh berbeda, yaitu 24.563 jiwa (L) dan 24.287 jiwa (P) atau *sex ratio* 101,14 (Lubuk Kilangan Dalam Angka, 2010).

Sumber pendapatan masyarakat Lubuk Kilangan banyak berasal dari kegiatan perdagangan dan kegiatan industri. Kegiatan industri terbesar yang memberikan banyak sumber pendapatan adalah PT. Semen Padang yang terletak di Kelurahan Indarung dan pertambangan batu kapur di Bukit Putih yang terletak di Kelurahan Batu Gadang. Selain itu PT. Semen Padang banyak menyerap tenaga kerja local yaitu sekitar 88% yang berasal dari Kecamatan Lubuk Kilangan sendiri dan daerah lainnya di Sumatera Barat (Srimulyati, 2006).



Peta 5.1. Wilayah administrasi Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang.

5.2 Profil Umum PT. Semen Padang

PT Semen Padang merupakan industry semen pertama dan tertua di Indonesia yang berdiri sejak tahun 1910. PT Semen Padang terletak di Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Sumatera Barat, sekitar 15 km dari timur pusat Kota Padang dengan luas 10.906.206 m². Secara geografis, pabrik PT Semen Padang terletak pada daerah lembah pada ketinggian 200 mdpl. Sejak awal berdirinya hingga saat ini PT Semen Padang telah mencapai tingkat produksi tertinggi yaitu 5.240.000 ton/tahun atau 15.000 ton/hari.

Jumlah karyawan PT Semen Padang memiliki total 1704 pekerja yang terbagi atas karyawan shift dan non-shift. Karyawan shift berjumlah 560 orang dan non-shift berjumlah 1144 orang. Jadwal kerja karyawan PT Semen Padang merujuk pada Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. 13 tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan pasal 77 ayat 2, yaitu setiap pekerja memiliki waktu kerja 8 jam per hari dengan waktu total 40 jam per minggu.

5.3 Proses Produksi

Secara umum ada dua proses dalam produksi semen di PT Semen Padang, yaitu proses basah dan proses kering.

1. Proses basah

Proses basah sudah tidak dipakai lagi di PT Semen Padang sejak tidak dioperasikannya pabrik Indarung I. hal ini disebabkan karena mahalnya biaya operasional dan produksi

2. Proses kering

Proses kering memiliki beberapa keuntungan diantaranya, yaitu tidak membutuhkan biaya dan energy yang besar karena kiln lebih pendek dan mampu mengolah dengan kapasitas besar. Namun, proses kering ini memiliki kekurangan yaitu debu atau partikulat yang dihasilkan lebih besar.

Proses produksi semen di PT Semen Padang pada umumnya tidak jauh berbeda dari proses produksi industri semen lainnya, yaitu memenuhi 3 proses utama :

1. Proses penambangan dan penyediaan bahan mentah
2. Proses produksi yang terdiri dari proses penggilingan dan pembakaran
3. Proses *packing* dan pemasaran

5.3.1 Bahan Baku

Ada beberapa bahan baku (*raw materials*) yang diperlukan untuk membuat komposisi semen :

1. Batu Kapur (*limestone*)

Batu kapur merupakan bahan baku utama yang diperlukan dalam pembuatan semen. Hal ini karena pada batu kapur mengandung Kalsium Oksida (CaO) dan Kalsium Karbonat (CaCO₃) sebagai material utama yang diperlukan dalam kandungan semen.

2. Batu Silika (*silica stone*)

Batu silika merupakan sumber dari mineral Silika Oksida (SiO₂) dan Aluminium Oksida (Al₂O₃). Batu silika diperlukan sekitar 9-10 % dalam komposisi semen.

3. Tanah Liat

Tanah liat merupakan sumber dari Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Besi Oksida (Fe_2O_3).

4. Pasir Besi (*iron sand*)

Pasir besi merupakan sumber utama Besi Oksida (Fe_2O_3). PT Semen Padang tidak memiliki area tambang untuk pasir besi, tetapi membelinya dari luar.

5.3.2 Bahan Tambahan

Bahan tambahan yang digunakan adalah :

1. Gypsum

Gypsum merupakan material tambahan dalam semen yang berfungsi memperlambat proses pengerasan pada semen. Gypsum biasanya ditambahkan pada semen untuk memperoleh sifat tertentu pada semen.

2. Batu Bara

Batu bara merupakan bahan bakar yang digunakan dalam proses *kiln mill* pada proses pembuatan semen. Batu bara di Semen Padang didapatkan dari tambang batu bara di Sawahlunto.

5.4 Tahapan Produksi

5.4.1 Penambangan

1. *Striping*

Penambangan dilakukan untuk memperoleh bahan baku utama yaitu batu kapur (*limestone*) dan batu silika (*silica stone*). Batu kapur diperoleh dari Bukit Karang Putih dan batu silika diperoleh dari Bukit Ngalau. Tahap awal penambangan dilakukan dengan penelitian kondisi bahan tambang oleh ahli geologi apakah batu kapur sudah siap untuk ditambang atau belum. Setelah konfirmasi siap tambang, maka dilakukan tahap *striping*, yaitu pengupasan kerak bumi untuk mendapatkan lapisan batu kapur.

2. *Drilling*

Setelah dilakukan pengupasan maka dilakukan pengeboran ke dalam bumi (*drilling*) sedalam 9 – 18 meter dengan diameter 6,6 inch. Pengeboran dilakukan

dengan menggunakan *cawler drill* dan *drill master*. Ini bertujuan untuk menanamkan bahan peledak yang digunakan untuk meledakkan material batu kapur. Bahan peledak yang digunakan berupa *Ammonium Nitrat Fuel Oil* (ANFO).

3. *Blasting*

Blasting yaitu pengeboman area tambang untuk mengeluarkan material dari bumi. Ledakan akan menghasilkan batu kapur yang siap untuk diangkut ke tahap produksi selanjutnya.

4. *Dumping*

Bongkohan batu kapur kemudian diangkut menuju proses selanjutnya. Proses pengangkutan dilakukan dengan dua cara yaitu *dumping* dan *direct dumping*. Proses *dumping* dilakukan dengan membawa material batu kapur dengan *dump truck* kemudian akan di*unload* dari atas suatu tebing yang telah disediakan. Hasil tumpahan tersebut kemudian akan diangkut oleh *escavator* ke tahap *crusher*. Pada tahap *direct dumping*, material batu kapur akan dibawa oleh *dump truck* dan diantarkan langsung menuju *crusher* tanpa perantara *escavator*.

5. *Crushing*

Crushing merupakan tahap penghancuran bongkahan-bongkahan batu kapur dan silika yang telah ditambang menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai yang diinginkan. Penghancuran dilakukan di *crusher*. Hal ini bertujuan agar pada proses penggilingan dapat bekerja lebih efektif. Hasil dari pemecahan ini kemudian disimpan di dalam *storage*.

5.4.2 Penggilingan dan Pencampuran Bahan Baku (*mixing*)

Penggilingan bahan baku dilakukan untuk mendapatkan campuran awal bahan baku antara batu kapur, batu silika, tanah liat, dan pasir besi dengan proporsi komposisi yang telah ditentukan. Proses penggilingan dilakukan di *raw mill*. *Raw mill* ini bertujuan sebagai pencampuran awal, pengeringan bahan mentah, dan homogenisasi campuran.

Campuran bahan baku yang masih basah sebelumnya dilakukan pengeringan terlebih dahulu. Pengeringan ini dilakukan dengan memanfaatkan udara panas yang dikeluarkan oleh *kiln*. Proses pengeringan ini disebut dengan *drying*. Hasil pengeringan ini didapatkan kadar air bahan baku sebesar 0,8% dari

yang sebelumnya 6-11%. Setelah dikeringkan kemudian bahan baku digiling di dalam *raw mill* dan hasil dari penggilingan ini disebut dengan *raw mix*.

5.4.3 Pembakaran

Pada tahap ini hasil penggilingan (*raw mix*) dibakar untuk menghasilkan reaksi kimia dan mendapatkan senyawa dari oksida-oksida yang terkandung di dalam bahan baku. Pembakaran dilakukan di dalam *kiln*, yaitu suatu silinder dengan panjang 80 m yang berdiameter 5 m dan diposisikan dengan kemiringan 3%. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan bahan bakar batu bara yang telah dihaluskan pada ukuran tertentu atau disebut juga dengan *fine coal*. Suhu pembakaran yang digunakan dalam proses pembakaran pada *kiln* ini yaitu 1450 °C. suhu ini dipertahankan dengan menggunakan batu tahan api (*firebrick*) yang terdapat di dalam *kiln*. Silinder *kiln* berputar secara konstan dengan kecepatan 3 rpm.

Pada *kiln* ini dilakukan beberapa tahap pembakaran yaitu pembakaran awal (*preheating*), kalsinasi (*calcinations*), pemijaran (*sintering*), dan pendinginan (*cooling*). Hasil dari proses pembakaran ini akan didapatkan campuran yang telah halus dan disebut *klinker* dengan ukuran material antara 1-40 mm³. Terdapat dua hasil *klinker* yaitu *klinker* kasar dan *klinker* halus. *Klinker* halus dapat langsung dimasukkan ke *domesilo* yaitu tempat penyimpanan sementara *klinker*, sedangkan *klinker* kasar dihaluskan lagi dan baru kemudian dibawa ke *domesilo*.

5.4.4 Penggilingan Semen

Pada tahap ini *klinker* dicampur dengan bahan tambahan lain yaitu gypsum pada *cement mill*. Pencampuran dilakukan di dalam silinder *cement mill* yang di dalamnya terdapat bola baja yang berfungsi sebagai penghalus sampai ukuran tertentu. Hasil dari penggilingan ini merupakan semen yang siap untuk didistribusikan. Semen ini kemudian akan dibawa ke silo semen dan siap untuk dilakukan pengepakan (*packing*).

5.4.5 Pengepakan (*Packing*)

Proses pengantongan semen pada PT Semen Padang dikelola oleh 3 bidang pengantongan, yaitu Bidang Pengantongan *Packing Plant Indarung*, Bidang Pengantongan Teluk Bayur, dan Bidang Pemeliharaan Khusus. Selain itu terdapat 12 unit *packer*, yaitu 2 unit di Indarung I, 6 unit di *Packing Plant Indarung*, 4 unit di teluk bayur dan sisanya merupakan *rotary packer* yang memiliki kapasitas 80 ton per jam.

Proses pengepakan dimulai dengan mengeluarkan semen yang tersimpan di silo semen. Semen yang keluar akan melalui *pneumatic valve* yang terdapat pada silo dan kemudian masuk ke *air slide* dan diteruskan ke *bucket elevator*. Sebelum didistribusikan ke tempat pengantongan, semen terlebih dahulu melewati layar kontrol (*tronnol screen*) yang berfungsi untuk melihat apakah ada benda asing selain semen atau gumpalan-gumpalan semen, sehingga dapat dipisahkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengepakan. Ini bertujuan untuk agar kualitas semen tetap terjaga.

Semen kemudian dimasukkan ke dalam *feed tank* yang akan membawa semen ke proses pengepakan. Pada *feed tank* dilengkapi dengan indikator yang berfungsi dalam menjaga kestabilan isi semen di dalam tank. Indikator yang digunakan adalah *Nivopilot* dan *level indikator*. Jika *feed tank* berada dalam kondisi full maka *pneumatic valve* akan menutup secara otomatis, dan sebaliknya akan menutup pada kondisi isi minimum. Selanjutnya semen dari *feed tank* akan dimasukkan ke dalam *packer tank* yang akan langsung melakukan pengepakan dengan bantuan tekanan udara.

5.5 Sistem Pengendalian Partikulat

Setiap proses produksi yang dilakukan di pabrik PT Semen Padang akan mengeluarkan hasil sampingan utama berupa partikulat atau debu. Partikulat ini dapat menjadi pencemar yang berbahaya apabila tidak terkontrol dengan baik dan benar. Dalam hal ini PT Semen Padang telah melakukan beberapa pengendalian yaitu dengan memasang alat penangkap partikulat sebelum keluar ke udara bebas agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditentukan. Alat

penangkap partikulat yang digunakan adalah *Jet Pulse Filter* (JPF), *Bag House Filter* (BHF), dan *Electrostatic Precipitator* (EP).

5.6 Karakteristik Individu

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan pada 92 penduduk yang di Kecamatan Lubuk Kilangan, didapatkan karakteristik individu sebagai berikut :

Tabel 5.1. Karakteristik Individu Masyarakat di Kecamatan Lubuk Kilangan

Variabel	Jumlah	Persentase (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	28	30.4
Perempuan	64	69.6
Total	92	100
Umur		
< 30 tahun	12	13
30 - 50 tahun	50	54.3
> 50 tahun	30	32.6
Total	92	100
Pendidikan		
Tidak tamat SD	2	2.2
SD	18	19.6
SMP	18	19.6
SMA	46	50
D3	2	2.2
PT (S1)	6	6.5
Total	92	100
Pekerjaan		
Tidak bekerja	41	44.6
PNS	1	1.1
Petani	0	0
ABRI	0	0
Polri	0	0
Wiraswasta	46	50
Lainnya	4	4.3
Total	92	100

Berdasarkan hasil survei ini, 69,6% dari responden adalah berjenis kelamin perempuan dan umur rata-rata masyarakat dewasa lebih banyak berkisar antara 30

sampai 50 tahun yaitu 54,3%, sedangkan pada kelompok lansia hanya 32,6 %. Artinya, lebih banyak masyarakat yang berusia produktif.

Dari 92 responden, 50% bekerja sebagai wiraswasta yang kebanyakan berprofesi sebagai pedagang. Kemudian 44 % dari responden tidak bekerja yang seluruhnya berasal dari kelompok perempuan atau sehari-hari lebih banyak beraktivitas sebagai ibu rumah tangga. Pendidikan terakhir responden lebih banyak berasal dari sekolah menengah atas (SMA) yaitu sebesar 50% dan kemudian diikuti oleh SD dan SMA masing-masing sama 19.6%. sedangkan yang berasal dari perguruan tinggi seperti D3 dan S1 hanya 8,7%.

5.7 Konsentrasi $PM_{2.5}$ di Udara Ambien

Pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara ambient dilakukan selama satu jam pada setiap titik di siang hari dari sekitar pukul 09.00 hingga pukul 16.00. konsentrasi $PM_{2.5}$ diukur pada setiap radius 500 m dengan jarak maksimal 5000 m dari pusat pencemar, yaitu cerobong pembakaran bahan baku di pabrik PT Semen Padang. Setiap radius diwakili oleh satu titik pengukuran.

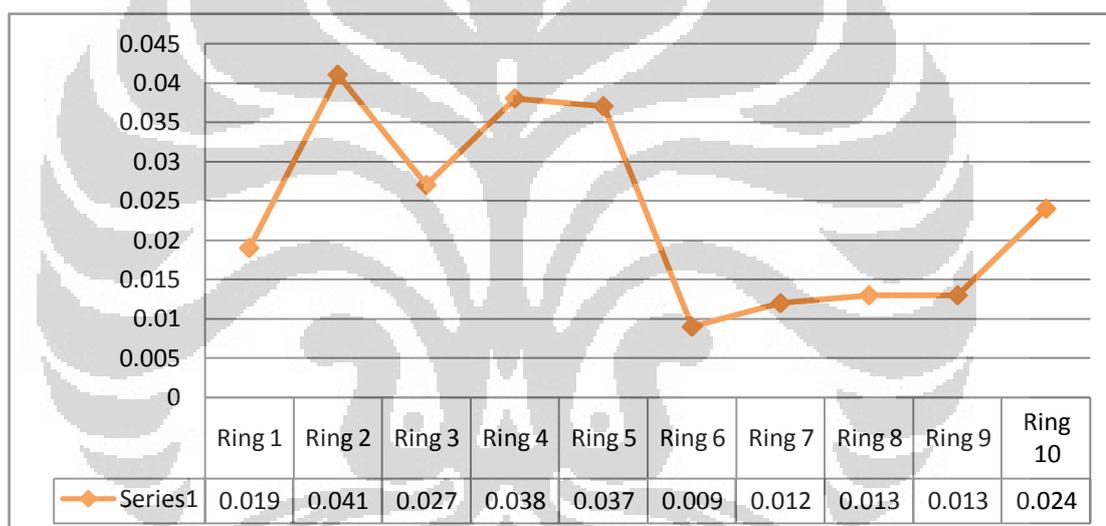
Titik-titik pengukuran ditetapkan pada dua arah yang berbeda yaitu arah barat dan timur dan pengukuran dilakukan pada lokasi yang padat penduduknya. Pada arah barat ditetapkan pada Ring 4, Ring 5, Ring 6, Ring 7, Ring 8, Ring 9, dan Ring 10. Pada arah timur ditetapkan Ring 2 dan Ring 3. Sedangkan Ring 1 ditetapkan sebagai titik pusat.

Tabel 5.2. Konsentrasi *Time Weighted Average* (TWA) $PM_{2.5}$ di udara ambient di kawasan industri PT. Semen Padang (mg/m^3)

No	Ring	Lokasi	Jarak	Waktu Pengukuran	TWA
1	Ring 1	Perumnas Indarung	0 - 500 m	Siang	0.019
2	Ring 2	indarung atas	500 - 1000 m	Siang	0.041
3	Ring 3	indarung atas	1000 - 1500 m	Siang	0.027
4	Ring 4	Indarung	1500 - 2000 m	Siang	0.038
5	Ring 5	Indarung	2000 - 2500 m	Siang	0.037
6	Ring 6	Kompleks Lemdadika	2500 - 3000 m	Siang	0.009
7	Ring 7	Kel. Padang besi bukit atas	3000 - 3500 m	Siang	0.012
8	Ring 8	Mesjid Padang Besi	3500 - 4000 m	Siang	0.013
9	Ring 9	Bandar Buat	4000 - 4500 m	Siang	0.013
10	Ring 10	Bandar buat	4500 - 5000 m	Siang	0.024

Konsentrasi $PM_{2.5}$ memperlihatkan terjadinya kenaikan pada Ring 2 sebesar 0.041 mg/m^3 dari Ring 1 yaitu 0.019 mg/m^3 dan kemudian terjadi penurunan lagi pada Ring 2 sebesar $0,027 \text{ mg/m}^3$. $PM_{2.5}$ kembali mengalami peningkatan pada Ring 4 dan kemudian kembali menurun hingga Ring 6. Namun, pada Ring 7 terlihat kembali mengalami peningkatan hingga Ring 10, tetapi penambahan konsentrasi pada Ring ini tidak terlalu signifikan. Penurunan konsentrasi secara signifikan terjadi pada Ring 6, yaitu 0.009 mg/m^3 . Konsentrasi ini menurun hingga 4 kali lipat dibanding pada Ring sebelumnya yaitu 0.037 mg/m^3 .

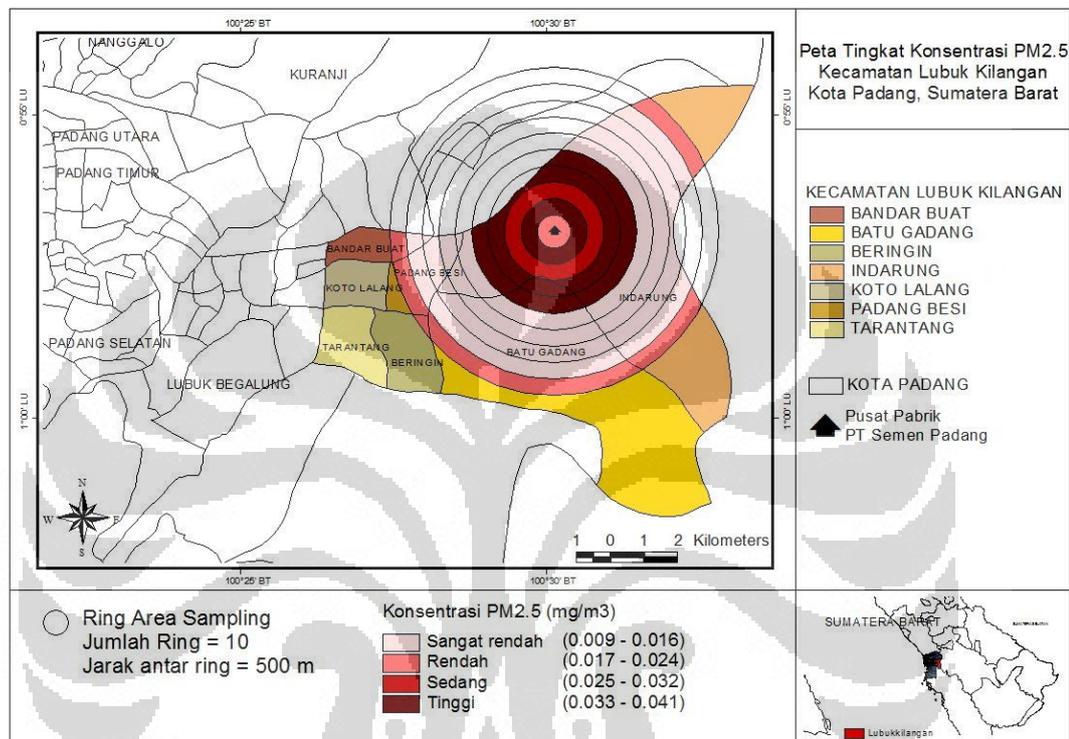
Grafik 5.1. Konsentrasi *Time Weighted Average* (TWA) $PM_{2.5}$ di udara ambient di kawasan industri PT. Semen Padang (mg/m^3)



Konsentrasi $PM_{2.5}$ kemudian ditampilkan pada peta untuk memperoleh gambaran persebaran tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ tiap-tiap ring secara spasial. Konsentrasi $PM_{2.5}$ disajikan dengan metode *buffering*, yaitu menggambarkan tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ berdasarkan radius dari sumber pencemar. Nilai konsentrasi dikelompokkan ke dalam 4 kelas. Pengelompokan nilai konsentrasi tersebut adalah sangat rendah ($0,009 - 0,016$), rendah ($0,017 - 0,024$), sedang ($0,024 - 0,033$), dan tinggi ($0,033 - 0,041$).

Pada peta terlihat konsentrasi $PM_{2.5}$ cenderung lebih tinggi pada area yang lebih dekat dengan sumber pencemar, yaitu daerah yang memiliki warna merah lebih gelap. Warna buffer terlihat lebih gelap pada lima ring pertama, yaitu tinggi

pada Ring 2, 4, dan 5, sedang pada Ring 3, dan rendah pada Ring 1. Daerah yang dilalui oleh konsentrasi tinggi adalah Desa Indarung dan Desa Batu Gadang, konsentrasi sedang pada Desa Indarung, konsentrasi rendah di Desa Bandar Buat, Beringin, Padang Besi, Batu Gadang, dan Indarung, dan konsentrasi sangat rendah pada Desa Bandar Buat, Padang Besi, Batu Gadang, dan Indarung.



Peta 5.2. Tingkat persebaran konsentrasi PM_{2.5} di udara ambient pada kawasan industri PT Semen Padang.

5.8 Karakteristik Antropometri dan Pola Aktivitas

Survei dilakukan pada 92 responden dewasa untuk mendapatkan gambaran umum karakteristik antropometri dan pola aktivitas masyarakat setempat. Komponen yang disurvei adalah berat badan, lama pajanan harian, frekuensi pajanan dalam setahun, dan durasi pajanan yang telah diterima oleh individu selama hidupnya di wilayah penelitian.

Tabel 5.3. Karakteristik antropometri dan pola aktivitas responden (n = 92)

No	Elemen	Mean	Median	Modus	Min	Max	Std. Deviasi
1	Berat Badan (W) (Kg)	58.41	58	60	35	90	10.286
2	Lama Pajanan (t_E) (Jam/hari)	22.77	24	24	12	24	2.56
3	Frekuensi Pajanan (f_E) (hari/tahun)	356.37	363	365	185	365	21.681
4	Durasi pajanan <i>real time</i> (D_{real})	28.58	28	1	1	67	19.154

Rata-rata berat badan (w) masyarakat yang disurvei adalah 58,41 Kg dengan maksimal berat badan yang terukur adalah 90 Kg. Lama pajanan harian yang diterima masyarakat lebih banyak terpajan selama 24 jam dengan rata-rata 22,77 jam, sedangkan dalam satu tahun masyarakat lebih banyak terpajan selama 365 hari/tahun atau satu tahun penuh dengan rata-rata 356 hari/tahun. Pada hasil survei ini juga terlihat bahwa paling lama masyarakat yang tinggal dan telah terpajan dengan polutan adalah selama 67 tahun dengan pajanan tersingkat selama 1 tahun dan rata-rata 28.58 tahun atau 29 tahun.

5.9 Analisis Pemajanan

Penentuan analisis pemajanan (*Exposure Assessment*) dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai karakteristik antropometri dan pola aktivitas ke dalam suatu formula yang dinyatakan sebagai intake. Intake dinyatakan sebagai jumlah pajanan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari. Intake dihitung secara *lifetime* dan *realtime*.

Intake dihitung dengan menggunakan rumus intake :

$$Intake = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_B \times t_{avg}}$$

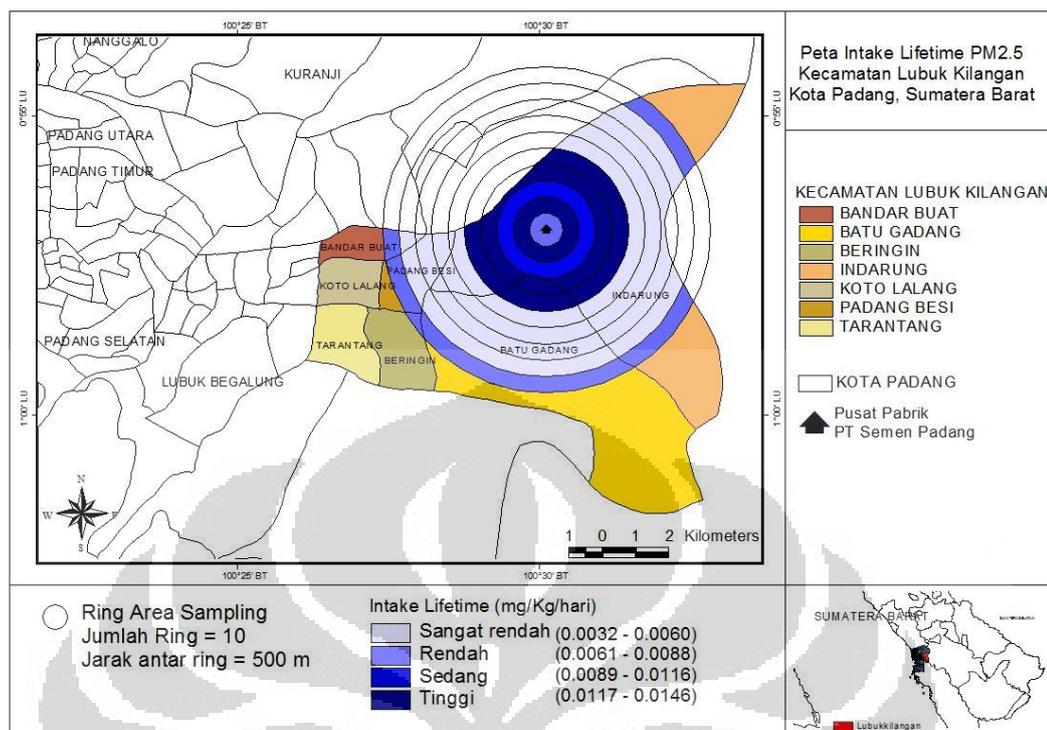
Intake pajanan *lifetime* menggunakan durasi pemajanan standar (D_t) 30 tahun. Durasi pemajanan 30 tahun adalah waktu diperkirakan efek non karsinogenik termanifestasi pada manusia (EPA, 1991). Untuk perhitungan intake

life time, nilai antropometri dan pola aktivitas diberlakukan sama untuk seluruh ring, sehingga setiap ring memiliki nilai dan karakteristik yang sama. Perbedaan elemen hanya pada nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ setiap ring.

Konsentrasi $PM_{2.5}$ yang digunakan adalah konsentrasi yang terukur pada setiap titik ring, yaitu mulai dari Ring 1 sampai Ring 10 (Tabel 5.2). Berat badan yang digunakan adalah 59 Kg, yaitu nilai mean dari seluruh berat badan responden karena nilai berat badan berdistribusi secara normal. Lama pajanan (t_E) adalah 24 jam/hari yaitu nilai median karena lama pajanan tidak berdistribusi normal. Frekuensi pajanan (f_E) adalah 363 hari/tahun, yaitu nilai median karena nilai frekuensi tidak berdistribusi normal. Laju inhalasi (R) yang digunakan adalah $21.3 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau dikonversi menjadi $0.88 \text{ m}^3/\text{jam}$, yaitu nilai standar laju inhalasi rata-rata orang dewasa dengan umur 21-61 tahun (EPA, 2011). Karena perhitungan risiko ini adalah non-karsinogen, durasi rata-rata (t_{avg}) yang digunakan untuk pajanan non karsinogen adalah 360×30 tahun.

Intake *lifetime* terbesar yang diterima individu adalah pada Ring 2 dengan besar intake $0,014 \text{ mg/Kg/hari}$, sedangkan intake terkecil adalah pada Ring 6 dengan besar intake $0,003 \text{ mg/Kg/hari}$. Hasil perhitungan intake dapat dilihat di tabel perhitungan intake pada lampiran.

Jika dilihat dalam gambaran peta, persebaran intake yang diterima oleh individu per harinya sejalan dengan tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ pada tiap-tiap ringnya. Terdapat kesamaan degradasi warna *buffer* antara peta 5.3 dan peta 5.2, yaitu bertambahnya besar intake dengan semakin dekatnya jarak dari sumber pencemar.



Peta 5.3. Besar intake PM_{2.5} yang diterima oleh individu setiap harinya (mg/kg/hari)

Intake pemajanan *realtime* dihitung menggunakan durasi pajanan sebenarnya ($D_{t_{real}}$), yaitu durasi pajanan berdasarkan lamanya individu tinggal di area penelitian. Berdasarkan hasil survey, $D_{t_{real}}$ berkisar dari 1 sampai 67 tahun. Berat badan (W), lama pajanan (t_E), dan frekuensi pajanan (f_E) yang digunakan adalah nilai berdasarkan kelompok ring masing-masing, sehingga elemen faktor pemajanan tersebut memiliki nilai yang berbeda pada setiap ringnya. Sedangkan untuk nilai laju inhalasi (R) dan durasi rata-rata (t_{avg}) menggunakan nilai yang sama dengan perhitungan intake *lifetime*. Intake terbesar yang diterima adalah 0,032 mg/Kg/hari pada Ring 5 dengan durasi pajanan 63 tahun, sedangkan intake terkecil adalah 0,00014 mg/Kg/ hari pada Ring 7 dengan durasi pajanan 1 tahun. Nilai elemen faktor pemajanan dan hasil intake dapat dilihat di tabel perhitungan intake *realtime* pada lampiran.

5.10 Analisis Dosis-Respons

Perhitungan besarnya risiko yang diterima oleh individu dilakukan dengan membandingkan nilai intake dengan nilai dosis referensinya. Dosis referensi

inhalasi (*RfC*) untuk partikulat PM_{2.5} diambil dari hasil konversi nilai *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) US-EPA tahun 2006 dengan membandingkan nilai NOAEL dengan *uncertainty factors* (UF) (Kolluru et al, 1996). Karena *RfC* diturunkan dari nilai NAAQS dan dianggap kelengkapan data sudah cukup, maka nilai UF ditiadakan. Sehingga didapatkan nilai *RfC* :

$$NOAEL = (C) \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{(W)} \text{kg} \times (R) \text{m}^3/\text{hari}$$

$$NOAEL = 0.035 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{60} \text{kg} \times 20 \text{m}^3/\text{hari}$$

$$RfC = 0.01$$

Jadi nilai *RfC* yang digunakan dalam perhitungan risiko adalah 0,01.

5.11 Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko dilakukan untuk mendapatkan nilai besarnya risiko individu berdasarkan intake yang diterima. Nilai risiko ini dinyatakan dalam *risk quotient* (RQ) yang dihasilkan dari persamaan berikut :

$$RQ = \frac{\text{Intake}}{RfC}$$

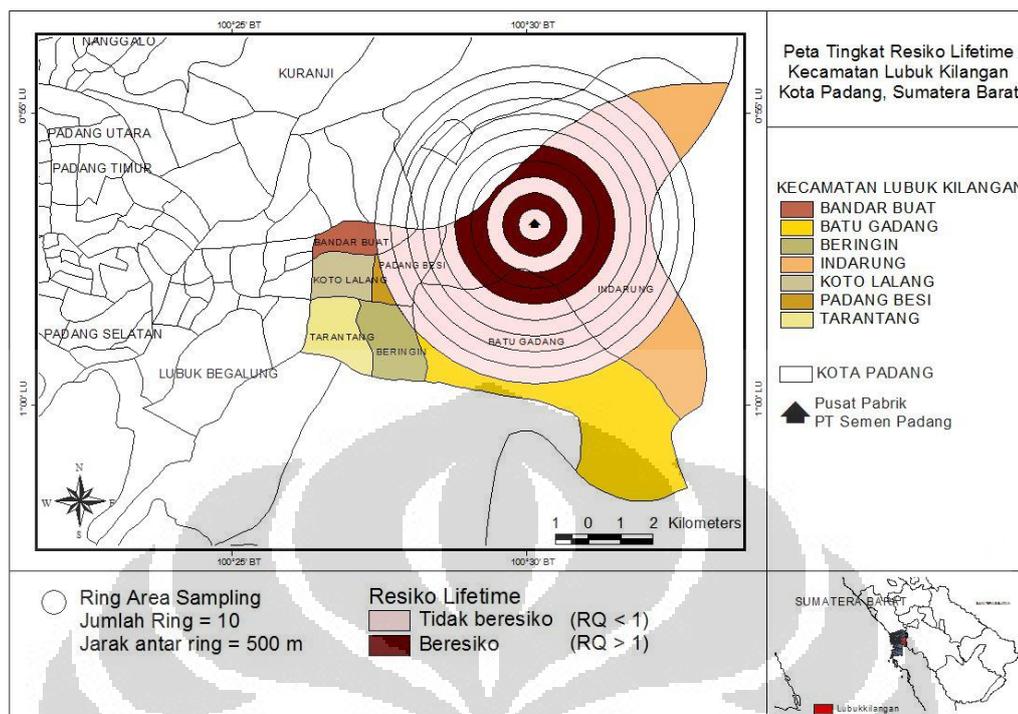
Hasil perhitungan akan mendapatkan nilai $RQ > 1$ dan nilai $RQ < 1$. Suatu keadaan dinyatakan berisiko apabila nilai $RQ > 1$ sehingga keadaan ini butuh pengendalian dan tidak berisiko apabila nilai $RQ < 1$.

Tabel 5.4. Nilai *risk quotient* (RQ) *lifetime* pada setiap ring pengamatan

Ring	Konsentrasi PM _{2.5} (mg/m ³)	RQ	Risiko
Ring 1	0.019	0.6764	Tidak berisiko
Ring 2	0.041	1.4596	Berisiko
Ring 3	0.027	0.9612	Tidak berisiko
Ring 4	0.038	1.3528	Berisiko
Ring 5	0.037	1.3172	Berisiko
Ring 6	0.009	0.3204	Tidak berisiko
Ring 7	0.012	0.4272	Tidak berisiko
Ring 8	0.013	0.4628	Tidak berisiko
Ring 9	0.013	0.4628	Tidak berisiko
Ring 10	0.024	0.8544	Tidak berisiko

Berdasarkan perhitungan RQ untuk kelompok *lifetime* didapatkan nilai RQ > 1 pada tiga titik sampling, yaitu pada Ring 2 (500-1000 m), Ring 4 (1500-2000 m), dan Ring 5 (2000-2500 m). Artinya, 30% dari area pengukuran tersebut berisiko bagi masyarakat terhadap pajanan PM_{2.5} dalam waktu pajanan *lifetime* atau seumur hidup.

Pada peta terlihat 2 daerah yang masuk ke dalam area berisiko, yaitu Desa Indarung dan Desa Batu Gadang. Desa Indarung memiliki daerah risiko yang lebih besar dibandingkan dengan Desa Batu Gadang (Peta 5.4).



Peta 5.4. Daerah tingkat risiko lifetime pajanan $PM_{2.5}$ di Kecamatan Lubuk Kilangan

Hasil perhitungan $RQ_{realtime}$ menunjukkan hasil yang berbeda. Terdapat penambahan area berisiko, yaitu area dengan nilai $RQ > 1$. Area tersebut adalah Ring 1, Ring 2, Ring 3, Ring 4, Ring 5, dan Ring 10. Individu yang berisiko pada area tersebut adalah individu dengan kelompok durasi pajanan *realtime* (Dt_{real}) 52 tahun ke atas (Ring 1), 27 tahun ke atas (Ring 2), 40 tahun ke atas (Ring 3), 25 tahun ke atas (Ring 4), 22 tahun ke atas (Ring 5), dan 40 tahun ke atas (Ring 10). Berdasarkan hasil ini, terdapat 33% individu berisiko terhadap pajanan $PM_{2.5}$ dan sisanya 67% tidak berisiko. Hasil perhitungan RQ ini dapat dilihat di tabel $RQ_{realtime}$ pada lampiran.

5.12 Gejala Gangguan Pernafasan

Selain data antropometri dan pola aktivitas, data mengenai gejala gangguan pernafasan pada responden juga dikumpulkan untuk melihat gambaran risiko akibat pajanan $PM_{2.5}$ di udara yang terjadi pada saat penelitian. Data gejala gangguan pernafasan yang diambil adalah gejala yang dirasakan pada dua minggu terakhir berupa batuk, demam, flu, sesak nafas, dan nafas berbunyi (mengi).

Tabel 5.5. Gejala gangguan pernafasan yang dirasakan responden dalam 2 minggu terakhir.

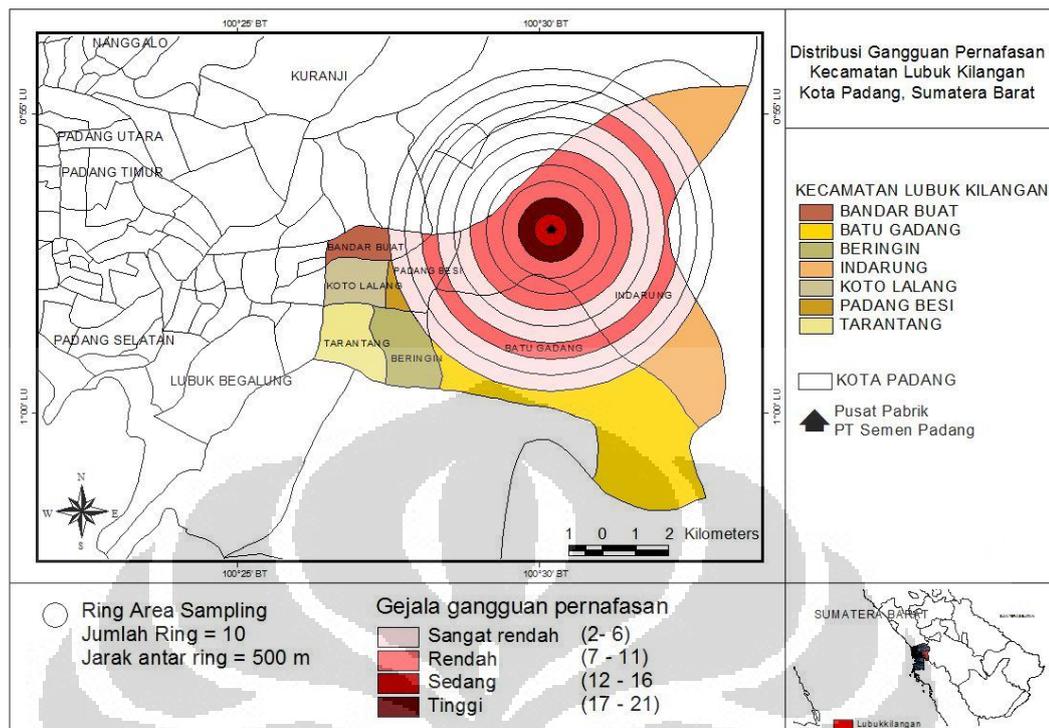
Gejala	Jumlah	Persentase (%)
Batuk	26	28.3
Demam	13	14.1
Pilek/Flu	26	28.3
Sesak nafas	10	10.9
Mengi	8	8.7
Jumlah sakit	41	44.6
Jumlah tidak sakit	51	55.4

Gejala penyakit gangguan pernafasan pada individu paling banyak mengalami pilek atau flu dan batuk, yaitu masing-masing sama sebanyak 26 orang (28,3 %). Gejala lain yang juga dialami adalah demam (14,1 %), sesak nafas (10,9%), dan nafas bunyi atau mengi (8,7%). Dari total seluruh responden yang disurvei yang mengalami sakit minimal salah satu dari gejala tersebut ada sebanyak 44,6% dan tidak mengalami sakit atau tidak mengalami salah satu dari gejala tersebut ada sebanyak 55,4%. Secara keseluruhan jumlah sakit dan tidak sakit tidak jauh berbeda.

Untuk melihat korelasi antara gejala gangguan pernafasan dengan jarak tempat tinggal individu dari sumber pencemar, dilakukan skoring pada setiap gejala yang muncul. Satu gejala yang diderita diwakilkan oleh nilai 1 (Tabel skoring pada lampiran), sehingga setiap individu akan mendapatkan jumlah skor yang berbeda.

Korelasi antara gejala gangguan pernafasan dengan jarak tempat tinggal individu dari sumber pencemar menunjukkan hasil yang signifikan ($P < 0,05$; $\alpha = 5\%$). Hubungan ini menunjukkan korelasi negatif ($r = - 0,303$), artinya gejala gangguan pernafasan meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak tempat tinggal individu dengan sumber pencemar.

Hasil uji korelasi menunjukkan distribusi yang selaras pada gambaran peta. Warna degradasi semakin gelap seiring dengan semakin dekatnya jarak ke sumber pencemar meskipun lebih rendah pada area 500 m. Hal ini berarti tingkat gangguan pernafasan semakin tinggi ke arah sumber pencemar.



Peta 5.5. Distribusi gejala gangguan pernafasan yang diderita individu pada kawasan industry PT Semen Padang.

5.13 Manajemen Risiko

Manajemen risiko dilakukan untuk mengurangi risiko akibat pajanan suatu *risk agent* pada individu atau populasi berisiko ($RQ > 1$). Manajemen risiko dapat dilakukan dengan cara menurunkan nilai konsentrasi pajanan *risk agent* dan waktu pajanan. Pada penelitian ini menurunkan pajanan *risk agent* adalah menurunkan konsentrasi partikulat $PM_{2.5}$ di udara, sedangkan menurunkan waktu pajanan yaitu dengan menurunkan nilai lama pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E), dan durasi pajanan (D_i).

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ yang aman dilakukan dengan menganggap nilai intake sama dengan nilai RfC ($I = RfC$). RfC pada dasarnya menunjukkan konsentrasi aman yang dapat dihirup oleh individu sepanjang hayat. Konsentrasi aman didapatkan dengan menggunakan rumus intake, sehingga nilai C didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Intake yang digunakan adalah 0,01 mg/Kg/hari karena nilai intake sama dengan RfC. Laju inhalasi (R) yang digunakan adalah laju inhalasi standar orang dewasa pada umur 21-61 tahun yaitu 0,88 m³/jam. Selanjutnya berat badan (W), lama pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E), durasi pajanan (D_t), dan rata-rata pajanan (t_{avg}) yang digunakan sama dengan nilai yang digunakan pada perhitungan intake *lifetime*. Berdasarkan perhitungan tersebut nilai konsentrasi PM_{2.5} aman yang boleh terpajan pada masyarakat dalam waktu pajanan sepanjang hayat (*lifetime*) adalah 0,028 mg/m³.

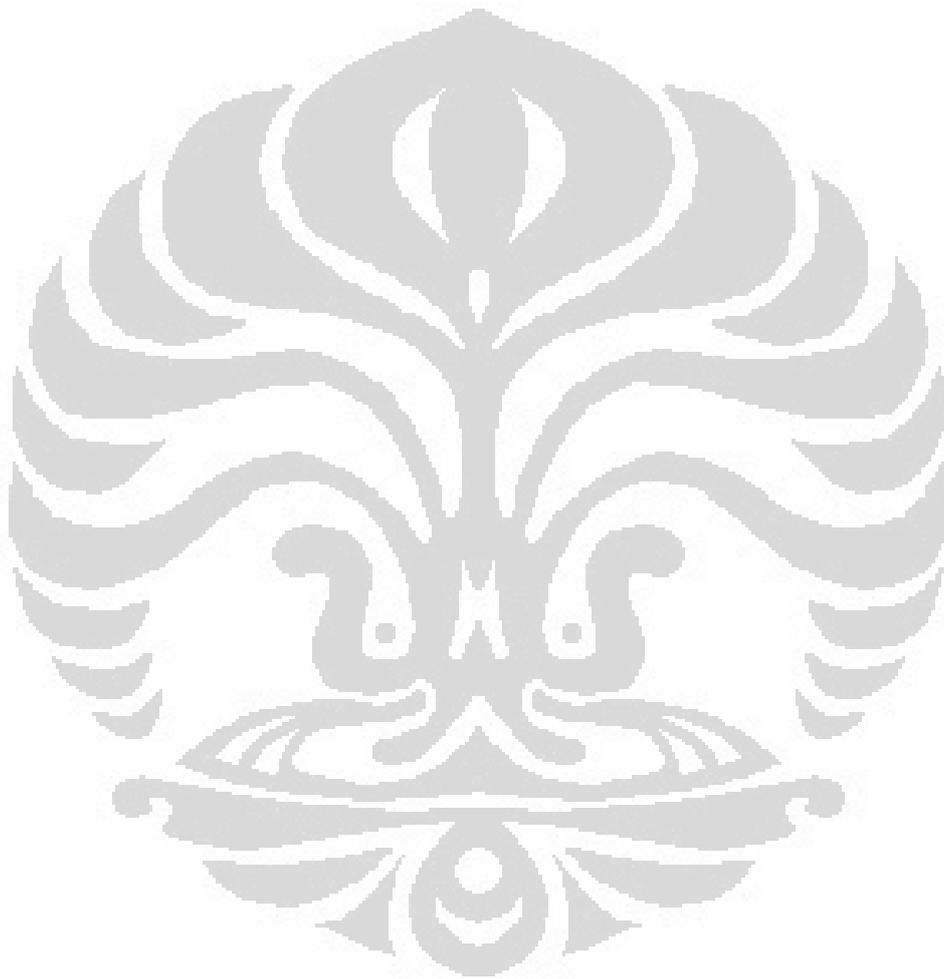
Hal yang sama juga dilakukan dalam menurunkan waktu pajanan, yaitu menggunakan turunan rumus intake dengan menganggap nilai intake sama dengan RfC. Hanya saja konsentrasi PM_{2.5} yang digunakan dalam perhitungan tersebut menggunakan konsentrasi PM_{2.5} pada setiap ring. Jadi setiap ring akan mendapatkan manajemen risiko yang berbeda pula. Hasil perhitungan manajemen risiko disajikan pada tabel berikut :

Tabel 5.6. Manajemen waktu pajanan aman yang diperkenankan pada individu yang tinggal di area berisiko.

Ring	Konsentrasi PM _{2.5}	t_{E_aman}	f_{E_aman}	D_{t_aman}
Ring 1	0.019	35	537	44
Ring 2	0.041	16	249	21
Ring 3	0.027	25	378	31
Ring 4	0.038	18	268	22
Ring 5	0.037	18	276	23
Ring 6	0.009	75	1133	94
Ring 7	0.012	56	850	70
Ring 8	0.013	52	784	65
Ring 9	0.013	52	784	65
Ring 10	0.024	28	425	35

Perhitungan manajemen risiko ini lebih ditekankan pada area yang berisiko ($RQ > 1$), yaitu pada Ring 2, Ring 4, dan Ring 5. Pada Ring 2 batas lama pajanan aman yang diperkenankan adalah 16 jam dalam sehari, frekuensi pajanan 249 hari dalam setahun, dan durasi pajanan selama 21 tahun. Pada Ring 4 batas lama pajanan aman yang diperkenankan adalah 18 jam, frekuensi pajanan 268 hari

dalam setahun, dan durasi pajanan selama 22 tahun, sedangkan pada Ring 5 batas lama pajanan aman yang diperkenankan adalah 18 jam, frekuensi pajanan 276 hari dalam setahun, dan durasi pajanan selama 23 tahun. Sedangkan untuk sisa area ring lainnya yang tidak berisiko ($RQ < 1$) memiliki nilai lama pajanan aman lebih dari 24 jam dan frekuensi pajanan aman lebih dari 365 hari/tahun. Ini artinya pada area yang tidak berisiko individu masih dapat terpajan selama penuh satu hari dan penuh satu tahun.



BAB 6

PEMBAHASAN

6.1 Keterbatasan Penelitian

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis resiko, yaitu memperkirakan besarnya resiko yang diterima oleh masyarakat atau individu terhadap pajanan suatu agen lingkungan. Metode ini tidak dapat memperlihatkan hubungan kausalitas antara dua variabel karena tidak memenuhi kaidah penelitian epidemiologi.
2. Pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ tidak dilakukan selama 24 jam, tetapi hanya diukur 1 jam pengukuran saja pada siang hari. Pengukuran 1 jam kurang dapat merepresentasikan konsentrasi 24 jam. Hal ini disebabkan karena keterbatasan, dana, alat, dan waktu penelitian.
3. *Intake* yang diterima oleh individu belum tentu sama dengan hasil perhitungan. Hal ini disebabkan pengukuran $PM_{2.5}$ tidak dilakukan secara personal, tetapi terbatas hanya kadar ambien saja. *Intake* yang diterima masyarakat bisa saja lebih besar atau lebih kecil.
4. Gambaran spasial persebaran resiko pajanan $PM_{2.5}$ di udara tidak mempertimbangkan variabel angin, tekanan, suhu, dan topografi wilayah. Sehingga gambaran spasial hanya dianggap sebagai bidang datar. Apabila wilayah tersebut mempertimbangkan faktor geografi yang lebih detail, resiko bisa saja cenderung lebih besar pada daerah yang arah angin lebih kuat, lembah, dan dataran yang lebih rendah.

6.2 Konsentrasi $PM_{2.5}$ di Udara

Hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ udara ambien selama satu jam menunjukkan hasil yang rendah dibandingkan dengan nilai baku mutu lingkungan menurut PP. No 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara yaitu $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk konsentrasi 24 jam. Namun jika dibandingkan dengan standar baku mutu udara yang ditetapkan dalam *National Ambient Air Quality Standards* (NAQSS) US-EPA 2006, terdapat 3 area yang melebihi standar pajanan 24

jam ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu pada Ring 2 ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Ring 4 ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dan Ring 5 ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Melihat besarnya tingkat kapasitas produksi dari pabrik semen padang seharusnya nilai konsentrasi yang terdispersi di udara juga besar. Namun pada kenyataannya justru lebih kecil. Hal ini bisa saja disebabkan karena cerobong *kiln* dan *coal mill* pada semen padang telah dilengkapi dengan *electrostatic precipitator* yang dapat menyerap emisi partikulat dengan efisiensi yang lebih besar.

Selain faktor alat saring yang dipasang pada cerobong, faktor alat ukur juga dapat mempengaruhi nilai konsentrasi. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode *laser analyzer* dengan alat Haz Dust EPAM 5000. Pengukuran dengan menggunakan metode gravimetrik dapat memberikan hasil yang berbeda dengan pengukuran metode *laser analyzer*. Hasil pengukuran dengan gravimetrik dapat mencapai 3 sampai 8 kali lebih besar dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode *laser analyzer* (Giugliano et al, 2005).

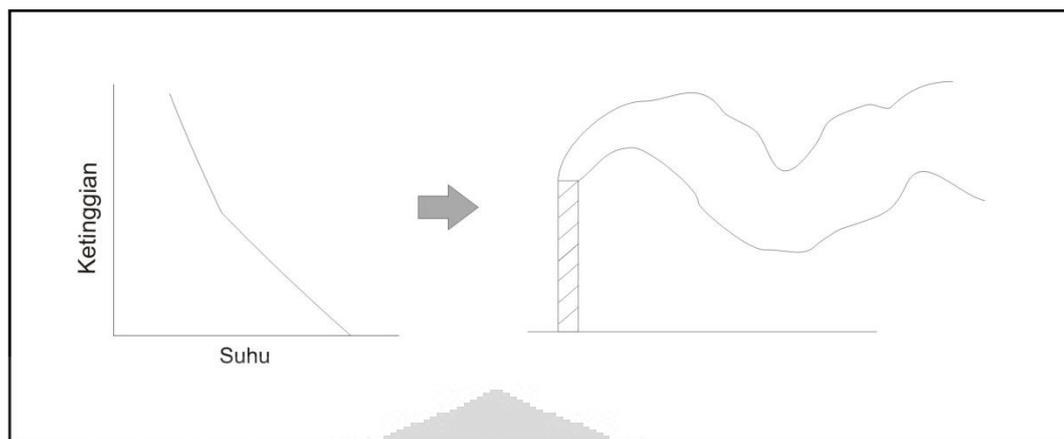
Tingkat konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ terlihat lebih kecil pada Ring 1 (0-500 m; $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dibandingkan dengan Ring 2 (500-1000 m; $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$), kemudian turun pada Ring 3, seterusnya kembali naik pada Ring 5 dan mengalami penurunan drastis pada Ring 7 (grafik 5.1).

Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, faktor ketinggian cerobong emisi. Kebijakan untuk menambah ketinggian cerobong sebenarnya bukan solusi untuk mengurangi tingkat konsentrasi pencemar di udara, tetapi hanya mengurangi konsentrasi pada daerah sekitar emisi. Emisi partikulat, khususnya partikulat halus, dari ketinggian cerobong tertentu akan dibawa oleh angin lebih jauh dari sumber pencemar sehingga terlihat rendah pada kawasan disekitar sumber. Partikulat akan terakumulasi dan menjadi tinggi pada jarak-jarak tertentu yang lebih jauh dimana kecepatan angin lebih rendah. Pada penelitian ini konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ terlihat tinggi pada jarak antara 1 Km hingga 2.5 Km (Suhariyono et al, 2003). Selain itu ketinggian cerobong tertentu dapat melewati level inversi udara, sehingga konsentrasi partikulat dapat dengan leluasa terdispersi di udara (Craxford, 1976).

Kedua, pengaruh kecepatan angin dan kontur wilayah. Ketika kecepatan angin menjadi tenang, suhu udara di bagian atas atmosfer menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di bawahnya. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi polutan menjadi terakumulasi di permukaan dan tidak mampu mencapai permukaan yang lebih tinggi. Jika ini terjadi dalam 2 sampai 3 hari, konsentrasi polutan dapat naik 10 hingga 20 kali lebih besar. Daerah yang dikelilingi oleh perbukitan atau daerah lembah dapat menjadi lebih beresiko karena perbukitan dapat menghalangi terjadinya dispersi (Craxford, 1976).

Kecamatan Lubuk Kilangan secara geografis terletak pada ketinggian 25 hingga 1.853 mdpl. Pabrik PT Semen Padang sendiri terletak di daerah lembah dengan ketinggian 200 mdpl. Pabrik ini yang dikelilingi oleh Bukit Karang Putih pada bagian selatan menghalangi terjadinya dispersi polutan pada wilayah pabrik. Inilah yang mempengaruhi besarnya konsentrasi $PM_{2.5}$ di kawasan pabrik pada radius 500-2500 meter.

Selain itu, naik dan turunnya konsentrasi $PM_{2.5}$ pada setiap radius juga disebabkan oleh adanya siklus udara pada cuaca normal di siang hari (Munn, 1975). Pada siang hari suhu pada permukaan bumi lebih cepat panas dari pada beberapa ratus meter di atasnya. Suhu ini kemudian akan menurun pada setiap ketinggian 100 meter sebesar $1^{\circ}C$. Kondisi ini menyebabkan kumpulan polutan yang keluar dari cerobong akan melayang pada level ketinggian cerobong untuk beberapa ratus meter. Kemudian karena adanya perbedaan tekanan dan suhu akan membawa polutan turun ke permukaan dimana suhu lebih tinggi dan tekanan lebih rendah. Siklus ini terus berlanjut hingga beberapa ribu meter sampai polutan terdispersi dengan merata, sehingga terlihat adanya naik turun konsentrasi di sepanjang kawasan sumber pencemar.



Gambar 6.1. Struktur penyebaran udara di siang hari pada kondisi cuaca normal (Munn, 1975).

Konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara ambient ini dapat berasal dari berbagai sumber seperti pembakaran sampah di pemukiman masyarakat dan transportasi di sekitar kawasan industri. Hal ini karena pengukuran dilakukan pada jarak 150 cm dari permukaan lantai, tidak pada ketinggian cerobong. Jadi konsentrasi $PM_{2.5}$ di kawasan ini tidak sepenuhnya berasal dari cerobong pabrik PT Semen Padang. Namun dapat diperkirakan bahwa konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terukur sebagian besar berasal dari emisi pabrik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wiguna (2006) menyatakan bahwa partikulat di udara sebagian besar berasal dari tungku industri dan industri pengolahan, yaitu 51,27 %. Selain itu pabrik semen juga berperan besar terhadap emisi partikulat global (Zelege et al, 2010).

Tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ sebenarnya lebih besar pada area-area disekitar sumber, yaitu dari radius 500 sampai 2500 meter. Pada grafik juga terlihat kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber pencemar. Pada peta juga terlihat tingginya konsentrasi pada 5 ring pertama yang ditandai dengan warna merah gelap, ini berarti semakin dekat ke daerah pabrik konsentrasi $PM_{2.5}$ cenderung semakin tinggi. Adanya fluktuasi konsentrasi pada jarak-jarak tertentu dapat diakibatkan oleh faktor ketinggian cerobong, kecepatan angin dan kontur wilayah, dan siklus udara pada cuaca normal di siang hari.

6.3 Karakteristik Individu, Antropometri, dan Pola Aktifitas

Data mengenai karakteristik individu, antropometri dan pola aktifitas diperlukan untuk menentukan besarnya resiko yang diterima oleh individu pada konsentrasi $PM_{2.5}$ tertentu. Faktor yang berperan langsung adalah umur, berat badan, pekerjaan, lokasi aktifitas sehari-hari apakah di dalam lokasi pajanan atau diluar lokasi, lama berada di lokasi pajanan, dan lama individu telah bermukim di area pajanan. Semua faktor tersebut tidak dapat dipisahkan dalam perhitungan resiko pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil survei ternyata 54% dari responden berumur 30 sampai 50 tahun dan sisanya dibawah 30 tahun (13%) dan diatas 50 tahun (34%). Bisa dikatakan bahwa umur terbanyak dari responden adalah umur dewasa produktif. Pada rentang umur tersebut masyarakat lebih banyak beraktivitas di luar rumah, sehingga potensi untuk terpajan juga lebih besar. Potensi ini semakin diperkuat karena pekerjaan responden lebih banyak sebagai pedagang di sekitar rumah dan sebagai ibu rumah tangga, didominasi perempuan, masing-masing 50% dan 44%. Sebaliknya, tingkat resiko dapat berkurang jika masyarakatnya banyak bekerja di luar kawasan industri karena potensi waktu terpajan menjadi lebih kecil. Namun, pada penelitian yang dilakukan oleh Jimenez terdapat hubungan yang sangat kuat antara pajanan $PM_{2.5}$ di udara dengan resiko kematian pada masyarakat dengan umur di atas 75 tahun (Jimenez et al, 2009). Hal ini berarti 34% masyarakat di kawasan Lubuk Kilangan juga memiliki resiko yang hampir sama.

Berat badan dewasa yang terukur berkisar antara 30 sampai 90 Kg dengan rata-rata 54 Kg. Berat badan rata-rata ini lebih kecil dibandingkan dengan berat badan standar dewasa yang ditetapkan US-EPA yaitu 70-80 Kg (EPA, 2011). Semakin kecil berat badan maka *intake* yang akan diterima akan semakin besar karena berat badan berfungsi sebagai denominator.

Masyarakat di Lubuk Kilangan lebih banyak menghabiskan aktivitasnya di lingkungan area kawasan industri dengan berdagang dan wirausaha, terlihat dari lama pajanan harian rata-rata 24 jam/hari. Selain itu, aktivitas untuk bepergian ke luar kota frekuensinya juga tidak terlalu tinggi, yaitu sekitar 1 minggu dalam satu tahun. Sehingga nilai rata-rata frekuensi pajanan individu dalam satu tahun

menjadi 356 hari per tahun. Berdasarkan kedua nilai tersebut terlihat bahwa sebagian besar masyarakat terpajan oleh $PM_{2.5}$ penuh dalam satu hari dan hampir penuh dalam setahun. Angka ini juga tergolong lebih besar dari standar pemajanan harian di lokasi pemukiman yang ditetapkan US-EPA yaitu 15 jam per hari. Dapat dikatakan bahwa faktor pekerjaan juga mempengaruhi lamanya pajanan yang diterima oleh masyarakat di area pemukiman. Misalkan dengan waktu kerja 8 jam per hari ditambah dengan waktu perjalanan sekitar 2 jam, seseorang hanya terpajan sekitar 14 jam per hari di area pemukiman.

Durasi pajanan tahunan *realtime* yang telah diterima individu berdasarkan hasil survei, yaitu terbesar 67 tahun dan paling kecil 1 tahun. Pajanan 67 tahun sebenarnya telah melewati angka pajanan durasi *lifetime* non-karsinogen yaitu 30 tahun. Sedangkan pada pajanan 67 tahun dapat diperkirakan seseorang telah memiliki penyakit pada dirinya. Namun, hal ini perlu dilakukan study lanjutan untuk melihat besar penyakit gangguan pernafasan pada masyarakat yang tinggal di atas 30 tahun.

Berdasarkan uraian di atas, secara umum masyarakat dewasa yang tinggal di kawasan industri PT Semen Padang Kecamatan Lubuk Kilangan ini berumur paling banyak antara 30 sampai 50 tahun. Masyarakat lebih banyak bekerja sebagai pedagang atau wiraswasta di sekitar pemukiman. Hal ini menambah potensi resiko untuk terpajan lebih sering karena masyarakat lebih banyak menghabiskan waktunya di sekitar kawasan pemukiman. Selain itu, rata-rata berat badan masyarakat yang dibawah standar juga menambah potensi untuk mendapatkan *intake* lebih banyak.

6.4 Analisis Intake dan Resiko

Intake pajanan $PM_{2.5}$ di udara dihitung berdasarkan pajanan *lifetime* dan *realtime*. *Intake* pajanan *lifetime* menggambarkan estimasi besar pajanan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari berdasarkan faktor aktifitas rata-rata responden dan durasi pemajanan *lifetime* (30 tahun). Sedangkan *intake realtime* menggambarkan besar pajanan yang telah diterima oleh individu dari sejak mula bermukim hingga waktu penelitian. Penghitungan ini

menggunakan durasi pajanan berdasarkan lama seseorang telah tinggal di area penelitian.

Semakin besar nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ maka besar *intake* yang diterima juga semakin besar. Besar *intake lifetime* yang ditampilkan pada peta sesuai dengan pola tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ di setiap ring. Pada peta *intake* terlihat warna-warna gelap pada ring yang memiliki konsentrasi $PM_{2.5}$ tinggi. *Intake* yang diterima oleh individu semakin besar seiring dengan semakin besarnya konsentrasi $PM_{2.5}$ di area tersebut. Daerah yang terindikasi mendapatkan *intake* yang besar adalah Desa Indarung dan Desa Batu Gadang dengan besar *intake* antara 0,011 sampai 0,014 mg/kg/hari dengan jarak maksimal 2.5 km dari pusat pabrik. Wilayah *intake* yang diterima paling besar adalah pada Desa Indarung, sedangkan hanya sebagian kecil wilayah pada Desa Batu Gadang. Sedangkan *intake* sangat rendah terlihat pada Ring 6 hingga Ring 9 dengan *intake* 2 sampai 4 kali lebih kecil.

Intake ini belum tentu sama dengan *intake* yang diterima oleh individu sebenarnya. *Intake* yang diterima bisa saja lebih kecil atau lebih besar. Alasan pertama adalah pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ tidak dilakukan secara personal menggunakan *personal dust sampler* (PDS), karena pengukuran dengan PDS lebih dapat merepresentasikan kadar konsentrasi yang dihirup setiap waktunya berdasarkan pola aktivitas individu masing-masing. Sedangkan pengukuran udara ambien hanya memperlihatkan gambaran konsentrasi pada suatu wilayah yang dapat berubah sewaktu-waktu dengan berbagai faktor geografis lainnya.

Alasan kedua adalah aktifitas individu yang tidak selamanya berada di luar ruangan. Konsentrasi $PM_{2.5}$ di dalam ruangan (*indoor*) biasanya lebih besar dibandingkan dengan kadar di luar ruangan (*outdoor*) karena dapat bersumber dari bahan bakar di dapur, asap rokok, dan juga sumber dari luar ruangan (Smith, 2003). Hal ini menyebabkan *intake* yang diterima bisa saja jadi lebih besar apabila banyak sumber partikulat lain di dalam rumah dan mengingat waktu yang dihabiskan seseorang dalam sehari lebih banyak di dalam ruangan dari pada di luar ruangan.

Berbeda dengan studi yang dilakukan oleh Tsai et al (2000) tentang kualitas udara *indoor* dan *outdoor* di Bangkok. Fluktuasi harian kualitas udara di dalam ruang berhubungan dengan fluktuasi udara kualitas udara di luar ruang. Konsentrasi udara ambien diperkirakan sama dengan konsentrasi udara dalam ruang, sehingga nilai *intake* yang diterima setiap harinya sama antara *outdoor* dan *indoor*. Adanya perbedaan karakteristik kualitas udara yang dipaparkan oleh Smith dan Tsai dapat disebabkan oleh perbedaan wilayah studi. Perbedaan kualitas udara indoor dan outdoor biasanya banyak terdapat di wilayah negara berkembang karena banyaknya penggunaan bahan bakar fosil di dalam ruang. Hal ini berbeda dengan wilayah negara maju yang lebih sedikit menggunakan bahan bakar fosil di dalam ruang.

Hasil perhitungan resiko *lifetime* yang didapatkan dari perbandingan antara *intake* dan nilai *RfC* menghasilkan 3 daerah beresiko ($RQ > 1$) yaitu pada Ring 2, Ring 4, dan Ring 5. Area ini termasuk ke dalam radius 2.5 Km dari sumber pencemar. Jarak 2.5 Km juga merupakan jarak jangkauan konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi yang terukur dan nilai *intake* tertinggi yang diterima oleh masyarakat (Peta 5.2; 5.3; dan 5.4). Sedangkan jarak diatas 2.5 Km dari sumber pencemar tidak memperlihatkan adanya resiko dan potensi pencemaran $PM_{2.5}$ tinggi. Hal ini sesuai dengan peraturan menteri perindustrian No. 35 tahun 2010 tentang pedoman teknis kawasan industri bahwa jarak pemukiman sekurang-kurangnya berada pada batas 2 km dari pusat industri.

Daerah beresiko bisa saja muncul pada area-area di atas radius 5 km. hal ini terlihat dari adanya kecenderungan peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ dan nilai *intake* (peta 5.2 dan peta 5.3) pada daerah dengan radius 5 km dari pusat pabrik. Daerah ini secara geografis juga mengalami penurunan kontur dibandingkan daerah di dekat pusat pabrik seperti Indarung dan Batu Gadang. Pada kondisi ini kecepatan angin menjadi lebih tenang dan mengakibatkan terjadinya akumulasi polutan di udara (Craxford, 1976). Selain itu, sumber polutan dari pusat kota juga akan memberikan andil terhadap penambahan konsentrasi polutan. Namun, studi lanjutan perlu dilakukan untuk memastikan adanya peningkatan resiko pada area tersebut.

Berbeda halnya setelah dilakukan perhitungan resiko *realtime* dengan membedakan durasi pajanan sebenarnya. Resiko terlihat muncul pada daerah dengan konsentrasi rendah seperti pada Ring 1 dan Ring 10. Daerah tersebut beresiko terhadap orang-orang yang telah tinggal selama 50 tahun ke atas pada Ring 1 dan 40 tahun ke atas pada Ring 10. Tidak dapat kita pungkiri bahwa tingkat resiko juga dapat dipengaruhi oleh lamanya seseorang tinggal pada suatu daerah meskipun dalam tingkat konsentrasi yang rendah. Lamanya seseorang tinggal di suatu tempat tentunya juga dipengaruhi oleh waktu pajanan seseorang dalam sehari dan setahun. Lama pajanan ini juga berkaitan dengan pola aktifitas masyarakat setempat, apakah bekerja di luar kawasan industri atau di dalam kawasan industri.

Dapat disimpulkan bahwa *intake* dan resiko yang muncul lebih besar pada daerah yang lebih dekat dengan sumber pencemar dan daerah yang memiliki tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ tinggi. Berdasarkan nilai *intake* dan resiko pada peta, area yang paling aman adalah area yang berada pada jarak di atas 2,5 km dari sumber pencemar.

6.5 Gambaran Gangguan Pernafasan

Gambaran gangguan pernafasan pada individu di kawasan sekitar pabrik dapat digunakan untuk melihat pengaruh dari tingkat resiko. Pada daerah-daerah yang terindikasi beresiko seharusnya memperlihatkan *outcome* gejala gangguan pernafasan yang tinggi juga.

Gejala-gejala gangguan pernafasan yang telah dikonversi ke dalam skor memperlihatkan tingginya kasus pada daerah-daerah dengan tingkat resiko tinggi. Semakin tinggi konsentrasi $PM_{2.5}$ di ambien memperlihatkan semakin tingginya skor gejala gangguan pernafasan yang muncul. tertinggi juga terlihat pada daerah dengan konsentrasi tertinggi yaitu pada Ring 2 dengan $41 \mu g/m^3$, tetapi pada Ring 1 dengan konsentrasi lebih kecil dari Ring 4 dan Ring 5 terlihat jumlah skor gangguan pernafasan yang lebih besar. Hal ini dapat berhubungan dengan pola aktifitas masyarakat setempat yang lebih banyak berada di kawasan industri, sehingga waktu pajanan menjadi lebih besar.

Gejala gangguan pernafasan hanya diukur berdasarkan survei pada waktu penelitian dilangsungkan. Pengukuran variabel konsentrasi $PM_{2.5}$ dan gejala gangguan pernafasan tidak diukur dengan menggunakan metode epidemiologi, sehingga gejala yang muncul tidak dapat menunjukkan hubungan kausalitas dengan jumlah konsentrasi $PM_{2.5}$. Oleh karena itu, peneliti mencoba mengkorelasikan antara jarak tempat tinggal dengan munculnya gangguan pernafasan karena variabel jarak bersifat statis dan tidak berubah. Pada peta terlihat pengelompokan skor gangguan pernafasan seiring dengan semakin dekatnya jarak dengan sumber. Begitu juga dengan nilai korelasi yang menunjukkan nilai $r = -0,303$. Ini berarti kasus semakin tinggi dengan semakin dekatnya jarak dengan sumber pencemar.

Namun hasil korelasi juga dapat memberikan gambaran bahwa gangguan pernafasan yang muncul juga terdapat pada area yang tinggi kadar $PM_{2.5}$ di udara. $PM_{2.5}$ sebenarnya tidak berpengaruh secara langsung terhadap timbulnya gangguan pernafasan seperti batuk, influenza, sesak nafas, dan demam. $PM_{2.5}$ ini menyebabkan terjadinya injuri atau inflamasi pada sel-sel paru dan saluran pernafasan sehingga sel tersebut menjadi rentan terinfeksi. Sel-sel rentan ini kemudian dengan mudah terserang oleh virus dan bakteri yang masuk ke dalam sistem pernafasan (Dye et al, 2001).

6.6 Manajemen Resiko

Manajemen resiko dapat dilakukan dengan mengurangi besar agen pencemar dan mengurangi kontak dengan pajanan. Mengurangi besar pajanan berarti mengurangi konsentrasi $PM_{2.5}$ yang melayang di udara hingga mencapai konsentrasi teraman dengan pajanan seumur hidup. Besar pajanan aman dapat dicari dengan menurunkan rumus *intake* dengan menggunakan elemen-elemen antropometri dan pola aktifitas individu. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai konsentrasi teraman adalah $0,028 \text{ mg/m}^3$ untuk pajanan seumur hidup (*lifetime*).

Untuk mengurangi besar konsentrasi partikulat di udara dapat dilakukan dengan beberapa hal. Pertama, memasang alat penyaring udara pada sumber

pencemar, yaitu pada cerobong. Hal ini telah dilakukan oleh pabrik PT Semen Padang dengan memasang *electrostatic precipitator* (EP) dan *Jet Pulse Filter* (JPF) pada cerobong-cerobong *kiln* dan *coal mill*. Namun, ini tidak efektif mengurangi konsentrasi polutan $PM_{2.5}$ secara signifikan karena partikel-partikel yang lebih kecil masih dapat lolos dari sistem saringan. Ini terbukti dari masih adanya konsentrasi yang cukup tinggi di sekitar kawasan pabrik. Pemasangan EP dan JPF lebih efektif menyaring partikel dengan ukuran lebih besar.

Mengurangi konsentrasi juga dapat dilakukan dengan mengurangi besar kapasitas produksi setiap harinya (Rahman, 2008). Kapasitas produksi disesuaikan dengan besarnya partikulat yang dibuang akibat dari proses pembakaran material-material produksi. Berkaitan dengan hal ini, perlu dilakukan kajian ulang untuk menentukan nilai baku mutu $PM_{2.5}$ yang berasal dari cerobong pabrik semen. Nilai baku mutu tersebut diperkirakan tidak akan melebihi nilai baku mutu ambien ketika terdispersi di udara. Namun tindakan ini sangat sulit dilakukan karena terkait dengan manajemen industri itu sendiri.

Mengurangi waktu pajanan berarti mengurangi waktu kontak individu dengan polutan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi lama pajanan harian, frekuensi tahunan, dan durasi pajanan. Hasil perhitungan waktu pajanan aman pada area beresiko maksimal 16 jam/hari (Ring 2), 18 jam/hari (Ring 4 dan 5). Jika dikonversikan dalam waktu aktifitas sehari-hari, waktu 16 jam merupakan aktifitas yang dimulai dari pukul 6 pagi sampai pukul 10 malam. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa seseorang berada dalam pajanan tidak aman jika masih berada di lingkungan kawasan beresiko. Namun, hal ini rasanya sulit dan tidak mungkin dilakukan untuk menganjurkan masyarakat untuk meninggalkan rumahnya ke tempat yang lebih aman jika telah berada di atas 16 jam. Begitu juga dengan pajanan tahunan untuk tidak menganjurkan masyarakat berada maksimal 249 hari/ tahun di lingkungan beresiko di kawasan pabrik.

Hal yang paling mungkin dilakukan adalah memastikan masyarakat tinggal di kawasan dengan radius paling aman dari sumber pabrik atau industri. Berdasarkan analisis spasial pada peta konsentrasi, *intake*, resiko, dan gambaran penyakit gangguan kesehatan didapatkan nilai radius teraman yaitu diatas 2,5 Km

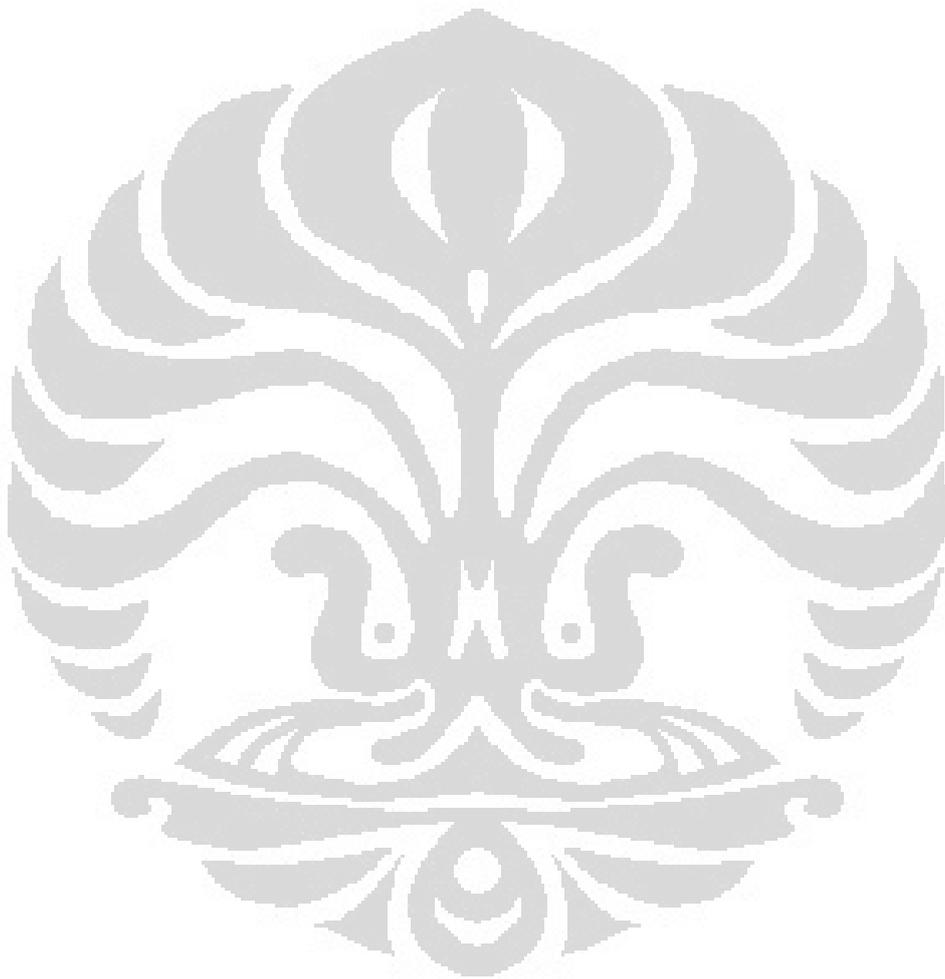
dari pusat pabrik. Hal ini sejalan dengan klasifikasi penempatan pemukiman penduduk dari industri semen yang direkomendasikan oleh Maas (1976), yaitu pemukiman masyarakat minimal berada 1600-3200 meter dari sumber industri. Namun, perlu diingat juga bahwa penempatan lokasi industri juga harus mempertimbangkan keadaan geografis wilayah setempat. Industri yang mengeluarkan polutan udara, seperti industri semen, sebaiknya tidak ditempatkan pada ketinggian atau dilemang bukit. Pengaruh turbulensi angin, suhu, dan ketinggian dapat membawa polutan dari pabrik terakumulasi pada udara di kawasan pemukiman penduduk yang lebih rendah. Hal tersebut sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

Oleh karena itu, perlu dibuat suatu kebijakan yang diawasi dengan ketat untuk melarang masyarakat mendirikan bangunan pemukiman di bawah radius tersebut. Selain itu, ini juga menjadi acuan bagi perusahaan terutama industri semen yang ingin mendirikan pabrik di kawasan pemukiman masyarakat. Rentang waktu pajanan aman menjadi lebih besar ketika masyarakat tinggal di area dengan resiko lebih rendah.

Kebijakan ini tentu berlaku untuk masyarakat atau industri yang ingin atau akan mendirikan bangunan. Bagi masyarakat yang telah tinggal pada radius beresiko, tentu mustahil untuk melakukan penggusuran atau memindahkan pabrik ke tempat yang lebih aman. Mengingat frekuensi aktivitas individu yang lebih banyak di dalam ruangan, cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki ventilasi rumah-rumah warga agar sumber polutan di luar ruangan tidak terlalu berperangaruh terhadap kualitas udara di dalam ruang. Metode ini dapat mengurangi *intake* yang diterima oleh individu setiap harinya sehingga resiko menjadi berkurang.

Melakukan manajemen resiko pajanan partikulat $PM_{2.5}$ pada masyarakat di kawasan industri semen secara umum lebih tepat dilakukan dengan menurunkan konsentrasi sampai batas aman dan menempatkan masyarakat pada radius rendah resiko, yaitu diatas 2.5 km. Penurunan konsentrasi $PM_{2.5}$ dapat dilakukan dengan pemasangan saringan pada cerobong pabrik dengan efisiensi tinggi. Sedangkan

penempatan lokasi pemukiman dan industri yang aman dilakukan dengan pemberlakuan regulasi yang dikontrol dengan ketat.



BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara ambient yang terukur tidak ada yang melebihi batas baku mutu udara PP. No. 41/1999, tetapi terdapat tiga area yang melebihi nilai standard NAAQS US-EPA yaitu Ring 2, Ring 4, dan Ring 5.
2. Adanya kenaikan dan penurunan konsentrasi $PM_{2.5}$ di sepanjang radius 5 km pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu faktor ketinggian cerobong, kecepatan angin dan kontur wilayah, dan siklus udara pada cuaca normal di siang hari.
3. Masyarakat di kawasan industri PT Semen Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan banyak bekerja sebagai pedagang dan wiraswasta di sekitar kawasan industri. Kondisi ini meningkatkan waktu pajanan menjadi lebih besar
4. Rata-rata berat badan masyarakat yang terukur jauh dibawah standar pengukuran resiko yang terapkan US-EPA. Hal ini meningkatkan intake yang diterima masyarakat per harinya dengan berat badan yang lebih kecil.
5. Area beresiko terdapat di Ring 2 (500-1000 m) di Desa Indarung, Ring 4 (1500-2000 m) di Desa Indarung dan Batu Gadang, dan Ring 5 (2000-2500 m) di Desa Indarung dan Batu Gadang.
6. Area beresiko terbesar terdapat pada area yang lebih dekat dengan sumber pencemar, memiliki intake tinggi, dan pada area dengan tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ tinggi.
7. Gejala gangguan pernafasan terlihat lebih besar pada area yang lebih dekat dengan sumber pencemar. Analisis korelasi menunjukkan adanya korelasi antara jarak dengan kasus gangguan gejala pernafasan.

8. Konsentrasi $PM_{2.5}$ paling aman yang dapat diterima oleh masyarakat di kawasan industri semen padang pada pajanan *lifetime* adalah $0,028 \text{ mg/m}^3$.
9. Pengendalian pada sumber dapat dilakukan dengan memasang alat penyaring partikulat efisiensi tinggi seperti *Electrostatic Precipitator*.
10. Jarak paling aman bagi pemukiman dari sumber pabrik semen adalah diatas 2,5 km.
11. Manajemen resiko pada masyarakat yang paling memungkinkan dilakukan adalah dengan mengurangi besar konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara, melakukan penghijauan, dan memperketat peraturan lokasi pemukiman masyarakat pada jarak yang aman.

7.2 Saran

1. Bagi akademisi dan peneliti selanjutnya
 - Penelitian mengenai pajanan $PM_{2.5}$ di udara sebaiknya diukur selama 24 jam dengan membagi waktu pengukuran dengan empat kategori, yaitu *indoor*, *outdoor*, siang hari, dan malam hari. Hal ini dapat memperlihatkan karakteristik yang berbeda karena faktor pajanan yang juga berbeda pada setiap kategori pengukuran. Sehingga hasil pengukuran dapat memberikan manajemen resiko yang lebih detail.
 - Analisis spasial dalam penilaian pajanan $PM_{2.5}$ di udara sebaiknya mempertimbangkan variabel angin, suhu, tekanan, dan topografi wilayah. Variabel geografis tersebut dapat mempengaruhi kecenderungan peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ di suatu wilayah.
2. Bagi pihak industri
 - Memasang alat penyaring partikulat $PM_{2.5}$ dengan efisiensi tinggi pada tiap-tiap cerobong pabrik.
 - Melakukan monitoring dan perawatan alat saring secara rutin agar sistem penyaringan yang dilakukan dapat berjalan dengan baik dan mengontrol emisi partikulat pada standar yang telah ditetapkan.

- Penghijauan perlu ditingkatkan pada wilayah di kawasan industri karena hal ini dapat membantu pengurangan konsentrasi partikulat yang tersebar di udara. Selain itu penghijauan dapat menjadi bentuk *corporate system responsibility* (CSR) dari pihak industri terhadap masyarakat.

3. Bagi pihak pemerintah

- Memberlakukan regulasi penempatan pemukiman dan industri pada jarak yang aman dengan pengontrolan yang ketat. Selain itu penempatan lokasi industri dan pemukiman sebaiknya mempertimbangkan kondisi geografis wilayah setempat karena kondisi geografis dapat mempengaruhi persebaran polutan di udara.
- Melakukan kajian dan penelitian untuk menentukan area beresiko pada jenis industri lainnya.
- Untuk industri semen, penempatan pemukiman dari sumber industri sebaiknya berada di atas 2.5 km dari sumber pencemar.
- Melakukan pengembangan ruang terbuka hijau (RTH) bagi kawasan industri dengan tingkat pencemaran udara tinggi

4. Bagi masyarakat di lingkungan pabrik

- Menanam pohon di sekitar pemukiman untuk mengurangi polusi di udara dan meletakkan tanaman-tanaman di pekarangan dan di dalam rumah untuk mengurangi konsentrasi partikulat di dalam ruangan.
- Mengurangi pembakaran sampah yang berlebihan karena pembakaran dapat menghasilkan partikulat $PM_{2.5}$ dan gas-gas polutan lainnya seperti CO.

Daftar Pustaka

- Abimbola, Akinlolu F et al. (2007). *The Sagamu Cement Factory, SW Nigeria: Is The Dust Generated a Potential Health Hazard?*. *Environmental Geochem Health*, 29:163–167.
- Achmadi, U.F. (2008). *Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah*. UI-Press : Jakarta.
- Alfheim I. et al. (1983). *Bioassay of Extracts of Ambient Particulate Matter*. *Environmental Health Perspectives*, 47:227-238.
- Al-Neaimi, Y.I. et al. (2001). *Respiratory Illness and Ventilatory Function Among Workers at a Cement Factory in Rapidly Development Country*. *Occupational Medicine*, vol 51, 367-373.
- Antonini , James M et al. (1994). *Acute Silica Toxicity: Attenuation by Amiodaroneinduced Pulmonary Phospholipidosis*. *Environmental Health Perspectives*, 102: 372-378.
- Ayres, Jon, Robert Maynard, dan Roy Richard. (2006). *Air Pollution and Health*. Imperial College Press : London.
- Bates, David V. (1995). *The Effects of Air Pollution on Children*. *Environmental Health Perspectives*, 103:49-53.
- Craxford, S.R. (1976). *General Principles for The Abatement and Control of Air Pollution*. Dalam Sues dan Craxford. *Manual on Urban Air Quality Management*. WHO : Copenhagen.
- Dahal, Govinda P. et al. (2009). *Maternal Smoking And Acute Respiratory Infection Symptoms Among Young Children In Nepal: Multilevel Analysis*. *Journal of Biosocial and Science*, 41:747-761.
- Departemen Kesehatan RI. (2008). *Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas)Provinsi Jawa Tengah 2008*.
- Dietz, Andreas et al. (2004). *Exposure To Cement Dust, Related Occupational Groups And Laryngeal Cancer Risk: Results Of A Population Based Case-Control Study*. *International Union Against Cancer* : 108, 907-911.
- Dinas Kesehatan Kota Padang. (2010). *Laporan Tahunan 2009 Edisi 2010*.
- Dinas Kesehatan Kota Padang. (2011). *Laporan Tahunan 2010 Edisi 2011*.
- Dye, Janice A. et al. (2001). *Acute Pulmonary Toxicity of Particulate Matter Filter Extracts in Rats: Coherence with Epidemiologic Studies in Utah*

- Valley Residents*. Environmental Health Perspectives, 109(suppl 3):395–403.
- Ezzati, Majid dan Daniel M. Kammen. (2001). *Quantifying the Effects of Exposure to Indoor Air Pollution from Biomass Combustion on Acute Respiratory Infections in Developing Countries*. Environmental Health Perspectives, 109:481–488.
- Fatima, K. Shehla et al. (2001). *Analysis of Chromosomal Aberrations in Men Occupationally Exposed to Cement Dust*. Elsevier Science, 490:179-186.
- Fell, Anne Kristine. (2009). *Respiratory Symptoms and Ventilatory Function in Workers Exposed to Portland Cement Dust*. American College of Occupational and Environmental Medicine, vol 45, 1008-1014.
- FHWA. (2006). *An Introduction to Particulate Matter for Transportation Officials*.
- Fierro, Marian. (2000). *Particulate Matter*. (diunduh dari www.airinfonow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf).
- Gilliland, Frank D. (2009). *Outdoor Air Pollution, Genetic Susceptibility, and Asthma Management: Opportunities for Intervention to Reduce the Burden of Asthma*. Pediatrics, 123:S168-S173.
- Giugliano, Michele et al. (2005). *Fine Particulate (PM_{2.5}–PM₁) at Urban Sites With Different Traffic Exposure*. Atmospheric Environment 39 : 2421-2431.
- Gold, Diane R. (2000). *Environmental Tobacco Smoke, Indoor Allergens, and Childhood Asthma*. Environmental Health Perspectives, 108(suppl 4):643-651.
- Götschi, Thomas. (2007). *Long Term Effects Of Air Pollution On Lung Function In The European Community Respiratory Health Survey*. A Dissertation, Faculty Of The Graduate School University Of Southern California.
- Hafidawati et al. (2006). *Analisis Kualitas Udara Berdasarkan Angka Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*. Portal Penelitian Universitas Andalas (diakses dari <http://lp.unand.ac.id/?pModule=agenda&pSub=agenda&pAct=detail&detail=121>)
- Ingarfield, L Sharyn et al. (2008). *Acute Upper Respiratory Infection in Western Australian Emergency Department, 2000-2003*. Australian Health Review, 32(4):691-699.

- Jimenez, E. et al. (2000). *Short-term Impact of Particulate Matter (PM_{2.5}) on Daily Mortality Among the Over-75 Age Group in Madrid (Spain)*. Science of the Total Environment, 407 : 5486 – 5492.
- Kabir , G. and A. I. Madugu. (2010). *Assessment of Environmental Impact on Air Quality by Cement Industry and Mitigating Measures: a Case Study*. Environmental Monitoring Assessment : 160, 91-99.
- Kammen, Daniel M. et al. (1998). *Acute Respiratory Infections (ARI) and Indoor Air Pollution*. Environmental Health Project: Arlington.
- Keary, J. et al. (1998). *PM₁₀ Concentration Measurement in Dublin City*. Environmental Monitoring and Assessment, 52:3-18.
- Kementerian Kesehatan RI. (2010). *Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2010*.
- Ken-Ichiro Inou dan Hirohisa Takano. (2011). *Particulate Matter–Induced Health Effects: Who Is Susceptible?*. Environmental Health Perspective, 119:A285.
- Kolluru, V. Rao et al. (1996). *Risk Assessment and Management Handbook*. McGrawhill inc : New York.
- Leili, M. et al. (2008). *The Study of TSP and PM₁₀ and Their Heavy Metal Content in Central Area of Tehran, Iran*. Air Quality Atmosphere Health, 1:159-166.
- Liu, L.J Sally et al. (2003). *Exposure Assessment of Particulate Matter for Susceptible Populations in Seattle*. Environmental Health Perspectives, 111:909-918.
- Louvar, F Joseph dan B. Diane Louvar. (1998). *Health and Environmental Risk Analysis*. Prentice Hall inc :USA.
- Mallone, Sandra et al. (2011). *Saharan Dust and Associations between Particulate Matter and Daily Mortality in Rome, Italy*. Environmental Health Perspectives, 119:1409-1414.
- Maas, F.M. (1976). *Town and Country Planning*. Dalam Sues dan Craxford. *Manual on Urban Air Quality Management*. WHO : Copenhagen.
- Muun, R.E. (1976). *Air Pollution Metereology*. Dalam Sues dan Craxford. *Manual on Urban Air Quality Management*. WHO : Copenhagen.
- Mwaiselage, Julius et al. (2005). *Respiratory Symptoms and Chronic Obstructive Pulmonary Disease Among Cement Factory Workers*. Scand J Work Environ Health,31(4), 316-323.

- Mwaiselage, Julius et al. (2005). *Variability in Dust Exposure in a Cement Factory in Tanzania*. Ann. Occupational Hygiene, Oxford University Press, vol 6, 511-519.
- Nurkiewicz, Timothy R. et al. (2004). *Particulate Matter Exposure Impairs Systemic Microvascular Endothelium-Dependent Dilation*. Environmental Health Perspectives, 112:1299–1306.
- Oftedal, Bente et al. (2003). *Traffic Related Air Pollution and Hospital Admission for Respiratory Disease in Drammen, Norway 1995-2000*. European Journal of Epidemiology, 18:671-675.
- Parks G. Christine et al. (1999). *Occupational Exposure to Crystalline Silica and Autoimmune Disease*. Environmental Health Perspective, supplement 5, 793-802.
- Parlupi, Bambang. (2006). *Ruang Terbuka Hijau Sebagai Pengendali Polusi Udara*. dalam Muhammad, Ari dan Nurbianto (Ed). *Jakarta Kota Polusi Menggugat Hak Atas Udara Bersih*. LP3ES Indonesia : Jakarta.
- Patel, Molini M. et al. (2010). *Traffic-Related Particulate Matter and Acute Respiratory Symptoms among New York City Area Adolescents*. Environmental Health Perspectives, 118:1338–1343.
- Pengchai, Petch et al. (2009). *Seasonal Variation, Risk Assessment and Estimation of PM₁₀ and PM₁₀ Bound-PHAs in The Ambient Air of Chiang-Mei, Lamphun, Thailand*. Environmental Monitoring and Assessment, 157:197-218.
- Pinkerton, Kent E. et al. (2000). *Distribution Of Particulate Matter And Tissue Remodeling In The Human Lung*. Environmental Health Perspectives, 108:1063-1069.
- Prahasta, Eddy. (2005). *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Penerbit Informatika : Bandung.
- Puett, Robin C. et al. (2011). *Are Particulate Matter Exposures Associated with Risk of Type 2 Diabetes?*. Environmental Health Perspectives, 119:384-389.
- Samoli, Evangelia et al. (2008). *Acute Effects of Ambient Particulate Matter on Mortality in Europe and North America: Results from the APHENA Study*. Environmental Health Perspectives, 116:1480–1486.
- Simoës, Eric A. F. et al. (2006). *Acute Respiratory Infections in Children*. In Jamison Dean T. et al (Ed). *Disease Control Priorities in Developing*

- Countries :Second Edition* (Chapter 25). Oxford University Press and The World Bank : Washington.
- Smith, R Kirk dan Saksena Summet. (2003). *Indoor Air Pollution*. Dalam Frank Murray dan Gordon McGranahan. *Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries*. Earthscan : London.
- Soedomo, Moestikahadi. (2001). *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*. Penerbit ITB : Bandung
- Suwanwaiphattna, Wiparat, Kannika Ruangdej, dan Anne Turner Henson. (2010). *Outdoor Air Pollution and Health*. *Pediatric Nursing* 36(1) : 25-32.
- Tsai, Feng C. et al. (2000). *Indoor/Outdoor PM10 and PM2,5 in Bangkok, Thailand*. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 10:15-26.
- Ulirsch, Gregory V. et al. (2007). *Effect of particulate matter air pollution on hospital admissions and medical visits for lung and heart disease in two southeast Idaho cities*. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 17:478-487.
- Wang, Ting et al. (2010). *Particulate Matter Disrupts Human Lung Endothelial Barrier Integrity via ROS- and p38 MAPK-Dependent Pathways*. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 42:442-449.
- Walter, C. Eric et al. (2009). *Low Birth Weight and Respiratory Disease in Adulthood*. *American Journal Of Respiratory And Critical Care Medicine* 180 : 176-180.
- WHO. (1999). *Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust*. Occupational and Environmental Health.
- WHO. (2003). *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Report on WHO Working Group: Bonn.
- WHO. (2005). *WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. WHO Global Update.
- WHO. (2007). *Pencegahan dan Pengendalian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) yang Cenderung Menjadi Epidemik dan Pandemi di Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. (diunduh dari <http://who.int>)
- WHO. (2010). *Exposure to Air Pollution: A Major Public Health Concern*. WHO Document Production Services, Geneva.

- WHO. (2011). *Exposure to Air Pollution (Particulate Matter) in Outdoor Air*. European Environment and Health Information System.
- WHO. (2011). *Family and Community Health Cluster*. 22 desember 2012. (diakses dari http://www.who.int/fch/depts/cah/resp_infections/en/)
- WHO. (2011). *World Health Statistic*. WHO Press, Geneva.
- Wiguna, Okta. (2006). *Polutan Industri Jangan Diabaikan*. dalam Muhammad, Ari dan Nurbianto (Ed). *Jakarta Kota Polusi Menggugat Hak Atas Udara Bersih*. LP3ES Indonesia : Jakarta.
- World Bank Group. (1998). *Airborne Particulate Matter*.
- Zeger et al. (2000). *Particulate Matter Exposure Assessment*. Environmental Health Perspectives, 108:A544-A545.
- Zelege K. Zeyede et al. (2010). *Cement Dust Exposure and Acute Lung Function: A Cross Shift Study*. BMC Pulmonary Medicine, 10:19, 1-10.
- Zelikoff, T Judith et al. (2002). *A Role for Associated Transition Metals in the Immunotoxicity of Inhaled Ambient Particulate Matter*. Environmental Health Perspective 110 : 871-875.

Distribusi Frekuensi

Jenis_kel

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Laki laki	28	25.5	30.4	30.4
	Perempuan	64	58.2	69.6	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Umur

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Dibawah 30 tahun	12	10.9	13.0	13.0
	30 sampai 50 tahun	50	45.5	54.3	67.4
	Diatas 50 tahun	30	27.3	32.6	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Pekerjaan

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak bekerja	41	37.3	44.6	44.6
	PNS	1	.9	1.1	45.7
	Wiraswasta	46	41.8	50.0	95.7
	Lainnya	4	3.6	4.3	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Pendidikan

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak tamat SD	2	1.8	2.2	2.2
	SD	18	16.4	19.6	21.7
	SMP	18	16.4	19.6	41.3
	SMA	46	41.8	50.0	91.3
	D3	2	1.8	2.2	93.5
	S1	6	5.5	6.5	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Pola aktivitas

		W_Kg	tE	fE	D_real
N	Valid	92	92	92	92
	Missing	18	18	18	18
Mean		58.41	22.77	356.37	28.58
Median		58.00	24.00	363.00	28.00
Mode		60	24	365	1
Std. Deviation		10.286	2.560	21.681	19.154
Minimum		35	12	185	1
Maximum		90	24	365	67

Kenormalan

W = normal

tE = tidak normal

fE = tidak normal

DISTRIBUSI FREKUENSI KESEHATAN PERNAFASAN

Batuk

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	66	60.0	71.7	71.7
	Ya	26	23.6	28.3	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Demam

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	79	71.8	85.9	85.9
	Ya	13	11.8	14.1	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Pilek

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	66	60.0	71.7	71.7
	Ya	26	23.6	28.3	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Ssk_nafas

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	82	74.5	89.1	89.1
	Ya	10	9.1	10.9	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Skt_tgrk

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	84	76.4	91.3	91.3
	Ya	8	7.3	8.7	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Mengi

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tidak	87	79.1	94.6	94.6
	Ya	5	4.5	5.4	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

Merokok

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	20	18.2	21.7	21.7
	2	72	65.5	78.3	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

sakit

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	tidak sakit	51	46.4	55.4	55.4
	sakit	41	37.3	44.6	100.0
	Total	92	83.6	100.0	
Missing	System	18	16.4		
Total		110	100.0		

KORELASI JARAK (RING) DAN RESIKO SAKIT

→ Ada korelasi (negative, lemah)

Correlations

		Ring	Skor_sakit
Ring	Pearson Correlation	1	-.334**
	Sig. (2-tailed)		.001
	N	92	92
Skor_sakit	Pearson Correlation	-.334**	1
	Sig. (2-tailed)	.001	
	N	92	92

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hasil Perhitungan Intake dan RQ Lifetime

→ Contoh perhitungan intake

$$Intake = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_B \times t_{avg}}$$

$$Intake_{ring4} = \frac{0.041 \times 0.88 \times 24 \times 363 \times 30}{59 \times 365 \times 30}$$

$$Intake_{ring4} = 0,013528176$$

No	Ring	CPM2.5 (mg/m3)	(R) m3/jam	W (Kg)	tE (jam/hari)	fE (hari/tahun)	Durasi Lifetime (Dt)	Durasi rata-rata (t_avg)		Intake	RfC	RQ
1	Ring 1	0.019	0.88	59	24	363	30	365	30	0.006764088	0.01	0.676409
2	Ring 2	0.041	0.88	59	24	363	30	365	30	0.01459619	0.01	1.459619
3	Ring 3	0.027	0.88	59	24	363	30	365	30	0.009612125	0.01	0.961213
4	Ring 4	0.038	0.88	59	24	363	30	365	30	0.013528176	0.01	1.352818
5	Ring 5	0.037	0.88	59	24	363	30	365	30	0.013172172	0.01	1.317217
6	Ring 6	0.009	0.88	59	24	363	30	365	30	0.003204042	0.01	0.320404
7	Ring 7	0.012	0.88	59	24	363	30	365	30	0.004272056	0.01	0.427206
8	Ring 8	0.013	0.88	59	24	363	30	365	30	0.00462806	0.01	0.462806
9	Ring 9	0.013	0.88	59	24	363	30	365	30	0.00462806	0.01	0.462806
10	Ring 10	0.024	0.88	59	24	363	30	365	30	0.008544111	0.01	0.854411

Hasil perhitungan intake dan RQ realtime

No	RING	C	R	W	tE	fE	D_real	t_avg		intake	RfC	RQ
1	Ring 1	0.019	0.88	56.2	24	361.5	2	365	30	0.000471	0.01	0.047145
2		0.019	0.88	56.2	24	361.5	3	365	30	0.000707	0.01	0.070717
3		0.019	0.88	56.2	24	361.5	52	365	30	0.012258	0.01	1.225769
4		0.019	0.88	56.2	24	361.5	11	365	30	0.002593	0.01	0.259297
5		0.019	0.88	56.2	24	361.5	30	365	30	0.007072	0.01	0.707175
6		0.019	0.88	56.2	24	361.5	65	365	30	0.015322	0.01	1.532212
7		0.019	0.88	56.2	24	361.5	2	365	30	0.000471	0.01	0.047145
8		0.019	0.88	56.2	24	361.5	4	365	30	0.000943	0.01	0.09429
9		0.019	0.88	56.2	24	361.5	1	365	30	0.000236	0.01	0.023572
10		0.019	0.88	56.2	24	361.5	26	365	30	0.006129	0.01	0.612885
11	Ring 2	0.041	0.88	59	24	361.5	27	365	30	0.013082	0.01	1.308229
12		0.041	0.88	59	24	361.5	46	365	30	0.022288	0.01	2.228834
13		0.041	0.88	59	24	361.5	3	365	30	0.001454	0.01	0.145359
14		0.041	0.88	59	24	361.5	37	365	30	0.017928	0.01	1.792758
15		0.041	0.88	59	24	361.5	47	365	30	0.022773	0.01	2.277287
16		0.041	0.88	59	24	361.5	62	365	30	0.030041	0.01	3.004081

17		0.041	0.88	59	24	361.5	42	365	30	0.02035	0.01	2.035023
18		0.041	0.88	59	24	361.5	34	365	30	0.016474	0.01	1.647399
19		0.041	0.88	59	24	361.5	33	365	30	0.015989	0.01	1.598946
20		0.041	0.88	59	24	361.5	12	365	30	0.005814	0.01	0.581435
21	Ring 3	0.027	0.88	63.5	24	365	11	365	30	0.003293	0.01	0.329272
22		0.027	0.88	63.5	24	365	3	365	30	0.000898	0.01	0.089802
23		0.027	0.88	63.5	24	365	25	365	30	0.007483	0.01	0.748346
24		0.027	0.88	63.5	24	365	30	365	30	0.00898	0.01	0.898016
25		0.027	0.88	63.5	24	365	33	365	30	0.009878	0.01	0.987817
26		0.027	0.88	63.5	24	365	50	365	30	0.014967	0.01	1.496693
27		0.027	0.88	63.5	24	365	40	365	30	0.011974	0.01	1.197354
28		0.027	0.88	63.5	24	365	28	365	30	0.008381	0.01	0.838148
29		0.027	0.88	63.5	24	365	7	365	30	0.002095	0.01	0.209537
30	Ring 4	0.038	0.88	55.56	24	360	3	365	30	0.001425	0.01	0.14247
31		0.038	0.88	55.56	24	360	50	365	30	0.023745	0.01	2.374508
32		0.038	0.88	55.56	24	360	3	365	30	0.001425	0.01	0.14247
33		0.038	0.88	55.56	24	360	30	365	30	0.014247	0.01	1.424705
34		0.038	0.88	55.56	24	360	1	365	30	0.000475	0.01	0.04749
35		0.038	0.88	55.56	24	360	1	365	30	0.000475	0.01	0.04749
36		0.038	0.88	55.56	24	360	25	365	30	0.011873	0.01	1.187254
37		0.038	0.88	55.56	24	360	52	365	30	0.024695	0.01	2.469488
38		0.038	0.88	55.56	24	360	35	365	30	0.016622	0.01	1.662156
39	Ring 5	0.037	0.88	50.44	24	365	3	365	30	0.001549	0.01	0.154925
40		0.037	0.88	50.44	24	365	22	365	30	0.011361	0.01	1.136114
41		0.037	0.88	50.44	24	365	63	365	30	0.032534	0.01	3.253418
42		0.037	0.88	50.44	24	365	38	365	30	0.019624	0.01	1.962379
43		0.037	0.88	50.44	24	365	1	365	30	0.000516	0.01	0.051642
44		0.037	0.88	50.44	24	365	57	365	30	0.029436	0.01	2.943569
45		0.037	0.88	50.44	24	365	30	365	30	0.015492	0.01	1.549247
46		0.037	0.88	50.44	24	365	29	365	30	0.014976	0.01	1.497605
47		0.037	0.88	50.44	24	365	48	365	30	0.024788	0.01	2.478795
48	Ring 6	0.009	0.88	60.67	24	360	57	365	30	0.005871	0.01	0.587118
49		0.009	0.88	60.67	24	360	27	365	30	0.002781	0.01	0.278109
50		0.009	0.88	60.67	24	360	48	365	30	0.004944	0.01	0.494415
51		0.009	0.88	60.67	24	360	56	365	30	0.005768	0.01	0.576818
52		0.009	0.88	60.67	24	360	10	365	30	0.00103	0.01	0.103003
53		0.009	0.88	60.67	24	360	30	365	30	0.00309	0.01	0.30901
54		0.009	0.88	60.67	24	360	41	365	30	0.004223	0.01	0.422313
55		0.009	0.88	60.67	24	360	20	365	30	0.00206	0.01	0.206006
56		0.009	0.88	60.67	24	360	20	365	30	0.00206	0.01	0.206006
57	Ring 7	0.012	0.88	58.33	24	358	1	365	30	0.000142	0.01	0.014205
58		0.012	0.88	58.33	24	358	53	365	30	0.007529	0.01	0.752884
59		0.012	0.88	58.33	24	358	12	365	30	0.001705	0.01	0.170464
60		0.012	0.88	58.33	24	358	6	365	30	0.000852	0.01	0.085232
61		0.012	0.88	58.33	24	358	12	365	30	0.001705	0.01	0.170464
62		0.012	0.88	58.33	24	358	65	365	30	0.009233	0.01	0.923348
63		0.012	0.88	58.33	24	358	17	365	30	0.002415	0.01	0.241491

64		0.012	0.88	58.33	24	358	1	365	30	0.000142	0.01	0.014205
65		0.012	0.88	58.33	24	358	60	365	30	0.008523	0.01	0.852321
66	Ring 8	0.013	0.88	59.22	24	365	9	365	30	0.001391	0.01	0.139088
67		0.013	0.88	59.22	24	365	60	365	30	0.009273	0.01	0.927254
68		0.013	0.88	59.22	24	365	67	365	30	0.010354	0.01	1.035434
69		0.013	0.88	59.22	24	365	19	365	30	0.002936	0.01	0.293631
70		0.013	0.88	59.22	24	365	32	365	30	0.004945	0.01	0.494536
71		0.013	0.88	59.22	24	365	28	365	30	0.004327	0.01	0.432719
72		0.013	0.88	59.22	24	365	22	365	30	0.0034	0.01	0.339993
73		0.013	0.88	59.22	24	365	37	365	30	0.005718	0.01	0.571807
74		0.013	0.88	59.22	24	365	40	365	30	0.006182	0.01	0.61817
75	Ring 9	0.013	0.88	61.44	24	365	27	365	30	0.004022	0.01	0.402188
76		0.013	0.88	61.44	24	365	32	365	30	0.004767	0.01	0.476667
77		0.013	0.88	61.44	24	365	30	365	30	0.004469	0.01	0.446875
78		0.013	0.88	61.44	24	365	24	365	30	0.003575	0.01	0.3575
79		0.013	0.88	61.44	24	365	24	365	30	0.003575	0.01	0.3575
80		0.013	0.88	61.44	24	365	20	365	30	0.002979	0.01	0.297917
81		0.013	0.88	61.44	24	365	20	365	30	0.002979	0.01	0.297917
82		0.013	0.88	61.44	24	365	28	365	30	0.004171	0.01	0.417083
83		0.013	0.88	61.44	24	365	4	365	30	0.000596	0.01	0.059583
84	Ring 10	0.024	0.88	58	24	365	1	365	30	0.000291	0.01	0.029131
85		0.024	0.88	58	24	365	29	365	30	0.008448	0.01	0.8448
86		0.024	0.88	58	24	365	40	365	30	0.011652	0.01	1.165241
87		0.024	0.88	58	24	365	40	365	30	0.011652	0.01	1.165241
88		0.024	0.88	58	24	365	47	365	30	0.013692	0.01	1.369159
89		0.024	0.88	58	24	365	21	365	30	0.006118	0.01	0.611752
90		0.024	0.88	58	24	365	57	365	30	0.016605	0.01	1.660469
91		0.024	0.88	58	24	365	28	365	30	0.008157	0.01	0.815669
92		0.024	0.88	58	24	365	50	365	30	0.014566	0.01	1.456552

SKOR GEJALA GANGGUAN PERNAFASAN

Penyakit (2 minggu terakhir)						Skor Sakit
Batuk	Demam	Pilek	Se_nafas	Sa_tgrkn	Mengi	
0	1	1	0	1	0	3
0	1	1	0	0	0	2
0	1	1	1	0	1	4
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	3
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	2
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	4
0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	6
1	0	0	1	1	1	1	4
1	0	0	1	1	0	1	3
1	0	1	0	0	0	0	2
0	1	1	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	2
1	1	1	0	1	0	0	4
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	3
1	0	1	0	0	0	0	2
1	1	0	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	2
1	1	0	1	1	1	0	4
1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	0	3
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	2
1	0	1	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	3
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1	3



Fact Sheet

South Carolina Department of Health and Environmental Control • www.scdhec.gov

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

What are the National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)?

The National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) are air quality standards set by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) for six “criteria pollutants” which are among the most harmful to public health and the environment.

Since the amendment of the Clean Air Act (CAA) in 1990, EPA is required to set NAAQS for the criteria pollutants. The law requires EPA to review these standards once every five years to determine if they are appropriate or if new standards are needed to protect public health. In South Carolina, DHEC is the agency responsible for monitoring air quality and reporting to EPA the levels of each of these pollutants in our air.

What are the “criteria pollutants” and where do they come from?

Ground-level **ozone** forms in the air when two other types of pollutants, volatile organic compounds (VOCs) and **nitrogen oxides**, react in the presence of sunlight. The VOCs that form ozone come from vehicle and industrial exhaust as well as evaporated gasoline, solvents, paints and many other sources.

Particulate matter and **nitrogen oxides** come from diesel cars, trucks and buses, power plants, industries and many other sources.

Carbon monoxide results from the incomplete burning of fuels from cars, buses, trucks, small engines, boilers and some industrial processes.

Sulfur dioxide is generated by coal-fired power plants, industrial sources, residential heating and motor vehicles.

The main sources of **lead** in humans and other animals are tainted foods and beverages, airborne lead and non-food substances such as paint chips containing lead.

More information on each of the criteria pollutants can be found online at <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>.

What kinds of NAAQS do we have, and what do they mean?

The 1990 CAA amendments established two types of standards for each criteria pollutant:

- **Primary standards:** these protect public health, including the health of “sensitive” populations such as asthmatics, children and the elderly.
- **Secondary standards:** these protect public welfare and include protection against lower visibility and damage to animals, crops, vegetation and buildings.

What are the standards for each of the criteria pollutants?

The NAAQS for each of the six criteria pollutants are listed on the next page of this fact sheet. Units of measure for the standards are parts per million (ppm) by volume, milligrams per cubic meter of air (mg/m^3), and micrograms per cubic meter of air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (1 ppm = 1 drop of water diluted into 50 liters or 1 second of time in roughly 11.5 days.)

National Ambient Air Quality Standards		
POLLUTANT	STANDARD VALUE	STANDARD TYPE
Carbon Monoxide (CO)		
8-hour Average ⁽¹⁾	9 ppm (10 mg/m ³)	Primary
1-hour Average ⁽¹⁾	35 ppm (40 mg/m ³)	Primary
Lead (Pb)		
Rolling 3-Month Average ⁽²⁾	0.15 µg/m ³	Primary & Secondary
Quarterly Average	1.5 µg/m ³	Primary & Secondary
Nitrogen Dioxide (NO₂)		
Annual Average	0.053 ppm (100 µg/m ³)	Primary & Secondary
1-Hour ⁽³⁾	100 ppb	Primary
Coarse Particulate (PM₁₀)		
24-hour Average ⁽⁴⁾	150 µg/m ³	Primary & Secondary
Fine Particulate (PM_{2.5})		
Annual Average ⁽⁵⁾	15.0 µg/m ³	Primary & Secondary
24-hour Average ⁽⁶⁾	35 µg/m ³	Primary & Secondary
Ozone (O₃)		
8-hour Average (2008 Standard) ⁽⁷⁾	0.075 ppm	Primary & Secondary
8-hour Average (1997 Standard) ⁽⁸⁾	0.08 ppm	Primary & Secondary
1-Hour Average ⁽⁹⁾	0.12 ppm (235 µg/m ³)	Primary & Secondary
Sulfur Dioxide (SO₂)		
Annual Average	0.03 ppm	Primary
24-hour Average ⁽¹⁾	0.14 ppm	Primary
3-hour Average	0.50 ppm	Secondary
1-hour ⁽¹⁰⁾	75 ppb	Primary

(1) This standard cannot be exceeded more than once per year.

(2) Final rule signed October 15, 2008

(3) To attain this standard, the 3-year average of the 98th percentile of the daily maximum 1-hour average at each monitor within an area must not exceed 100 ppb (effective January 22, 2010).

(4) Not to be exceeded more than once per year on average over 3 years.

(5) To attain this standard, the 3-year average of the weighted annual mean PM_{2.5} concentrations from single or multiple community-oriented monitors must not exceed 15.0 µg/m³.

(6) To attain this standard, the 3-year average of the 98th percentile of 24-hour concentrations at each population-oriented monitor within an area must not exceed 35 µg/m³ (effective December 17, 2006).

(7) To attain this standard, the 3-year average of the fourth-highest daily maximum 8-hour average ozone concentrations measured at each monitor within an area over each year must not exceed 0.075 ppm (effective May 27, 2008).

(8) (a) To attain this standard, the 3-year average of the fourth-highest daily maximum 8-hour average ozone concentrations measured at each monitor within an area over each year must not exceed 0.08 ppm.

(b) The 1997 standard – and the implementation rules for that standard – will remain in place for implementation purposes as EPA undertakes rulemaking to address the transition from the 1997 ozone standard to the 2008 ozone standard.

(c) EPA is in the process of reconsidering these standards (set in March 2008).

(9) (a) EPA revoked the 1-hour ozone standard in all areas, although some areas have continuing obligations under that standard (“anti-backsliding”).

(b) The standard is attained when the expected number of days per calendar year with maximum hourly average concentrations above 0.12 ppm is ≤1.

(10) (a) Final rule signed June 2, 2010. To attain this standard, the 3-year average of the 99th percentile of the daily maximum 1-hour average at each monitor within an area must not exceed 75 ppb.