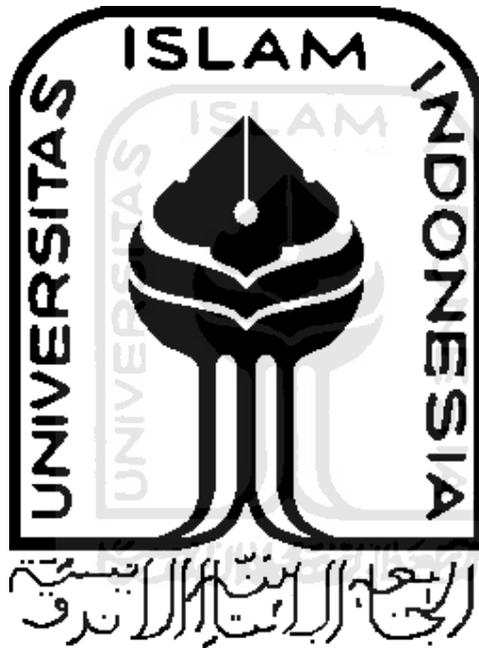


TA/TL/2020/1257

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RISIKO SULFUR DIOKSIDA (SO₂) PADA UDARA KOTA
YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



ALDA FADILA PUTRA

16513028

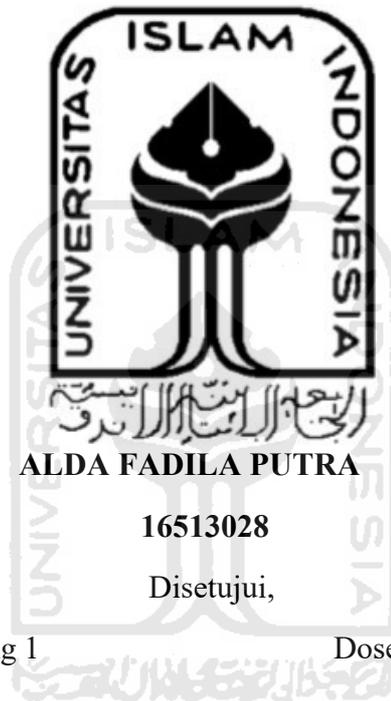
**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2020

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RISIKO SULFUR DIOKSIDA (SO₂) PADA UDARA DI KOTA
YOGYAKARTA**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ALDA FADILA PUTRA

16513028

Disetujui,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.
NIK. 165131305

Tanggal: 15 Desember 2020

Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H.
NIK. 165131303

Tanggal: 15/12/2020

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal: 16 Desember 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS RISIKO SULFUR DIOKSIDA (SO₂) PADA UDARA DI KOTA
YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: ...

Tanggal: ...



Tim Penguji:

Fina Binazir Maziya, S.T.,M.T.

()
15 Desember 2020

Azham Umar Abidin, S.K.M.,MPH.

() 12/15/2020

Luqman Hakim, S.T.,M.Si.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Skripsi ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam skripsi ini tidak tercantum karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 November 2020

Yang membuat pernyataan,



Alda Fadila Putra

NIM: 16513028

PRAKATA

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, penulis ucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat serta Karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis telah diberi kelancaran dalam penyelesaian penyusunan laporan Tugas Akhir yang memiliki judul **“ANALISIS SULFUR DIOKSIDA (SO₂) PADA UDARA DI KOTA YOGYAKARTA”**

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini bertujuan agar mendapatkan gelar Sarjana Teknik sebagai syarat akademik bagi Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

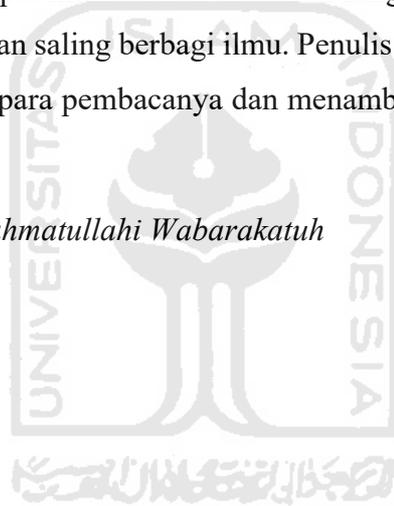
Dalam penyusunan laporan ini penulis tidak luput dari banyaknya mendapat doa, semangat, bimbingan, dorongan dan dukungan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga diberikan kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Orang tua tercinta dan seluruh keluarga tersayang yang selalu memberikan dukungan dengan doa, motivasi, dan kesempatan mendapatkan ilmu.
3. Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir.
4. Azham Umar Abidin S.KM., M.P.H selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir.
5. Elvin Dwi Handoko, Afan Taufiq Fatorahman dan Syahrul Arya selaku teman satu *team* yang telah membantu banyak hal dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
6. Andwina Reza Almira selaku orang tersayang yang selalu memberi dukungan semangat, selalu menemani dan selalu memberi masukan yang membangun.

7. Bagas Satya Hadi dan Lutfi Putra Kuranto yang memberi support disaat sedang penat.
8. Faried Ardian, Iqbal Mahendra teman dari SMA yang selalu ada saat dibutuhkan
9. Fitra Shafie Aqsa dan Arqi Izza Mahendra sahabat dari SD hingga kini satu fakultas di UII

Penulis mengharapkan masukan dalam penyusunan laporan ini dikarenakan masih banyak kekurangan dan belum sempurna dalam penulisan. Karena itu kritik positif serta saran yang dapat memberikan masukan sangat diharapkan agar dapat memperbaiki laporan ini dan saling berbagi ilmu. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan menambah wawasan bagi penulis maupun pembacanya.

Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh



Yogyakarta, 15 November 2020

Alda Fadila Putra

4.1	Gambaran Umum Penelitian	26
4.1.1	Titik Lokasi Pemantauan.....	26
	4.1.2 Penduduk	28
4.1.3	Transportasi.....	28
4.1.4	Beban Emisi Kendaraan Kota Yogyakarta.....	29
	4.1.5 Industri	34
4.1.6	Meteorologi.....	35
4.2	Kondisi Kualitas Udara Ambien Untuk Parameter SO ₂	36
4.3	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan Bermotor	41
4.4	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Industri.....	42
4.5	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ dan Kependudukan.....	44
4.6	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ dan Meteorologi	46
4.7	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ pada titik lokasi pemantauan	52
4.8	Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO ₂ dengan Baku Mutu	53
4.9	Analisis Risiko Terhadap Kesehatan	54
4.10	Pola Paparan	55
4.10.1	Konsentrasi SO ₂	55
4.11	Hasil Kuisisioner	55
4.11.1	Waktu Paparan (t _E).....	55
4.11.2	Frekuensi Paparan (f _E).....	56
4.11.3	Durasi Paparan (Dt).....	56

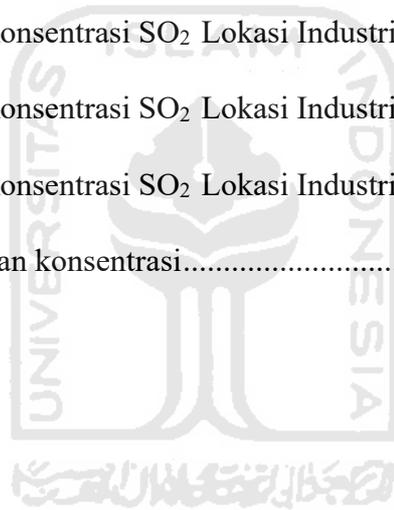
4.12	Status Merokok Pedagang.....	50
4.13	Keluhan Kesehatan.....	50
4.14	Analisis Dosis Respon	51
4.14.1	Analisis Dosis-Respon Risiko Non Karsinogenik Pajanan SO ₂	51
4.14.2	Inhalation Rate	53
4.15	Analisis Pemajanan Sulfur Oksida (SO ₂).....	53
4.15.1	Analisis Pemajanan SO ₂	53
4.15.2	Karakteristik Risiko (Risk Characterization).....	54
4.16	Estimasi Risiko Kesehatan Pemajanan SO ₂	56
4.17	Perhitungan Estimasi Risiko Kesehatan Pemajanan SO ₂	57
4.18	Manajemen Risiko	61
4.19	Pembahasan.....	62
4.20	Komunikasi Risiko.....	63
BAB 5	64
KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Bentuk dan Komponen Penyusun Partikulat.....	7
Tabel 2.2: Tabel Tingkatan Kadar SO ₂ Pada Sistem Pernafasan	9
Tabel 2.3: Baku Mutu Udara Ambien Nasional.....	9
Tabel 3.1: Jumlah Penduduk Pada Tahun 2010-2019 Kota Yogyakarta	18
Tabel 4.1.1: Konsentrasi SO ₂ Tahun 2016-2018.....	27
Tabel 4.1.2: Distribusi Konsentrasi SO ₂ di Udara Ambien Tahun 2016-2018.....	27
Tabel 4.1.3: Jumlah Kendaraan Bermotor Kota Yogyakarta 2013-2018.....	29
Tabel 4.1.4: Jumlah Industri Kota Yogyakarta	29
Tabel 4.1.5: Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta 2013-2019.....	30
Tabel 4.1.6: Data Meteorologi Kota Yogyakarta 2016-2018.....	30
Tabel 4.1.7: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan 2016.....	31
Tabel 4.1.8: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan 2017.....	31
Tabel 4.1.9: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan 2018.....	32
Tabel 4.2.0: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Industri 2016.	35
Tabel 4.2.1: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan 2017.....	36
Tabel 4.2.2: Rata-rata konsentrasi SO ₂ dan Jumlah Kendaraan 2018.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.0: Diagram alir...	17
Gambar 4.0: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Transportasi Tahun 2016.....	33
Gambar 4.1.1: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Transportasi Tahun 2017.....	33
Gambar 4.1.2: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Transportasi Tahun 2018.....	34
Gambar 4.1.3: Perbandingan konsentrasi.....	34
Gambar 4.1.4: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Industri Tahun 2016.	37
Gambar 4.1.5: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Industri Tahun 2017.	37
Gambar 4.1.6: Rata-rata Konsentrasi SO ₂ Lokasi Industri Tahun 2018.	38
Gambar 4.1.7: Perbandingan konsentrasi.....	38



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pencemaran udara menghasilkan efek terjadi perubahan komposisi yang berada diudara dari keadaan normalnya. Masuknya konsentrasi atau zat asing yang ada diudara dengan kadar tertentu dan keberadaanya di udara dengan waktu yang lama, menyebabkan kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan terganggu. Saat mengalami kondisi seperti itu dapat dikatakan udara sudah tercemar. (Wardhana.W.A, 2001). Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan. Berbagai kegiatan tersebut merupakan kontribusi terbesar dari pencemar udara yang dibuang ke udara bebas. Polusi udara akibat emisi kendaraan bermotor sudah mencapai tahap yang mengkhawatirkan. Pertambahan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia didominasi oleh kendaraan roda dua, mobil penumpang, serta mobil barang (Abubakar, 2005). Sumber pencemar udara di Indonesia sebagian besar (kurang lebih 75%) berasal dari gas buang dari pembakaran bahan bakar fosil, termasuk yang digunakan dalam sektor transportasi (Wardhana, 2001).

Kegiatan transportasi meningkat seiring kebutuhan manusia untuk dapat berpindah tempat dalam melaksanakan aktifitasnya. Seluruh kegiatan transportasi pasti membutuhkan bahan bakar yang akan menghasilkan emisi saat digunakan. Hal ini akan menyebabkan terjadinya pencemaran yang akan memberikan dampak kurang baik pada kehidupan manusia. Di kawasan perkotaan, kendaraan bermotor merupakan sumber utama dari emisi partikulat dan menyumbang lebih dari 50% emisi partikulat di udara ambien (Srimuruganandam & Nagendra, 2011).

Sulfur dioksida berasal dari dua sumber yakni sumber alamiah dan buatan. Sumber-sumber SO₂ alamiah adalah gunung-gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba dan reduksi sulfat secara biologis. Sumber-sumber SO₂

buatan adalah pembakaran bahan bakar minyak, gas dan batubara yang mengandung sulfur tinggi (Slamet, 2009).

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia semakin hari semakin padat di setiap kota yang ada di Indonesia. Salah satu kota yang termasuk kota yang terpadat dalam tingkat lalu lintas adalah kota Yogyakarta. Menurut data yang diperoleh Tribun Jogja kota yang dikenal sebagai kota pelajar ini menduduki peringkat 4 dengan tingkat kepadatan jumlah kendaraan bermotor (Indriasari, 2017).

Kualitas udara perlu dilakukan pengujian, dikarenakan memberikan dampak terhadap makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Pencemaran udara akan menimbulkan efek jika melewati Nilai Ambang Batas (NAB) dari baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah atau Keputusan Gubernur DIY yaitu efek terhadap kesehatan manusia dan lingkungannya.

Sulfur Dioksida (SO_2) merupakan senyawa yang menyebabkan tercemarnya udara dalam konsentrasi yang banyak. Senyawa Sulfur Dioksida memiliki sifat tidak memiliki warna serta memiliki aroma menyengat, sehingga ketika terjadi reaksi dengan uap air yang terjadi di udara menghasilkan senyawa H_2SO_4 yang sering disebut dengan hujan asam. Hujan asam dapat menimbulkan dampak kerusakan baik benda, material, serta makhluk hidup (Suyono, 2014). Bahan pencemar tersebut memiliki dampak negatif bagi manusia yang menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan serta berkurangnya fungsi dari paru yang memiliki gejala seperti sesak nafas, batuk, serta memperparah penderita asma (Muziansyah, dkk, 2015). Paparan oleh gas Sulfur Dioksida dapat mengakibatkan terjadinya iritasi pada bagian mata, hidung, tenggorokan, pernafasan, yang dapat mengakibatkan pada kematian Berdasarkan penelitian oleh Material Safety Data Sheet (Sulfur dioxide MSDS, 2016). Sehingga gas dari NO_2 dan SO_2 dapat menyebabkan terjadi dampak negatif terfokus pada saluran pernapasan yang merupakan masuknya udara sebagai proses inhalasi. Gas Sulfur Dioksida mengakibatkan terjadinya iritasi selaput lendir pada saluran pernafasan serta iritasi pada mata jika terjadi paparan dalam kandungan yang tinggi dengan waktu intens

(Mukono, 2011). Apabila gas Sulfur Dioksida hingga masuk dalam pernafasan serta mengendap didalam paru-paru, mengakibatkan terjadinya masalah pada kerja paru-paru serta penyakit asma (Suyono, 2014).

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada penelitian ini, rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

- a) Bagaimana perbandingan konsentrasi SO_2 di wilayah Kota Yogyakarta berdasarkan penggunaan lahannya.
- b) Berapa besar tingkat risiko gangguan kesehatan kronis non karsinogenik pada penduduk dengan menggunakan simulasi analisis risiko

1.3 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Menganalisis perbandingan konsentrasi SO_2 di wilayah Kota Yogyakarta berdasarkan titik pemantauan.
- b) Menganalisis risiko dampak dari SO_2 di Kota Yogyakarta.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini adalah :

- a) Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pencemaran udara akibat pengaruh padatnya kendaraan bermotor terhadap konsentrasi pencemar SO_2 di wilayah Kota Yogyakarta.
- b) Menjadi bahan pertimbangan dan evaluasi terhadap apa yang harus dilakukan oleh semua pihak yang berkepentingan demi mengurangi dampak kesehatan bagi masyarakat yang terpapar SO_2 .

1.5 BATASAN MASALAH

Penelitian ini dibatasi pada objek kajian sebagai berikut :

1. Parameter yang diamati

- a) Gambaran kualitas udara ambien khususnya parameter SO₂ di Kota Yogyakarta berdasarkan data kajian Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2016-2018 dengan menggunakan metode *Pararosanilin*.
 - b) Sulfur Dioksida (SO₂)
 - c) Analisis Risiko Kesehatan
2. Titik pemantauan dilakukan terhadap 9 titik yang berada di wilayah Kota Yogyakarta meliputi:
 - a. Perempatan Mirota Kampus
 - b. Depan RS. PKU Muhammadiyah
 - c. Depan Pasar Bringharjo
 - d. Depan Hotel Saphir
 - e. Sebelah utara PT. Jogjatek
 - f. Depan Kantor Hotel Tentrem
 - g. Depan Hotel Matahari, Jl Parangtritis
 - h. Jalan Sabirin Kota Baru
 - i. Depan Kantor Kecamatan Jetis
 3. Metode yang digunakan menggunakan sumber data sekunder yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dan Badan Pusat Statistik.
 4. Instrument yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan alat Spektrofotometer.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Udara merupakan senyawa yang diperlukan makhluk hidup dalam kehidupan di bumi. Didalam senyawa udara terdapat oksigen yang sangat diperlukan dalam proses pernafasan. Selain itu, udara merupakan sarana dalam menghantarkan suara serta bunyi, dan dapat mendinginkan benda yang panas, serta menjadi salah satu media tersebarnya berbagai penyakit melalui udara (Chandra, 2006). Udara merupakan hal penting yang dibutuhkan makhluk hidup. Udara berperan dalam proses pernapasan (Sunu, 2001). Unsur terpenting dalam senyawa untuk kehidupan adalah oksigen. Jumlah oksigen di dalam maupun di luar ruangan tidak banyak berbeda. Kesulitan bernafas akan dialami makhluk hidup yang membutuhkan oksigen jika konsentrasi oksigen didalam maupun di luar ruangan berkurang karena meningkatnya konsentrasi SO_2 (Kristanto, 2002).

Udara adalah campuran dari berbagai gas secara mekanis dan bukan merupakan senyawa kimia. Udara merupakan komponen yang membentuk atmosfer bumi, yang membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi. Udara terdiri dari berbagai gas dalam kadar yang tetap pada permukaan bumi, kecuali gas metana, ammonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrooksida mempunyai kadar yang berbeda-beda tergantung daerah/lokasi. Umumnya konsentrasi metana, ammonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrooksida sangat tinggi di area rawa-rawa atau industri kimia (Gabriel, 2001).

2.2 Pencemaran Udara

Pencemaran Udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. (Peraturan Pemerintah Republik

Indonesia No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara) . Penurunan kualitas udara merupakan faktor terjadinya penurunan kualitas udara, yang disebabkan meningkatnya jumlah penduduk, pembangunan kota, pusat-pusat industri, penggunaan kendaraan bermotor. Udara yang sebelumnya segar, kini menjadi kering dan kotor. Kualitas udara menurun dapat disebabkan karena terjadinya pencemaran udara, menyebabkan penurunan kualitas serta mutu udara yang menyebabkan tidak dapatnya di fungsikan sesuai peruntukannya. Kota yang padat menjadikan penurunan kualitas udara sebagai permasalahan sangat penting yang dapat menyakibatkan berbagai penyakit bagi manusia dan makhluk hidup. Sebesar 70% terjadinya pencemaran udara dikarenakan faktor yang berasal dari adanya bahan yang tidak terbakar dengan sempurna dan usia serta perawatan yang tidak sesuai pada mesin-mesin yang ada di pabrik, pembangkit listrik serta kendaraan pribadi (Faroqi, Halim, & Sanjaya, 2017).

2.1.1 Sifat dan Jenis Partikulat

Beberapa macam pencemaran udara Menurut Soedomo (2001), sebagai berikut:

1. Berdasarkan fisik serta senyawa pencemar:
 - a. Kandungan partikel dari debu, timah, asap kendaraan dan aerosol
 - b. Kandungan dari Gas (NO_2 , SO_2 , H_2S , CO dan Hidrokarbon)
 - c. Suhu dan kebisingan
2. Berdasarkan proses pembentukan pencemar, sebagai berikut:
 - a. Pencemaran yang dihasilkan langsung oleh sumbernya (Primer).
 - b. Pencemaran yang diakibatkan adanya reaksi di dalam udara dengan bermacam zat (Sekunder).
3. Berdasarkan proses dari pola emisi pencemar, sebagai berikut:
 - a. *Point Source* yang merupakan sumber pencemar yang letaknya tidak berpindah/ tetap yang berupa asap pabrik.
 - b. *Line Source* yang merupakan sumber pencemar yang letaknya berpindah/ bergerak seperti kendaraan pribadi

- c. *Area Source* yang merupakan sumber pencemar yang terjadi pada daerah berdampak besar, seperti pembakaran terbuka, pemukiman warga, dan lain-lain.

Beberapa partikulat dalam berbagai bentuk dapat melayang di udara. Bentuk dan komponen penyusun partikulat tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Bentuk dan komponen penyusun partikulat

No.	Komponen	Bentuk
1	Karbon	CO
2	Besi	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄
3	Magnesium	MgO
4	Kalsium	CaO
5	Alumunium	Al ₂ O ₃
6	Sulfur Dioksida	SO ₂
7	Titanium	TiO ₂
8	Karbonat	HCO ₃ ⁻
9	Silikon	SiO ₂
10	Fosfor	P ₂ O ₅
11	Kalium	K ₂ O
12	Natrium	Na ₂ O

Sumber: Bapeda JABAR, 2007

Sifat partikel tersebut lainnya adalah sifat optiknya. Partikel yang mempunyai diameter kurang dari 0,1 mikron berukuran sedemikian kecilnya dibandingkan dengan panjang gelombang sinar, sehingga partikel tersebut mempengaruhi sinar seperti halnya molekul – molekul dapat menyebabkan refraksi. Partikel yang berukuran lebih besar dari 1 mikron jauh lebih besar dari panjang gelombang sinar tampak dan mempunyai objek makroskopik yang menyebarkan sesuai dengan penampang melintang partikel tersebut. Optik ini memiliki sifat yang berpengaruh penting dalam menentukan partikel atmosfer dengan radiasi dan visibilitas solar energi (Oktora, 2008).

2.2 Sulfur Dioksida (SO₂)

2.2.1 Karakteristik

Gas Sulfur Dioksida bercirikan bau menyengat, serta memiliki warna yang coklat kemerahan dan kuning saat memiliki suhu dibawah 21,2°C. Gas Sulfur Dioksida berakibat bagi kesehatan makhluk hidup antara lain terjadinya penurunan dari fungsi paru-paru, hingga paling fatal mengakibatkan kematian. SO₂ merupakan hasil dari proses terbakarnya bahan bakar bensin menjadi energi, proses dari sampah yang dibakar, dan pembakaran dari batu bara bagi kegiatan manusia (Suyono, 2014).

Sulfur Dioksida bersifat memiliki kelarutan yang rendah jika bertemu dengan air serta larut didalam larutan alkali. SO₂ merangsang terjadinya sesak napas dan berbahaya bagi sistem pernapasan manusia (Mukono, 2011). Sulfur Dioksida bersifat tidak memiliki warna serta memiliki bau yang menyengat. Sulfur Dioksida menyebabkan terjadinya hujan asam saat bertemu serta terjadi reaksi dengan uap air di udara sehingga terbentuk H₂SO₄.

2.2.2 Dampak Terhadap Kesehatan

Sulfur Dioksida mengakibatkan efek buruk bagi kesehatan manusia dengan timbulnya iritasi pada bagian saluran pernapasan serta menyebabkan turunya fungsi dari paru-paru (Muziansyah, dkk, 2015). Efek dari terpajan oleh Sulfur Dioksida pada konsentrasi yang tinggi mengakibatkan terjadinya iritasi hingga dapat mengakibatkan kematian (MSDS, 2016). Sulfur Dioksida berdampak terjadinya iritasi pada saluran pernafasan jika terpajan dalam kandungan tinggi dalam jangka waktu yang lama (Mukono, 2011). Sulfur Dioksida jika masuk dalam pernafasan akan mengakibatkan terjadi kegagalan kerja dalam sistem pernafasan makhluk hidup (Suyono, 2014).

Berdasarkan data WHO tahun 2012, sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahunnya akibat penyakit yang berkaitan dengan polusi udara. Dalam hal ini termasuk penyakit jantung, stroke, paru-paru dan pernapasan serta kanker. Disisi

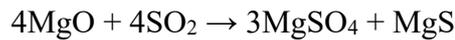
lain polutan di udara tidak saja membahayakan kesehatan tetapi juga mengganggu iklim seperti fine particle, black carbon dan ozon permukaan (O₃). Hal ini membuat pencemaran udara menjadi faktor risiko kesehatan terbesar secara global setara dengan risiko kesehatan konvensional seperti merokok, kolesterol tinggi, diabetes dan obesitas (WHO, 2018 Tabel 2.2 Tingkatan kadar SO₂ pada sistem pernafasan manusia

Kadar SO₂	Satuan	Dampak Terhadap Manusia
3-5	ppm	Kadar minimum yang dapat dideteksi baunya
8-12	ppm	Kadar minimum yang segera memberikan iritasi pada tenggorokan
20	ppm	Kadar minimum yang mengakibatkan iritasi pada mata
50-100	ppm	Kadar maksimum yang diperbolehkan pada paparan yang waktunya singkat (+-30 menit)
400-500	ppm	Sudah berbahaya meskipun dalam paparan waktu yang singkat

(Sumber : Philli kristanto, ekologi industri, edisi pertama cetakan pertama, 2002)

2.2.3. Dampak Terhadap Lingkungan

Gas SO₂ juga dapat membentuk garam sulfat apabila bertemu dengan oksida logam, yaitu melalui proses kimiawi berikut ini:



Udara yang mengandung uap air akan bereaksi dengan gas SO₂ sehingga membentuk asam sulfat:



Udara yang mengandung uap air akan bereaksi dengan gas SO₃ membentuk asam sulfat:



a. Dampak Terhadap Tanah

Apabila asam sulfat dan asam sulfat turun ke bumi bersama-sama dengan jatuhnya hujan, terjadilah apa yang dikenal dengan *Acid Rain* atau hujan asam. Hujan asam sangat merugikan karena dapat merusak tanaman maupun kesuburan tanah. Pada beberapa negara industri, hujan asam sudah menjadi persoalan yang sangat serius karena sifatnya yang merusak. Hutan yang gundul akibat jatuhnya hujan asam akan mengakibatkan lingkungan menjadi semakin parah. Gambar di atas menunjukkan bagaimana terjadinya hujan asam yang menyebabkan kerusakan lingkungan (Wardhana, 1995).

b. Dampak Terhadap Air

Tingginya kandungan SO₂ yang terkandung didalam air akan menyebabkan terganggunya spesies hewar air yang bertahan. Hewan seperti plankton dan invertebrata merupakan mahluk yang paling mudah mengalami kematian akibat pengaruh dari pengasaman di perairan. Jika perairan memiliki pH dibawah 5, lebih dari 75% dari spesies ikan akan mati (Anonim, 2002).

c. Dampak Terhadap Udara

Tingginya kadar SO₂ yang disebabkan oleh belerang (sulfur) yang merupakan pengotor dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen oksida. Zat tersebut akan berdifusi dengan air untuk membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang mudah larut sehingga jatuh bersama dengan air hujan. Air hujan yang mengandung asam akan meningkatkan kadar keasaman pada tanah dan air permukaan berbahaya bagi manusia, hewan dan tumbuhan (Anonim, 2002).

2.3 Baku Mutu Sulfur Dioksida (SO₂)

Nilai Ambang Batas (NAB) SO₂ tercantum di dalam Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 dengan ambang batas senilai 900 µg/Nm³ dalam pengujian (1 jam), serta sebesar 365 µg/Nm³ dalam pengujian (24 jam), dan sebesar 60 µg/Nm³ dalam pengujian (1 tahun). Serta di dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan waktu pengukuran selama 1 (satu) jam sebesar 0,340 ppm dan/atau 900 µg/Nm³.

2.4 Sumber Pencemar Udara di Perkotaan

2.4.1 Transportasi

Transportasi berperan penting dalam proses berkembangnya ekonomi dan berkembangnya masyarakat serta bertumbuhnya industrialisasi. Ekonomi yang semakin meningkat akan menyebabkan ketika negara yang bergantung pada kesediaan sistem angkutan pada negara. Kegiatan transportasi diperlukan supaya tidak terhambatnya kegiatan mobilisasi manusia ataupun barang didalam kegiatan ekonomi. Transportasi darat adalah mode transportasi memiliki berkontribusi paling besar dalam terlaksananya laju ekonomi disuatu daerah (BPS, 2011).

Dibalik banyaknya manfaat yang diperoleh dengan adanya kegiatan transportasi, tetapi menimbulkan dampak buruk kepada lingkungan. Emisi yang

dihasilkan oleh kendaraan adalah penyebab utama munculnya pencemaran di udara. Menurut Soedomo (2001), beberapa faktor penyebab dominan yang diakibatkan oleh sektor transportasi terhadap terjadi pencemaran di perkotaan Indonesia, Sebagai berikut:

1. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang pesat
2. Prasarana yang tidak seimbang dengan jumlah kendaraan yang ada
3. Kesamaan waktu aliran lalu lintas
4. Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor
5. Jenis bahan bakar yang digunakan

2.4.2 Industri

Pada saat konsentrasi SO₂ dan NO₂ yang berada pada udara ambien disekitar pabrik industri dengan waktu yang cukup lama, maka akan memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan yang terkena paparan konsentrasi polutan tersebut (Liandy, 2015).

Sulfur dioksida atau SO₂ merupakan salah satu gas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran fosil pada pembangkit listrik dan fasilitas industri lainnya, serta pada pembakaran bahan bakar di sumber bergerak seperti lokomotif, kapal, dan peralatan lainnya. SO₂ ialah suatu bahan pencemar dari berasal dari sumber industri yang memiliki sifat sebagai *precursor* asam sulfat (H₂SO₄), komponen partikel aerosol yang dapat mengubah kandungan deposisi asam, iklim global. Sumber dominan dari SO₂ yaitu berasal dari pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi (Jacobson, 2002).

Penggunaan bahan bakar didominasi paling besar digunakan oleh industri dalam menjalankan kegiatan industri. Yang menyebabkan munculnya emisi pencemaran udara, sebagai berikut HC, CO, NO_x, Sox dan Partikulat (Soedomo, 2001).

2.5 Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Pencemaran Udara

Meteorologi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas udara di suatu daerah baik perkotaan maupun pedesaan. Berdasarkan sistem pencemaran udara, atmosfer adalah medium penerima dari emisi sumber pencemar. Menurut Soedomo (2001) atmosfer adalah medium yang memiliki sifat sangat dinamik, dengan ciri sebagai berikut:

1. Dispersi (Penyebaran)
2. Dilusi (Pengenceran)
3. Difusi (Antar molekul gas)
4. Transformasi fisik-kimia dalam proses dan mekanisme kinetika atmosferik.

Adapun beberapa faktor yang menentukan tingkat atmosfer dari meteorologi sebagai berikut:

1. Arah serta kecepatan angin
2. Kelembapan
3. Suhu
4. Tekanan
5. Permukaan

2.6 Analisis Risiko

Didalam (KEMENKES, 2012) menjelaskan tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang merupakan suatu proses memiliki tujuan memperkirakan risiko terhadap kesehatan manusia yang mungkin terjadi, serta identifikasi kepada adanya faktor kemungkinan yang bisa terjadi, penelitian pada objek pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik.

WHO (2004) mendeskripsikan bahwa analisis risiko merupakan suatu proses yang memiliki tujuan untuk melakukan perhitungan atau memperkirakan risiko terhadap organisme yang memiliki sasaran untuk diuji, substansi populasi, dan mengidentifikasi ketidakpastian dari data tersebut, setelah terpajan oleh agent

tertentu, diperhatikan karakteristik agen yang mejadi sistem sasaran yang spesifik dan menjadi perhatian.

Keberadaan partikulat di udara secara potensial menyebabkan kerugian diantaranya terhadap kesehatan paru-paru, mereduksi jarak penglihatan (*visibilitas*), mereduksi radiasi matahari, meningkatkan kemungkinan presipitasi, dll. Besarnya efek yang ditimbulkan oleh partikulat merupakan fungsi dari rata-rata ukuran partikulat di udara, konsentrasi partikel serta komposisi fisika dan kimia partikel udara.

Partikulat memiliki dampak berbahaya terhadap kesehatan manusia melalui mekanisme sebagai berikut:

- Partikel memiliki sifat *toksik* dikarenakan sifat fisik atau kimiawinya
- Partikel menimbulkan gangguan pada saluran pernafasan
- Partikel membawa substansi *toksik* melalui absorpsi

Sehingga analisis risiko adalah sebuah proses untuk mengendalikan situasi atau keadaan dimana organisme, sistem, atau populasi mungkin terpajan bahaya. Proses *risk analysis* meliputi 3 komponen yaitu *risk assessment*, pengelolaan risiko, dan komunikasi risiko (Alfiah, 2009).

2.6.1 Analisa Pemajanan

Analisis pemajanan perlu memperhatikan semua rute (*inhalasi*, *ingesi* dan *absorpsi*) dan media (udara, air, tanah, makanan, minuman) agar *total intake* bisa dihitung. Analisis rute pajanan biasanya menghasilkan *critical pathway*, yaitu jalur pemajanan yang dominan. *Pathway* ini menyangkut media lingkungan apa yang menjadi wahana *risk agent* itu dan dengan cara apa zat itu masuk ke dalam tubuh. Sekali *critical pathway* ditemukan, jalur lain kemungkinan kontribusinya kecil dan boleh jadi bisa diabaikan. Perhitungan *intake* membutuhkan nilai *default* beberapa variabel faktor pemajanan:

$$I = \frac{I \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{agv}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

I : *Intake* (mg/kg/hari)

C : Nilai konsentrasi *risk agent*, mg/m³ media udara, mg/L media air minum, mg/kg media makanan.

R : Laju asupan atau konsumsi, m³/jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan

t_E : Waktu lama pajanan

f_E : Frekuensi lama pajanan

D_t : Durasi lama pajanan

W_b : Berat badan responden

t_{agv} : Lama waktu rata-rata

Perhitungan waktu pajanan (t_E) dilakukan dengan cara terjun langsung dan melakukan survei serta menanyakan lama waktu responden sehari berada di lokasi berjualan. Begitupun dalam frekuensi pajanan (f_E), kegiatan yang sering dilakukan setiap tahun ketika meninggalkan tempat tinggal. Sedangkan durasi pajanan (D_t), agar diketahui lama sesungguhnya (*real time*) responden berada di lokasi berjualan dalam sehari. Sedangkan durasi pajanan *lifetime*, durasi pajanan *real time* diperlukan supaya dapat dikonfirmasi dengan studi epidemiologi kesehatan lingkungan (EKL) sehingga estimasi risiko kesehatan dapat terindikasi (ATSDR, 2005).

2.7. Rekayasa Teknik Pengendalian Sulfur Dioksida

2.7.1. Metode Sistem Injeksi Batu Kapur

Dalam mengurangi nilai emisi SO_2 ada beberapa cara dengan digunakannya batubara yang memiliki kualitas rendah sebagai bahan bakar utama dalam proses pembakaran. Beberapa cara diterapkan didalam industri antara lain injeksi batu kapur (*limestone*) pada *boiler stoker*, digunakannya teknologi *Flue Gas Desulphurization*, dicampurnya batubara kualitas tinggi dengan batubara kualitas rendah. Hasil akan diuji lebih dalam menggunakan metode terbaru yaitu percampuran batu kapur (*limestone*) dengan bahan bakar batubara kualitas rendah tipe *Subbituminous* dalam proses pembakaran terhadap penurunan emisi SO_2 sebelum hal tersebut diterapkan pada proses pembakaran batubara dengan menggunakan alat *stoker simulator* (Russel, 2007).

Pengendalian polusi dapat memperluas konsumen kapur dengan pesat. Kapur digunakan di cerobong pada *scrubber* untuk mengurangi emisi SO_2 dari pembangkit listrik. Sulfur dioksida bereaksi dengan kapur membentuk kalsium sulfit padat (Prof Shakhashiri, 2004).

Sebagai zat penyerap SO_2 (*sorbent*) dapat digunakan batu kapur (*limestone*) CaCO_3 . Sampai dengan temperatur 750°C kapur / *sorben* akan bereaksi dengan SO_2 dan O_2 membentuk CaSO_4 yang akan ditangkap oleh alat kontrol partikulat. Bila temperatur melebihi 1250°C maka akan terjadi sintering pada *sorben* yang akan menutup pori-porinya sehingga menyebabkan berkurangnya daya reaktif dari sorben tersebut. Pada temperatur di bawah 750°C reaksi secara praktis terhenti. (Cahyadi, 2006).

2.7.2. Metode Biofilter

Alternatif lain yang saat ini banyak dikembangkan adalah pengolahan secara biologis dengan metode biofilter. Menurut Chou dan Cheng (1997), biofilter adalah reaktor dengan material padat sebagai bahan pengisi dimana mikroba terjerat secara alami di dalamnya dengan membentuk biolayer (lapisan tipis). Metode ini memanfaatkan mikroorganisme untuk mereduksi gas SO₂. Metode biofilter baik untuk dikembangkan karena biaya investasi dan operasional rendah, stabil dalam waktu yang relatif lama dan memiliki daya penguraian/pengolahan yang tinggi jika dibandingkan dengan metode pengolahan yang dipakai saat ini (Adrew dan Noah, 1995).

Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompos, tanah dan serbuk gergaji. Bahan-bahan ini dipilih karena mudah didapat, tersedia dalam jumlah yang banyak dan mengandung unsur hara yang dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme.

Thiobacillus sp. adalah bakteri yang digunakan. Bakteri ini adalah salah satu bakteri yang dapat mendegradasi sulfur dioksida dengan baik. Bakteri ini diharapkan dapat tumbuh pada bahan pengisi kompos, tanah dan serbuk gergaji sehingga dapat mendegradasi sulfur dioksida. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

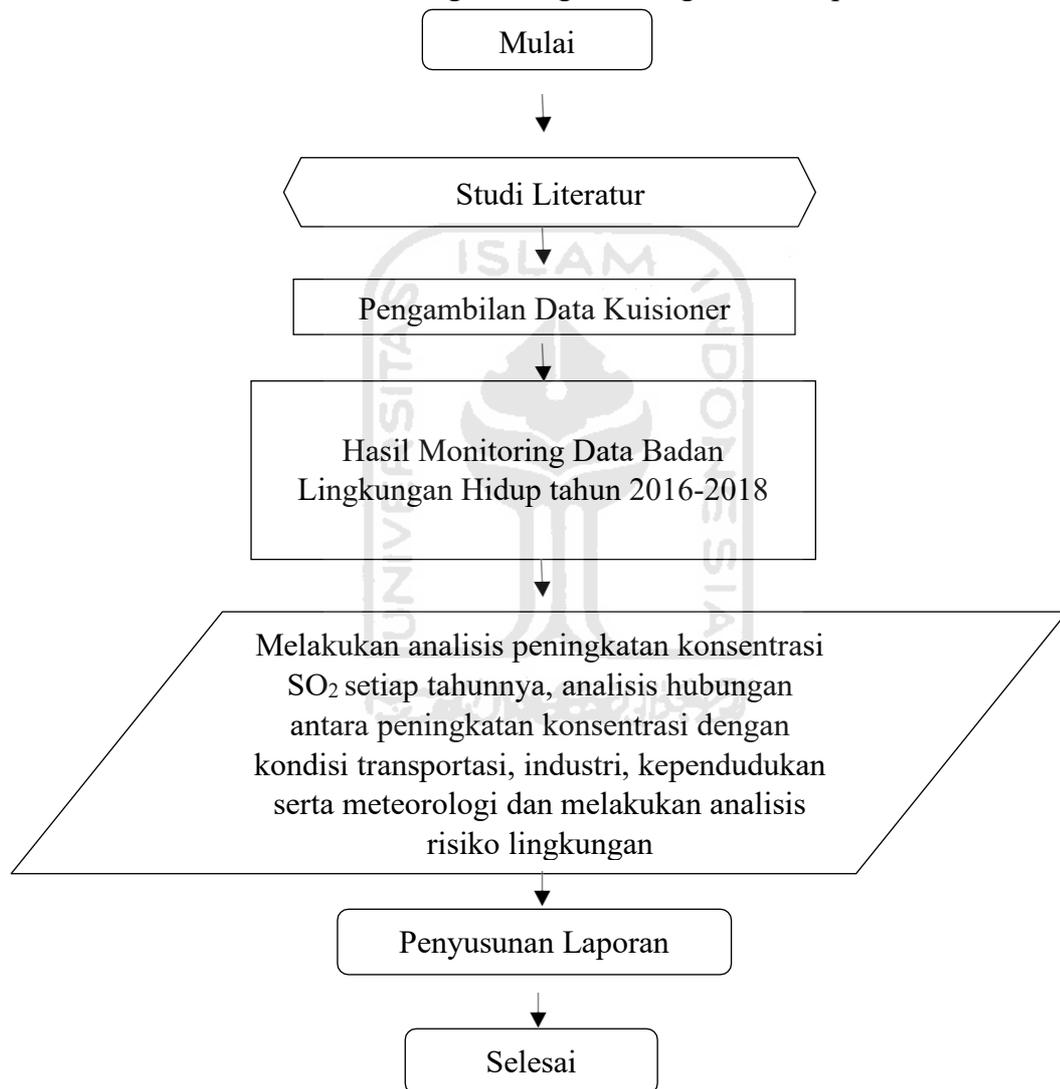
- a. Penyerapan SO₂ Fisik
- b. Inokulasi *Thiobacillus sp* pada Media Sulfat
- c. Penghilangan SO₂ Menggunakan *Thiobacillus sp* Pada Biofilter

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir seperti berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Lokasi dan Waktu Pemantauan

Lokasi penelitian berada di Kota Yogyakarta dengan 9 titik pengujian yang memiliki kepadatan jumlah kendaraan serta industri yang termasuk didalam wilayah *sampling* dalam program pemantauan SO₂ dengan metode pengambilan data kuisisioner. Dalam penentuan kadar konsentrasi SO₂ ini digunakan metode *Pararosanilin* dalam pengujiannya yang dilakukan pada tahun 2016 hingga 2018 sesuai data dari Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Berikut beberapa titik yang dilakukan pemantauan, yaitu:

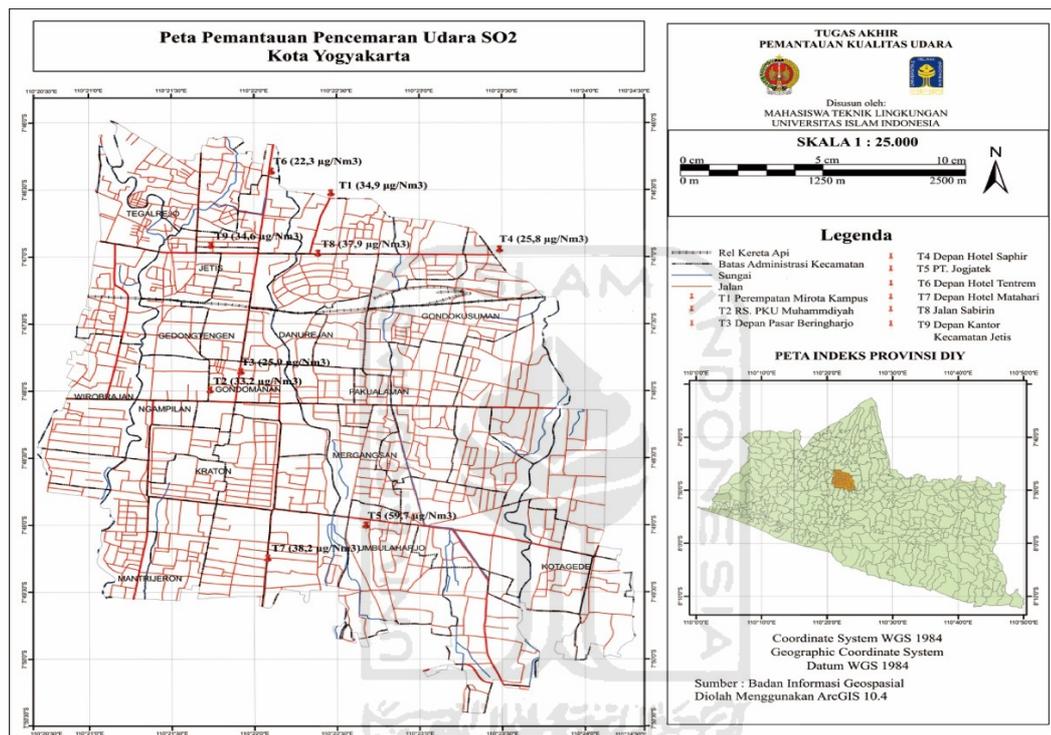
Tabel 3.1 Lokasi penelitian

No	Lokasi	Kode	Kordinat
1	Perempatan Mirota Kampus	T ₁	7°46'34.9"S 110°22'28.4"E
2	RS PKU Muhammadiyah	T ₂	7°48'03.1"S 110°21'44.2"E
3	Depan Pasar Bringharjo	T ₃	7°47'54.7"S 110°21'55.4"E
4	Depan Hotel Saphir	T ₄	7°46'59.9"S 110°23'29.2"E
5	PT Jogjatek, Umbulharjo	T ₅	7°49'03,6"S 110°22'40,6"E
6	Depan Hotel Tentrem	T ₆	7°46'25.1"S 110°22'06.5"E
7	Depan Hotel Matahari	T ₇	7°49'18.2"S 110°22'04.9"E
8	Jalan Sabirin Kota Baru	T ₈	7°47'02.0"S 110°22'23.4"E
9	Depan Kantor Kecamatan Jetis	T ₉	7°46'58.4"S 110°21'44.3"E

Dipilihnya 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta dikarenakan lokasi tersebut yang memiliki tingkat pencemaran dengan hasil yang tinggi serta memiliki data paling lengkap dari tahun 2016 hingga 2018. Sehingga mempermudah peneliti dalam mengolah data yang penelitian pencemaran oleh SO₂ di Kota Yogyakarta.

Yang terdiri dari 5 kecamatan lokasi pemantauan, yaitu Kecamatan Gondomanan, Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Jetis, Kecamatan Umbulharjo dan Kecamatan Mergangsang.

Pada penelitian ini berfokus kepada 9 titik pemantauan dengan sasaran pedagang untuk diambil data kuisioner sebagai perhitungan analisis risiko.



Gambar 3.1 Peta titik pemantauan so₂

Titik pada pemantauan ini tertera pada titik koordinat yang terdapat pada gambar 3.1 yang ditentukan melalui *ArcGIS* dikarenakan terbatasnya data lokasi titik penelitian. Pada titik pemantauan pertama adalah Perempatan Mirota Kampus Jl. Simanjuntak yang merupakan jalan padat lalu lintas di Kota Yogyakarta yang memiliki nilai konsentrasi SO₂ tinggi, Titik 2 RS PKU Muhammadiyah salah satu jalan padat kendaraan yang berada di Kota Yogyakarta dengan nilai konsentrasi SO₂ yang tinggi, Titik 3 Depan Pasar Bringharjo merupakan salah satu titik yang memiliki kandungan SO₂ tinggi di Kota Yogyakarta yang merupakan salah satu tempat kunjungan wisata, menyebabkan padatnya kendaraan yang melalui jalan

tersebut, Depan Titik 4 Hotel Saphir yang merupakan salah satu jalan terpadat di Kota Yogyakarta karena jalan utama untuk masuk dan keluar Kota Yogyakarta yang menyebabkan padatnya kendaraan yang melalui jalan tersebut, Titik 5 PT. Jogjatex merupakan salah satu jalan padat kendaraan serta memiliki Kawasan industri tekstil, Titik 6 Depan Hotel Tentrem merupakan salah satu jalan padat kendaraan yang memiliki nilai konsentrasi SO₂ tinggi di Kota Yogyakarta, selanjutnya Titik 7 Depan Hotel Matahari, Titik 8 Jalan Sabirin, Titik 9 Kantor Kecamatan Jetis yang merupakan jalan dengan padat jumlah kendaraan.

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Populasi

Populasi yang termasuk di dalam penelitian merupakan pedagang yang masih aktif melakukan kegiatan perdagangan. Populasi pedagang yang berada di wilayah titik pemantauan sebanyak 119 orang yang meliputi dari 9 titik pemantauan.

3.3.2 Sampel

Sampel di dalam penelitian ini merupakan pedagang yang aktif melakukan kegiatan jual-beli sebanyak 119 orang diambil dari 9 titik pemantauan SO₂ yang tersebar di Kota Yogyakarta serta memiliki kepadatan lalu lintas kendaraan dengan menggunakan metode pengambilan data kuisisioner sebagai data primer untuk dilakukan pengisian serta data sekunder berupa hasil konsentrasi SO₂ di 9 titik pemantauan yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 35 responden pedagang yang berdasarkan perhitungan slovin dengan nilai toleransi kesalahan sebesar 0,5%, sebagai berikut:

$$! = \frac{\#}{1 + \#(\cdot)^!}$$

$$! = \frac{119}{1 + (119 \cdot 0,05)^!} = 35$$

Keterangan:

n : Jumlah sampel

N : Besar/ jumlah populasi

e : Batas toleransi kesalahan (*error tolerance*)

3.4 Jenis Data Penelitian

Dalam penelitian ini akan digunakan 2 data yang diolah yaitu data primer yang berupa hasil dari kuisisioner serta data sekunder yang merupakan hasil penelitian konsentrasi SO₂. Dalam data primer akan digunakan agar didapatkannya data profil pedagang yang berisikan waktu pajanan, frekuensi pajanan, berat badan, umur dan kebiasaan merokok. Pada data sekunder didapatkan hasil dari konsentrasi SO₂ yang berasal dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2016 hingga 2018.

3.5 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan sampel secara langsung dengan metode kuisisioner serta penggunaan data nilai konsentrasi SO₂ yang diambil melalui pemantauan Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Prosedur pelaksanaan pemantauan SO₂ terdapat didalam Buku Standar Operasional Prosedur (SOP). Pelaksanaan pemantauan SO₂ di Udara Ambien dengan Metode Pasif yang mengacu pada SNI 19-7119.7-2017. Data sekunder yang diambil adalah data statistik kependudukan, kendaraan serta industri Kota Yogyakarta tahun 2016-2018, kondisi meteorologi Kota Yogyakarta yang didapatkan dari BMKG stasiun kelas 1 Yogyakarta pada. Tahun 2016-2018, dan data konsentrasi SO₂ dari hasil penelitian Badan Lingkungan Hidup DIY.

3.5.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara langsung dengan melakukan kuisisioner terhadap pedagang yang berjualan di 9 titik pemantauan, sedangkan nilai konsentrasi SO₂ berdasarkan data yang diambil dari BLH DIY. Sampel yang adalah konsentrasi SO₂ di udara ambien yang diambil oleh BLH DIY di beberapa lokasi di Kota

Yogyakarta sesuai acuan menggunakan SNI. 19.7119.9-2005. Sampling SO₂ menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis. Penempatan alat mengacu pada SNI.19.7119.9-2005 pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara roadside dilakukan sekurang-kurangnya 1 hingga 5 meter dari pinggir jalan dan pada ketinggian 1,5 m sampai dengan 3 m dari permukaan jalan.

Prinsip kerja dari *Spektrofotometer* dengan metode pararosanilin yaitu menyerap Gas Sulfur Dioksida (SO₂) dalam larutan penjerap tetrakloromercurat yang membentuk senyawa kompleks diklorosulfonatomercurat. Dengan menambahkan larutan pararosanilin dan formaldehida ke dalam senyawa diklorosulfonatomercurat maka akan membentuk senyawa pararosanilin metil sulfonat yang memiliki warna ungu. Konsentrasi larutan diukur dengan panjang gelombang sebesar 550 nm.

3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data yang akan dilakukan dengan cara melakukan perbandingan terhadap hasil penelitian (nilai *intake*) yang telah didapat dari pedagang dengan nilai konsentrasi referensi (*RfC*) yang aman bagi pajanan untuk efek non karsinogenik. Karena, pengolahan data ini berasal dari dua sumber yakni data primer dan data sekunder. Sehingga, pengolahan data dapat memberikan hasil yang signifikan. Lalu melakukan manajemen risiko untuk mengurangi nilai pajanan dan konsentrasi SO₂ di lokasi berdagang.

3.7 Perhitungan Risiko Non-Karsinogenik

Resiko non karsinogenik dapat dihitung dengan mengetahui jumlah asupan (*intake*) dari *risk agent* tersebut dengan menggunakan rumus, sehingga diketahui seberapa besar resiko yang dapat terjadi bagi para pedagang (ATSDR, 2005; Louvar dan Louvar, 1998).

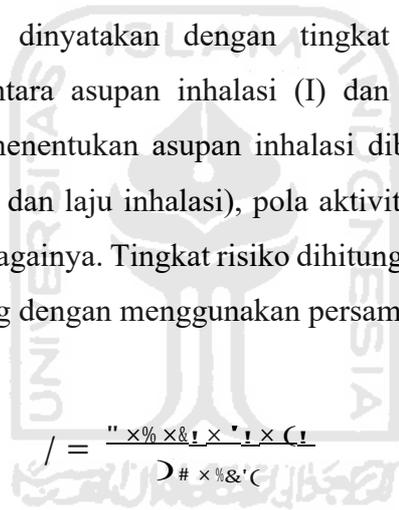
Setelah nilai *intake* diketahui selanjutnya adalah mengetahui nilai tingkat risiko kesehatan (*Risk Quotient/RQ*) pada para pedagang, maka dilakukan perhitungan *RQ*. Nilai $RQ \geq 1$ menunjukkan bahwa *risk agent* telah di atas angka normal, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan Non karsinogenik pada para

pedagang. Nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan bahwa pajanan *risk agent* berada di bawah batas yang diperbolehkan sehingga pedagang yang terpajan masih terhitung aman dari risiko kesehatan Non karsinogenik terlepas dari pedagang memiliki penyakit keturunan atau tidak.

3.8 Analisis Risiko

Penelitian ini dilakukan dengan studi analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang digunakan untuk memperkirakan risiko yang diakibatkan oleh pajanan SO_2 di lingkungan tersebut. Pada studi ini akan memproyeksikan efek kesehatan dalam 30 tahun kedepan di wilayah Kota Yogyakarta.

Karakteristik risiko dinyatakan dengan tingkat risiko (*Risk Quotient*) merupakan pembagian antara asupan inhalasi (I) dan *reference concentration* (RfC). Selain itu untuk menentukan asupan inhalasi dibutuhkan juga parameter antropometri (berat badan dan laju inhalasi), pola aktivitas (waktu, frekuensi dan durasi pajanan) dan sebagainya. Tingkat risiko dihitung dengan persamaan 1 dan asupan inhalasi (I) dihitung dengan menggunakan persamaan 2 (Louvar, 1998).



$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t \times W_b}{1000} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- I : Asupan (*intake*), mg/kg/hari
- C : Konsentrasi *risk agent*, mg/m³ untuk medium udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan.
- R : Laju asupan atau konsumsi, M3/jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan
- t_E : Waktu pajanan
- f_E : Frekuensi pajanan
- D_t : Durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai *default residensial*)
- W_b : Berat badan

t_{avg} : Periode waktu rata-rata (Dt x 365 hari/tahun untuk zat non karsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Kesimpulan: $R > 1$ = berisiko terhadap kesehatan; $R < 1$ = tidak berisiko terhadap Kesehatan

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ, tingkat risiko) untuk efek-efek non karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek-efek karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan non karsinogenik (*Intake*) risk agent dengan RfD atau RfC-nya (ATSDR, 2005).

$$RQ = \frac{Intake}{RfD \text{ or } RfC} \quad (3.2)$$

$$RfD/RfC = \frac{Intake}{RfD \text{ or } RfC} \quad (3.3)$$

Baik *Intake* maupun RfD atau RfC harus spesifik untuk bentuk spesi kimia risk agent dan jalur pajanannya. Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ > 1$. Jika $RQ \leq 1$, risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1 (Rahman, 2007).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

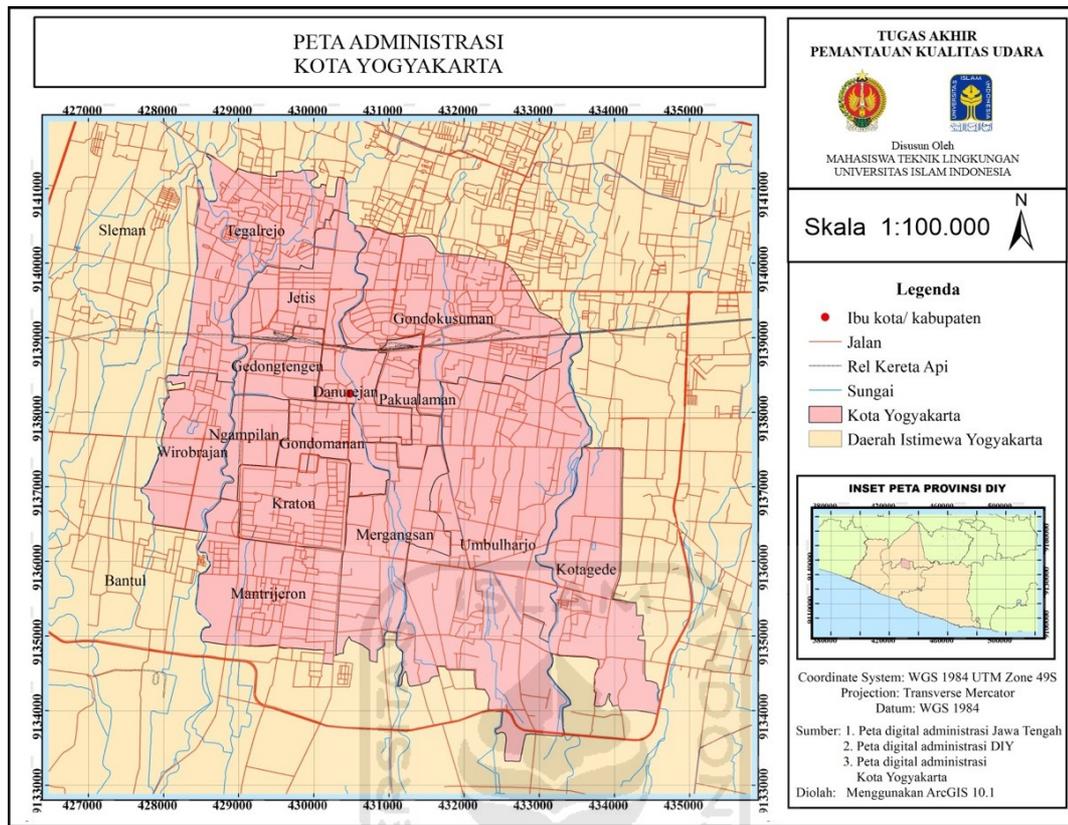
4.1 Gambaran Umum Penelitian

Dalam penelitian ini akan digunakan 2 data yang diolah yaitu data primer yang berupa hasil dari kuisioner serta data sekunder yang merupakan hasil penelitian konsentrasi SO₂. Dalam data primer akan digunakan agar didapatkannya data profil pedagang yang berisikan waktu pajanan, frekuensi pajanan, berat badan, umur dan kebiasaan merokok. Pada data sekunder didapatkan hasil dari konsentrasi SO₂ yang berasal dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2016 hingga 2018 dengan melihat konsentrasi SO₂ yang memenuhi baku mutu udara ambien sesuai PP No. 41 tahun 1999.

4.1.1 Titik Lokasi Pemantauan

Titik pemantauan berada di Kota Yogyakarta dengan 9 titik pemantauan yang memiliki kepadatan jumlah kendaraan serta penduduk pada wilayah *sampling* dalam program pemantauan SO₂ dengan metode pasif yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018. Berikut beberapa titik yang dilakukan pengujian, yaitu:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Perempatan Mirota Kampus | (Kecamatan Gondokusuman) |
| 2. Depan RS. PKU Muhammadiyah | (Kecamatan Gondomanan) |
| 3. Depas Pasar Bringharjo | (Kecamatan Gondomanan) |
| 4. Depan Hotel Saphir | (Kecamatan Gondokusuman) |
| 5. Sebelah utara PT. Jogjatex | (Kecamatan Umbulharjo) |
| 6. Depan Kantor Hotel Tentrem | (Kecamatan Jetis) |
| 7. Depan Hotel Matahari, Jl Parangtritis | (Kecamatan Mergangsan) |
| 8. Jalan Sabirin Kota Baru | (Kecamatan Gondokusuman) |
| 9. Depan Kantor Kecamatan Jetis | (Kecamatan Jetis) |



Gambar 4.1 Peta titik pemantauan Kota Yogyakarta

Sumber: *inageoportal* 2018

Dalam melaksanakan pemantauan kualitas udara ambien ini, wilayah pemantauan terdiri dari 9 titik yang berada di Kota Yogyakarta. Pada setiap titik dipilih lokasi yang terdiri dari lokasi transportasi, industri, pemukiman, dan komersial. Setelah dilakukan pengukuran dan analisis sampel di Laboratorium Udara maka didapatkan hasil nilai konsentrasi SO_2 per titik pemantauan.

Dalam melakukan penelitian digunakan juga studi analisis risiko yang bertujuan menilai risiko kesehatan pada manusia yang terpajan oleh zat-zat toksik (Rahman dkk, 2004). Dilakukan juga perkiraan dari risiko SO_2 secara numerik apakah konsentrasi SO_2 di udara ambien mempengaruhi dalam kesehatan.

4.1.2 Penduduk

Penduduk Yogyakarta merupakan semua orang yang berdomilisi di wilayah Kota Yogyakarta yang berada sekurang-kurangnya 6 bulan atau mereka yang memiliki tujuan untuk menetap. Berikut merupakan jumlah penduduk di wilayah Kota Yogyakarta:

Tabel 4.1 Jumlah penduduk Kota Yogyakarta tahun 2016-2018 (jiwa/km²)

No	Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Laki-laki (Jiwa)	Perempuan (Jiwa)
1	2016	417.744	203.845	213.899
2	2017	422.732	206.421	216.311
3	2018	427.498	208.792	218.706

Sumber: Badan pusat statistika Kota Yogyakarta 2016-2018

4.1.3 Transportasi

Transportasi selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya. Adanya peningkatan setiap tahun merupakan indikator bahwa tingginya kebutuhan transportasi di kehidupan masyarakat. Peningkatan jumlah kendaraan di gambarkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.2 Jumlah kendaraan bermotor Kota Yogyakarta

No	Jenis Kendaraan	2016 (unit)	2017 (unit)	2018 (unit)
1	Mobil Penumpang	50562	54346	60780
2	Bus/Microbus	1056	1147	1230
3	Mobil Barang	10266	10623	11226
4	Kendaraan Khusus/truk	656	701	768

5	Sepeda Motor	303403	309373	341986
Total		365943	376190	415990

Sumber: Badan pusat statistik Kota Yogyakarta tahun 2016-2018

Menurut hasil data pada tabel 4.2 terjadi peningkatan jumlah kendaraan yang cukup signifikan pada jenis kendaraan mobil penumpang dan sepeda motor setiap tahunnya di Kota Yogyakarta.

4.1.4 Beban Emisi Kendaraan Kota Yogyakarta

Jumlah kendaraan yang dilakukan penelitian oleh Badan Pusat Statistika Kota Yogyakarta mengalami kenaikan dari tahun 2016 hingga 2018, akan mengakibatkan nilai dari beban emisi kendaraan meningkat. Sedangkan untuk beban emisi yang digunakan merupakan emisi yang dilakukan sampling berada di pinggir jalan raya padat kendaraan.

Perhitungan dalam menentukan beban emisi digunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \text{Volume Kendaraan} \times \text{VKT} \times \text{FE} \times 10^{-6}$$

Dimana:

- E = Beban Emisi Kendaraan (ton/tahun)
 Vol. Kendaraan = Jumlah Kendaraan (Kendaraan/tahun)
 VKT = Total Panjang Perjalanan Kendaraan (km)
 Fe = Faktor Emisi (g/km/kendaraan)

Perhitungan:

- E (mobil) = Volume Kendaraan x VKT x FE x 10⁻⁶
 E (mobil) = 60828 x 266,22 x 0,12 x 10⁻⁶
 E (mobil) = 1,9 ton/tahun

Tabel 4.3 Beban emisi kendaraan bermotor Kota Yogyakarta

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan			Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2016)	Beban Emisi (E) (2017)	Beban Emisi (E) (2018)
	2016 (Unit)	2017 (unit)	2018 (unit)				
Mobil (Campur)	60828	64969	72006	0,026	0,4	0,4	0,5
Bus/Microbus	1056	1147	1230	0,93	0,261	0,284	0,305
Kendaraan Khusus/Truk	656	701	768	0,82	0,143	0,153	0,2
Sepeda Motor	303403	309373	341986	0,008	0,6	0,7	0,7
					1,5	1,5	1,7

Sumber: Data sekunder, 2018

Berdasarkan data beban emisi Kota Yogyakarta setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan. Berikut merupakan beban emisi dari titik pemantauan di Kota Yogyakarta:

Tabel 4.4 Beban emisi kendaraan di Perempatan Mirota Kampus 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,3
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,2
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,1
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,5
Total				1,1

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.5 Beban emisi kendaraan di Depan Hotel Tentrem 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,2
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,1
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,2
Total				0,5

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.6 Beban emisi kendaraan di Depan PKU Muhammadiyah 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,1
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,0
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,2
Total				0,5

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.7 Beban emisi kendaraan Depan Pasar Bringharjo 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,2
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,1
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,2
Total				0,6

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.8 Beban emisi kendaraan Depan Hotel Saphir 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,2
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,1
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,3
Total				0,7

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.9 Beban emisi kendaraan Jalan Sabirin Kota Baru 2018

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,6
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,4
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,2
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,9
Total				2,1

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.10 Beban emisi kendaraan Depan Kantor Kecamatan Jetis

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,2
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,1
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,3
Total				0,7

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.11 Beban emisi kendaraan Depan Hotel Matahari

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,1
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,1
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,0
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,2
Total				0,4

Sumber: Data sekunder, 2018

Tabel 4.12 Beban emisi kendaraan Depan PT. Jogjatex

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Faktor Emisi (FE)	Beban Emisi (E) (2018)
		(Unit)		
1	Mobil (Campur)	60828	0,026	0,1
2	Bus/Microbus	1056	0,93	0,0
3	Kendaraan Khusus/Truk	656	0,82	0,0
4	Sepeda Motor	303403	0,008	0,1
Total				0,3

Sumber: Data sekunder, 2018

4.1.5 Industri

Sektor industri merupakan salah satu sektor dalam pembangunan ekonomi nasional yang terus mengalami perkembangan yang signifikan pada tahun 2016 hingga 2018 pada kawasan Kota Yogyakarta. Dengan adanya sektor industri

berperan penting dalam penciptaan lapangan kerja baru. Sebagian besar yang berada di Kota Yogyakarta merupakan industri tekstil yang mencakup pasar nasional. Berikut tabel jumlah sektor industri:

Tabel 4.13 Data jumlah industri Kota Yogyakarta

No	Tahun	Jumlah Industri (unit)
1	2016	154
2	2017	180
3	2018	186

Sumber: Data sekunder badan statistika Kota Yogyakarta 2016-2018

4.1.6 Meteorologi

Kondisi meteorologi merupakan gambaran kondisi lingkungan yang berada di Kota Yogyakarta meliputi data suhu rata-rata, kelembapan udara, tekanan udara dan kecepatan angin. Berikut merupakan kondisi meteorologi Kota Yogyakarta mulai 2016 hingga 2018:

Tabel 4.14 Data meteorologi Kota Yogyakarta

No	Tahun	Suhu rata-rata	Curah hujan (hh/hd)	Kelembapan Udara	Tekanan Udara	Kecepatan Angin
1	2016	26,7	19,7	87,2	1014,0	6,6
2	2017	26,1	14,8	85,3	995,7	0,9
3	2018	26	12,1	84	995,9	1,0
Jumlah		78,8	46,5	256,5	3005,6	8,5

Sumber: Data sekunder BMKG, stasiun kelas 1 Yogyakarta tahun 2016-2018

42 Kondisi Kualitas Udara Ambien Untuk Parameter SO₂

Sumber pencemar yang menghasilkan SO₂ sebagian besar bersumber dari kegiatan *antropogenik*. Sumber pencemar akibat kegiatan *antropogenik* dibagi menjadi 3 pencemaran akibat aktivitas, yaitu transportasi, industri, permukiman dan persampahan (Soedomo, 2001). Meningkat dengan banyaknya pendatang dari wisatawan, mahasiswa kepadatan penduduk Kota Yogyakarta semakin meningkat. Meningkatnya kepadatan penduduk ini menyebabkan kemacetan di Kota Yogyakarta. Munawar (2013) mengatakan bahwa hampir seluruh ruas jalan utama perkotaan Yogyakarta saat ini tingkat kemacetan tiap harinya sekitar 7%. Diperkirakan tingkat kemacetan ruas jalan akan meningkat 45% pada tahun 2023 (Firdaus, 2013).

Pengambilan lokasi titik pemantauan pada kondisi lingkungan yang memiliki tingkat kepadatan kendaraan yang cukup tinggi disebabkan merupakan jalan protokol pusat mobilitas masyarakat. Hasil konsentrasi SO₂ merupakan hasil pemantauan dari tahun 2016 hingga 2018 berada pada 9 titik pemantauan yang berada di Kota Yogyakarta dapat dibandingkan dengan Baku mutu udara ambien yaitu 900 µg/Nm³ untuk pengukuran selama 1 jam yang terdapat didalam PP No. 41 tahun 1999.

Ditunjukkan hasil dari nilai konsentrasi SO₂ di titik pemantauan selama tahun 2016 hingga 2018 masih berada dibawah baku mutu udara ambien yang sebesar 900 µg/Nm³ selama 1 jam pengujian. Pada tahun 2017 memiliki peningkatan nilai rata-rata paling tinggi. Dalam mempermudah melihat nilai persebaran data per titik pemantauan, maka dilakukan analisis statistik frekuensi yang digambarkan pada tabel 4.15:

Tabel 4.15 Konsentrasi so₂ (µg/Nm³) Tahun 2016-2018

No	Lokasi	Parameter SO ₂ Berdasarkan Tahun (µg/Nm ³)		
		2016	2017	2018
1	T ₁	27,7	35,2	34,9
2	T ₂	23,7	52,3	33,2
3	T ₃	29,3	52,9	25,9
4	T ₄	35,3	30,4	25,8
5	T ₅	30	27,7	59,7
6	T ₆	32,8	37,2	22,3
7	T ₇	43,4	33,1	38,2
8	T ₈	35,4	35,9	37,9
9	T ₉	29,6	27,5	34,6
Jumlah		287,3	332,2	312,5
Rata-rata		31,9	36,9	34,7

Sumber: Data sekunder dinas lingkungan hidup Kota Yogyakarta 2016-2018

Tabel 4.16 Distribusi konsentrasi so₂ di udara ambien tahun 2016-2018

No	Lokasi	Jumlah	Mean	Median	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
1	T ₁	3	32,6	34,1	4,25	27,7	35,2
2	T ₂	2	36,4	31,3	14,57	23,7	52,3
3	T ₃	2	36	29,8	14,71	25,9	52,9
4	T ₄	3	30,5	30,2	4,78	25,8	35,3
5	T ₅	1	39,1	31,4	17,83	27,7	59,7
6	T ₆	2	30,8	35,2	7,65	22,3	37,2
7	T ₇	1	38,3	36,9	5,14	33,1	43,4
8	T ₈	3	36,4	35	1,33	35,4	37,9
9	T ₉	2	30,6	29,6	3,64	27,5	34,6

Sumber: Data sekunder dinas lingkungan hidup Kota Yogyakarta 2016-2018

Berdasarkan hasil tabel 4.15 serta 4.16 ditunjukkan hasil dari nilai maksimum tertinggi, nilai rata-rata, nilai tengah dan nilai minimum terendah di setiap lokasi pemantauan. Dari data hasil pemantauan distribusi konsentrasi SO₂ kawasan yang memiliki nilai rata-rata paling tinggi adalah Sebelah utara PT. Jogjatex dengan nilai sebesar 39,1 µg/Nm³ dalam rentan waktu pengujian 2016 hingga 2018. Sedangkan untuk nilai maksimum tertinggi berada pada Kawasan Sebelah utara PT. Jogjatex dengan nilai sebesar 59,7 µg/Nm³ dalam rentan waktu pengujian 2016 hingga 2018. Dan untuk nilai terendah terdapat pada kawasan Depan Hotel Tentrem.

Tingginya hasil pengujian pada kawasan utara PT. Jogjatex dapat disebabkan padatnya lalu lintas yang berada di Jalan Mentri Supeno yang menyebabkan hasil pengujian memiliki nilai rata-rata yang cukup tinggi, terdapat hambatan lalu lintas merupakan hal yang sangat berpengaruh bagi kepadatan kendaraan khususnya di Kecamatan Umbulharjo. Hambatan yang terdapat di Kecamatan Umbulharjo

didominasi oleh pertokoan maupun perkantoran, adanya hambatan samping tersebut yang menjadikan aktivitas di badan jalan sangat tinggi karena merupakan pusat aktivitas kendaraan bermotor masyarakat (Rianty, 2015). Sedangkan untuk nilai rata-rata terendah berada di Depan Kantor Kecamatan Jetis dengan nilai sebesar $30,6 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dalam rentan waktu pengujian 2016 hingga 2018.

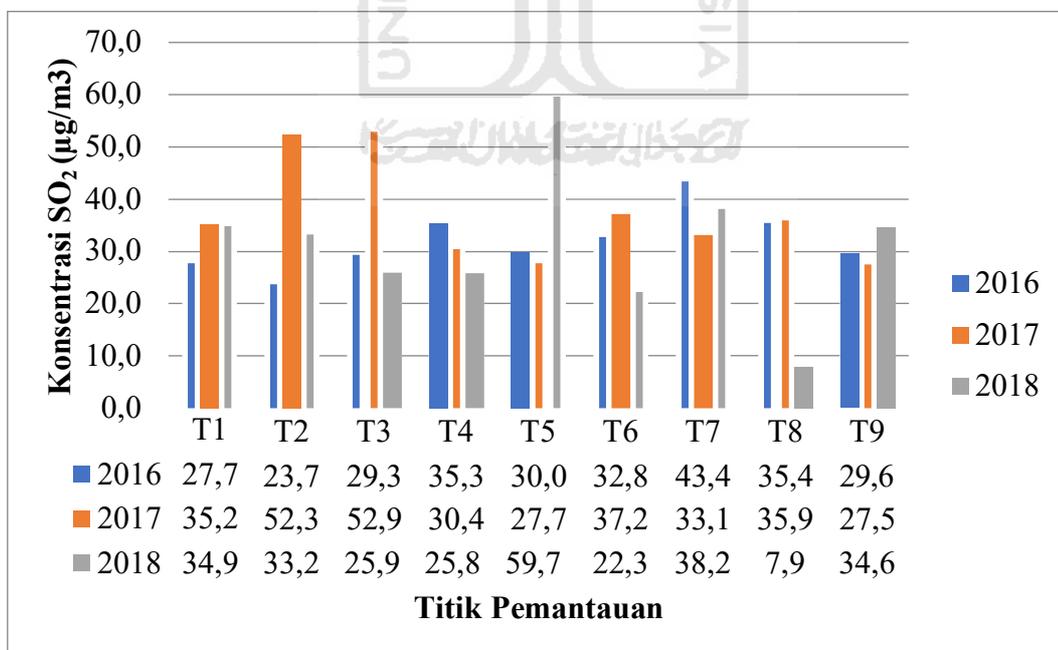
Pada tahun 2016 hingga 2017 terjadi lonjakan kadar SO_2 cukup tinggi yang berada di titik pemantauan Depan RS PKU Muhammadiyah dan Depan Pasar Bringharjo yang terjadi bertepatan dengan waktu renovasi kawasan Malioboro yang menyebabkan banyaknya kendaraan proyek serta proses dalam renovasi yang menyebabkan kadar dari SO_2 sendiri meningkat cukup tinggi dan juga terjadi peningkatan jumlah kendaraan sebesar 211 persen menjadi 222.915 unit untuk roda dua dan 344 persen menjadi 56.647 unit untuk menjadi roda empat pada tahun 2017 (Made, 2018).

Sementara, pada PKL yang berada di sisi barat Jl. Malioboro dilakukan penataan pada tahun 2018. Lokasi bekas Gedung bioskop Indra akan dimanfaatkan sebagai lokasi PKL berjualan. Sedangkan trotoar yang berada di sisi barat Jl. Malioboro yang sebelumnya digunakan untuk lokasi parkir, akan dijadikan Kawasan pedestrian, becak serta andong yang biasa berada di kawasan tersebut menjadi satu di jalan utama.

Dalam perkembangannya sekarang Indonesia menerapkan standar Euro 4 untuk kendaraan bermotor yang berlaku mulai 2018, sehingga walaupun jumlah kendaraan meningkat namun pada tahun 2018 tidak terlalu mengalami peningkatan kadar SO_2 dikarenakan adanya peningkatan regulasi dari emisi untuk kendaraan bermotor baru. Sedangkan pada tahun 2016 dan 2017 standar emisi Indonesia masih menggunakan Euro 2 sebagai standar regulasi untuk kendaraan bermotor barunya. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bahwa perbandingan dari Euro 2 dan Euro 4 setidaknya menurunkan 55 persen kandungan CO dalam udara, 68 persen kandungan Nox dan Sox dan 60 persen HC dan nilai

ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor dari Euro 2 ke Euro 4 (Permen LHK 20/2017).

Nilai konsentrasi SO₂ pada titik pemantauan Depan Pasar Bringharjo pada tahun 2016 menuju 2017 mengalami peningkatan sebesar 28,6 µg/Nm³ dan pada tahun 2017 menuju 2018 mengalami penurunan sebesar 19,1 µg/Nm³. Dikarenakan pada tahun 2017 sedang dilakukan pekerjaan revitalisasi jalur pedestrian pada kawasan Jalan Margo Mulyo yang menyebabkan titik kemacetan di jalan utama karena mengalami penyempitan jalan yang disebabkan kendaraan proyek yang berada di kawasan tersebut. Disaat terjadi kemacetan, dapat dirasakan saat ambang 0,3 ppm pada kadar 0,25 ppm yang tercampur dalam 750 mg/m³ merokok selama 24 jam dapat meningkatkan risiko kematian (L. Johanes, 2015). Kendaraan proyek yang sedang melakukan pekerjaan juga menyumbang akan meningkatnya konsentrasi pada tahun 2017. Sedangkan pada tahun 2018 kawasan revitalisasi sudah selesai dilakukan. Berikut gambar 4.2 yang menjelaskan tingkat pencemaran pada tahun 2016 hingga 2018:

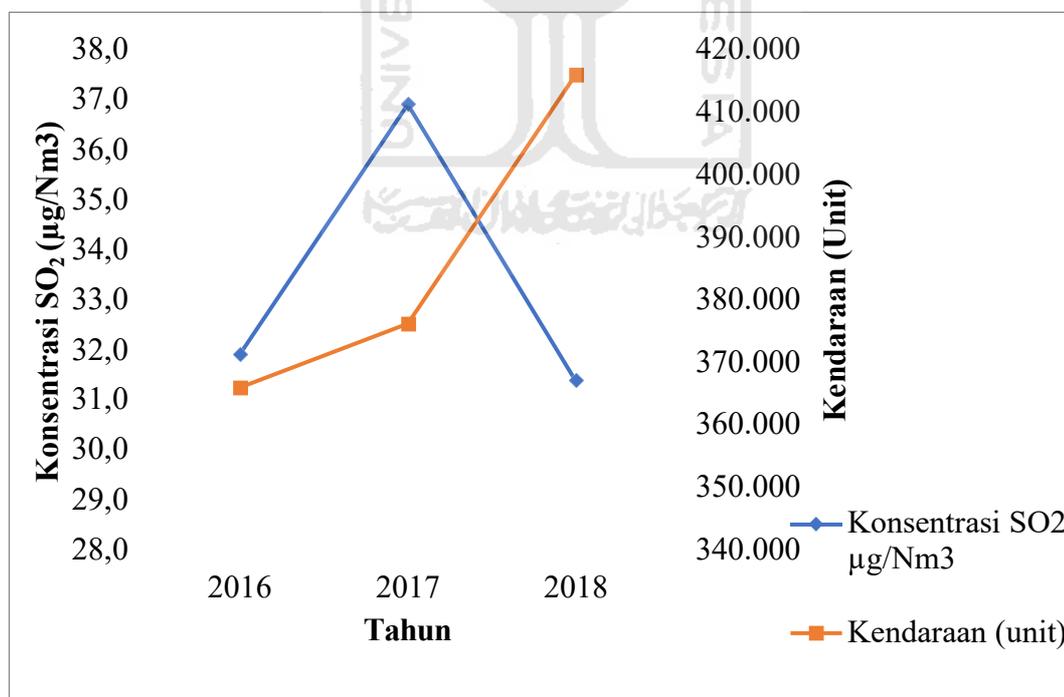


Gambar 4.2 Konsentrasi so₂ Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018

43 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ dan Jumlah Kendaraan Bermotor

Agar dapat diketahui besarnya pengaruh yang berasal dari jumlah kendaraan bermotor terhadap tingginya nilai rata-rata konsentrasi dari parameter SO₂ di setiap lokasi titik pemantauan, maka hasil dari nilai rata-rata dari konsentrasi SO₂ dengan jumlah kendaraan bermotor akan ditampilkan di dalam tabel 4.7 hingga tabel 4.9. Serta data dari keduanya akan dibandingkan menggunakan grafik perbandingan dari hasil jumlah kendaraan dengan nilai konsentrasi. Data dari jumlah kendaraan merupakan data sekunder pada tahun 2016 hingga 2018 yang bersumber dari pengujian yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

Sektor transportasi memberikan kontribusi paling besar terhadap pencemaran udara dikarenakan hasil dari pembakaran kendaraan bermotor. Pencemaran udara yang terjadi di perkotaan 70% diakibatkan oleh kendaraan bermotor (Kusminingrum dan Gunawan, 2008).



Gambar 4.3 Rata-rata konsentrasi so₂ transportasi dengan jumlah kendaraan Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018

Berdasarkan gambar 4.3 Rata-rata Konsentrasi SO₂ Transportasi dengan Jumlah Kendaraan Kota Yogyakarta pada tahun 2016 dan 2017 terjadi peningkatan konsentrasi SO₂ sebesar 4,98 µg/Nm³ dengan penambahan jumlah kendaraan sebesar 10.247 unit penelitian dilakukan di 9 titik pemantauan jalan raya padat kendaraan. Sedangkan pada tahun 2017 dan 2018 terjadi penurunan angka konsentrasi SO₂ sebesar 2,18 µg/Nm³ dengan penambahan jumlah kendaraan sebesar 39.800 unit.

Dalam perkembangannya sekarang Indonesia menerapkan standar Euro 4 untuk kendaraan bermotor yang berlaku mulai 2018, sehingga walaupun jumlah kendaraan meningkat namun pada tahun 2018 tidak terlalu mengalami peningkatan kadar SO₂ dikarenakan adanya peningkatan regulasi dari emisi untuk kendaraan bermotor baru. Sedangkan pada tahun 2016 dan 2017 standar emisi Indonesia masih menggunakan Euro 2 sebagai standar regulasi untuk kendaraan bermotor barunya.

Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bahwa perbandingan dari Euro 2 dan Euro 4 setidaknya menurunkan 55 persen kandungan CO dalam udara, 68 persen kandungan Nox dan Sox dan 60 persen HC dan nilai ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor dari Euro 2 ke Euro 4 (Permen LHK 20/2017).

4.4 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ dan Jumlah Industri

Besarnya pengaruh dari jumlah industri yang berada di kawasan Kota Yogyakarta terhadap tingginya nilai rata-rata konsentrasi SO₂ akan dijelaskan dalam tabel. Dan kemudian data rata-rata konsentrasi SO₂ dengan jumlah industri akan dilakukan perbandingan menggunakan grafik. Data yang dijabarkan bersumber dari Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

Variabel kontrol umum anda yang kedua adalah pangsa industri dalam nilai tambah total. Industri - pertambangan, manufaktur, konstruksi, listrik, air dan gas - merupakan sumber utama emisi CO₂ dan SO₂. (e.g. see Kaivo-oja and Luukkanen, 2012; Stern, 2012). Sumber SO₂ industri adalah penggunaan aneka ragam bahan bakar fosil dalam jumlah relatif besar termasuk batubara. Konsentrasi SO₂

disumbang pula oleh sektor transportasi terutama penggunaan bahan bakar solar pada seluruh kendaraan berat. Untuk dispersi SO₂, meski Jawa masih dominan, namun sebaran nilainya lebih merata di kawasan Sumatra, Kalimantan dan Sulawesi oleh adanya industri industri besar (Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan, 2013).

Gambar 4.4 Rata-rata konsentrasi so₂ lokasi transportasi dengan jumlah industri Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018

Dari tabel yang dipaparkan, terdapat pola kenaikan konsentrasi SO₂ yang signifikan pada tahun 2016 ke 2017 sebesar 5 µg/Nm³. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas serta kontribusi industri yang tinggi berpengaruh terhadap tingginya kenaikan konsentrasi SO₂. Hasil penelitian sama dengan ungkapan *Sivacoumare dkk.* (2000) yang menunjukkan peningkatan level pencemaran udara di India terjadi akibat padatnya aktivitas industri. Hal ini dapat terjadi akibat banyaknya emisi yang dihasilkan dari proses penggunaan bahan bakar di industri tersebut. Sedangkan pada 2017 ke 2018 konsentrasi SO₂ mengalami penurunan ini bisa disebabkan dalam

proses industri dan banyaknya penggunaan bahan pada pengolahan berjalan berbeda. Senada dengan Soedomo (2011), bahwa pencemaran oleh emisi industri bergantung terhadap jenis dan proses dari industri tersebut serta energi terbarukan dalam proses produksi.

45 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ dan Kependudukan

Agar diketahui besarnya pengaruh dari jumlah rumah tangga dengan tinggi nilai rata-rata pada konsentrasi SO₂ di setiap titik pemantauan yang tersebar di Kota Yogyakarta, sehingga nilai rata-rata konsentrasi SO₂ dan jumlah rumah tangga di setiap titik pemantauan akan dijelaskan pada tabel. Kemudian kedua data tersebut akan dibandingkan dengan menggunakan grafik. Jumlah rumah tangga yang dijelaskan merupakan jumlah rumah tangga tahun 2016 hingga 2018 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik.

Kombinasi dari persaingan yang meningkat dan limbah pengetahuan berarti bahwa perusahaan pribumi mengikutinya dengan meningkatkan efisiensi energi dari proses dan / atau teknologi produk mereka. Temuan kami bahwa saat masuk tidak mempengaruhi efisiensi emisi SO₂ domestik, tentu saja, menimbulkan pertanyaan tentang sejauh mana peran domestik secara positif mempengaruhi polutan lainnya (IPCC, 2017).

Gambar 4.5 Rata-rata konsentrasi so_2 dengan jumlah penduduk Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018

Pertumbuhan masyarakat Kota Yogyakarta menjadikan banyak permukiman yang didirikan agar mencukupi kebutuhan dari masyarakat. Keberadaan suatu permukiman selayaknya berada pada jarak aman dari suatu daerah industri ataupun bebas dari polusi (Hong et al., 1998). Namun dengan padatnya jumlah penduduk menyebabkan permukiman sebagai salah satu sumber dari pencemar. Aktivitas yang dilakukan suatu rumah tangga yang diakibatkan oleh kegiatan yang dihasilkan menyebabkan salah satu alasan permukiman menjadi sumber pencemar (Soedomo, 2011).

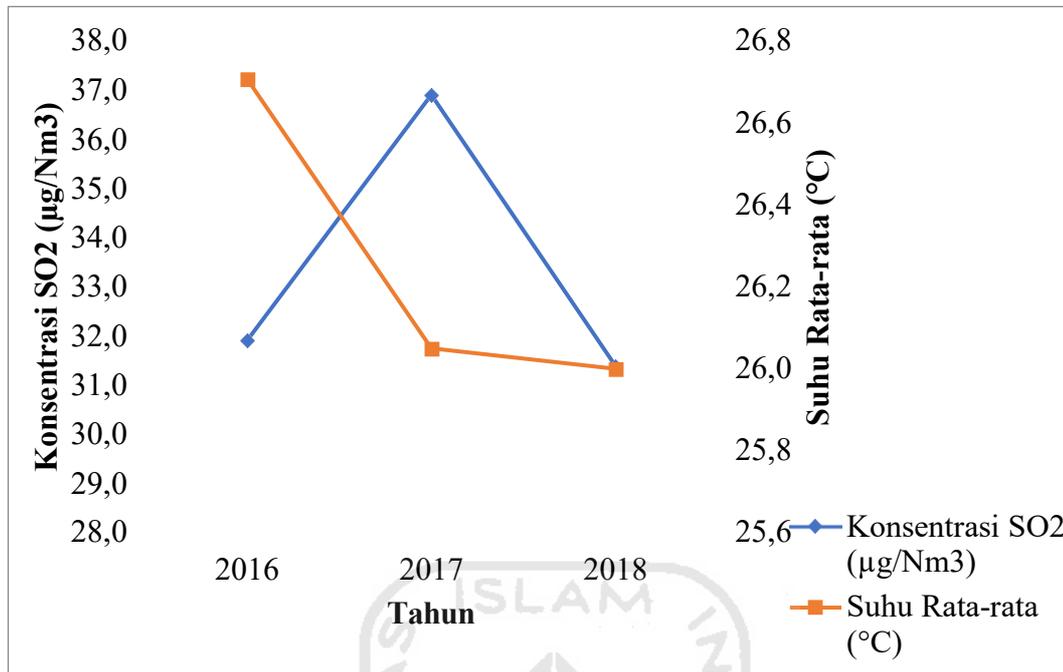
Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan konsentrasi SO_2 yang cukup tinggi sebesar pada tahun 2016 ke 2017 dan peningkatan jumlah penduduk sebesar 4998 orang dan pada tahun 2017 menuju 2018 mengalami peningkatan kembali sebesar 4766 orang.

4.6 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ dan Meteorologi

Konsentrasi SO₂ yang diamati diregresikan menggunakan variabel kelembaban, suhu, tekanan atmosfer dan kecepatan angin. Dalam contoh pertama pemodelan regresi (Chen et al., 2015). Jumlah dan besarnya konsentrasi SO₂ dapat dipengaruhi banyak faktor termasuk meteorologi. Tidak hanya banyak dari jumlah kendaraan, jumlah industri, dan banyaknya dari jumlah penduduk saja yang dapat mempengaruhi nilai dari konsentrasi SO₂. Hal tersebut disebabkan karena emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor, kegiatan pabrik maupun kegiatan rumah tangga akan diemisikan di atmosfer dan terjadi proses dispersi yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh adanya faktor meteorologi tersebut untuk terbentuk.

a) Suhu Udara

Suhu udara memiliki peranan penting dalam menentukan banyaknya partikulat di udara ambien. Menurut Cahyadi dkk, (2016) Suhu udara yang tinggi dapat mengakibatkan keadaan lingkungan menjadi panas dan kering sehingga polutan akan mudah terangkat dan melayang di udara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rahamayana (2014), menyatakan semakin tingginya suhu udara disuatu tempat penelitian maka konsentrasi pencemaran di udara akan semakin rendah. Peningkatan suhu ini yang menyebabkan kerapatan densitas dipermukaan bumi lebih rendah jika dibandingkan dengan udara yang berada di atasnya yang menyebabkan terjadinya konveksi ke atas sehingga konsentrasi polutan menjadi lebih rendah dan begitu juga sebaliknya. Seperti yang terlampir dalam tabel 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Suhu bulanan rata-rata tahun 2016-2018

Sumber: Data Sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta 2016-2018

Dari data pada Grafik 4.6 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 untuk rata-rata suhu terendah adalah pada tahun 2018 yang diperoleh sebesar 26°C serta suhu paling tinggi didapatkan pada tahun 2016 sebesar 26,7°C. Sedangkan untuk hasil bulanan tertinggi didapatkan sebesar 26,9 °C pada bulan April dan Oktober pada rentan tahun 2016 hingga 2018.

b) Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi tingkat pencemaran yang disebabkan oleh partikulat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muhaimin, (2014) pada musim kemarau konsentrasi partikulat akan semakin tinggi, sedangkan pada musim penghujan konsentrasi partikulat akan semakin rendah. Hal ini diakibatkan oleh zat pencemar di atmosfer mengalami penghilangan yang disebabkan oleh pencucian dari air hujan. Untuk mengetahui hubungan dari kedua data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Gambar 4.7 Curah hujan bulanan rata-rata tahun 2016-2018

Sumber: Data Sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta 2016-2018

Dari data pada Tabel 4.8 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 untuk rata-rata curah hujan terendah adalah pada tahun 2018 yang diperoleh sebesar 12,08 hh/hd serta curah hujan paling tinggi didapatkan pada tahun 2016 sebesar 19,67 hh/hd.

c) Kelembapan Udara

Kelembaban udara merupakan suatu kondisi yang menyatakan banyaknya uap air yang ada di udara. Menurut Fardiaz (2003) udara yang lembab akan membantu proses pengendapan suatu bahan pencemar, karena saat udara lembab bahan pencemar seperti partikulat akan berikatan dengan air yang ada di dalam udara serta membentuk partikel yang berukuran lebih besar yang kemudian jatuh ke permukaan bumi. Untuk mengetahui seberapa besar hubungan antara kondisi kelembaban udara dan konsentrasi SO_2 yang ada di Yogyakarta dapat dilihat dari tabel berikut:

Gambar 4.8 Kelembapan udara rata-rata tahun 2016-2018

Sumber: Data sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta

Dari data pada Tabel 4.9 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 untuk rata-rata kelembapan udara terendah adalah pada tahun 2018 yang diperoleh sebesar 84% serta kelembapan udara paling tinggi didapatkan pada tahun 2016 sebesar 87,2%. Sedangkan untuk hasil bulanan tertinggi didapatkan sebesar 88% pada bulan Februari pada rentan tahun 2016 hingga 2018.

d) Tekanan Udara

Perbedaan tekanan udara pada dasarnya mempengaruhi kecepatan angin. Antara sumber angin dengan arah angin akan mempengaruhi terjadinya penurunan suhu udara dan tekanan udara seiring dengan bertambah tingginya suatu polutan. Apabila suhu udara semakin rendah maka kadar polutan di udara akan semakin meningkat begitu juga sebaliknya, sebagai berikut:

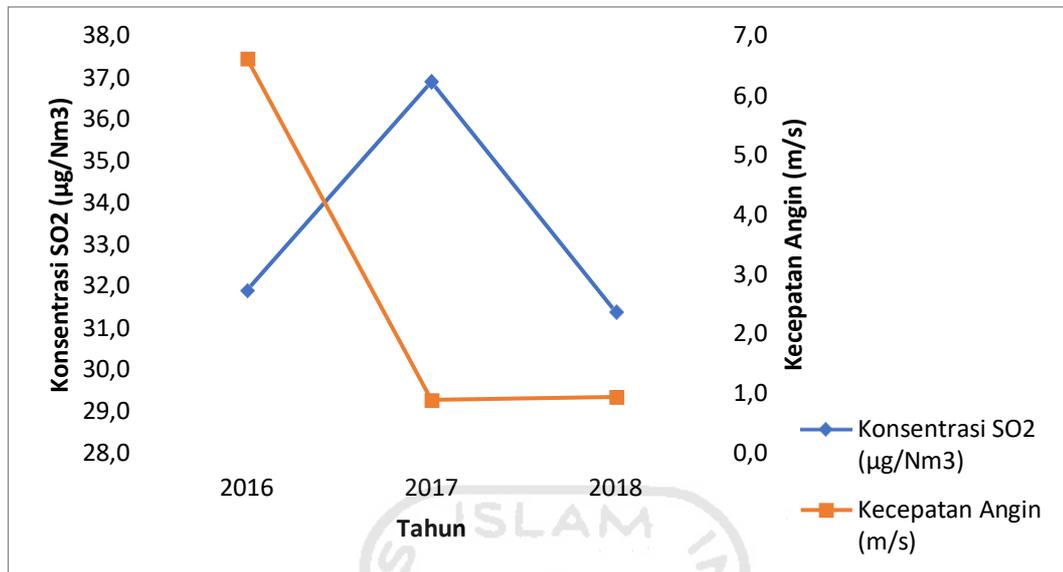
Gambar 4.9 Tekanan udara rata-rata tahun 2016-2018

Sumber: Data sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta 2016-2018

Dari data pada Tabel 4.20 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 untuk rata-rata tekanan udara terendah adalah pada tahun 2017 yang diperoleh sebesar 995,7 mb serta tekanan udara paling tinggi didapatkan pada tahun 2016 sebesar 1014,0 mb. Sedangkan untuk hasil bulanan tertinggi didapatkan sebesar 1002,9 mb pada bulan September pada rentan tahun 2016 hingga 2018.

e) Kecepatan Angin

Menurut Tjasjono, (1999) Kecepatan angin merupakan udara bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara yang rendah. Kecepatan angin juga mempengaruhi jumlah konsentrasi pencemar yang ada di atmosfer. Semakin tinggi kecepatan angin maka pencemaran polutan dan sumber emisi di atmosfer semakin besar. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk melihat hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi SO_2 dengan data sebagai berikut:



Grafik 4.10 Kecepatan angin tahun 2016-2018

Sumber: Data sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta 2016-2018

Dari data pada Tabel 4.11 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 untuk rata-rata kecepatan angin terendah adalah pada tahun 2017 yang diperoleh sebesar 0,9 m/s serta kecepatan angin paling tinggi didapatkan pada tahun 2016 sebesar 6,63 m/s. Sedangkan untuk hasil bulanan tertinggi didapatkan sebesar 3,62 m/s pada bulan Oktober pada rentan tahun 2016 hingga 2018.

Dari analisis yang dilakukan, peneliti hanya memaparkan serta mengaitkan tingkat konsentrasi SO₂ dengan sumber pencemarannya saja. Perlu diketahui banyak faktor yang dapat mempengaruhi tingkat pencemaran udara, diantara lain faktor topografi serta faktor meteorologi. Sesuai dengan kutipan oleh Soedomo (2001), adanya perubahan dalam parameter meteorologi akan membawa pengaruh besar dalam penyebaran dan difusi pencemaran udara yang di emisikan. Topografi juga mempunyai potensi yang besar dalam mempengaruhi kualitas udara di Indonesia.

Kegiatan pemantauan kualitas udara yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dalam penelitian ini merupakan kegiatan pemantauan udara pada lokasi sumber pencemar. Dengan dilakukannya kegiatan ini, dapat diketahui seberapa besar pencemaran yang terjadi jika dikaitkan dengan besar intensitas kegiatan sumber pencemar.

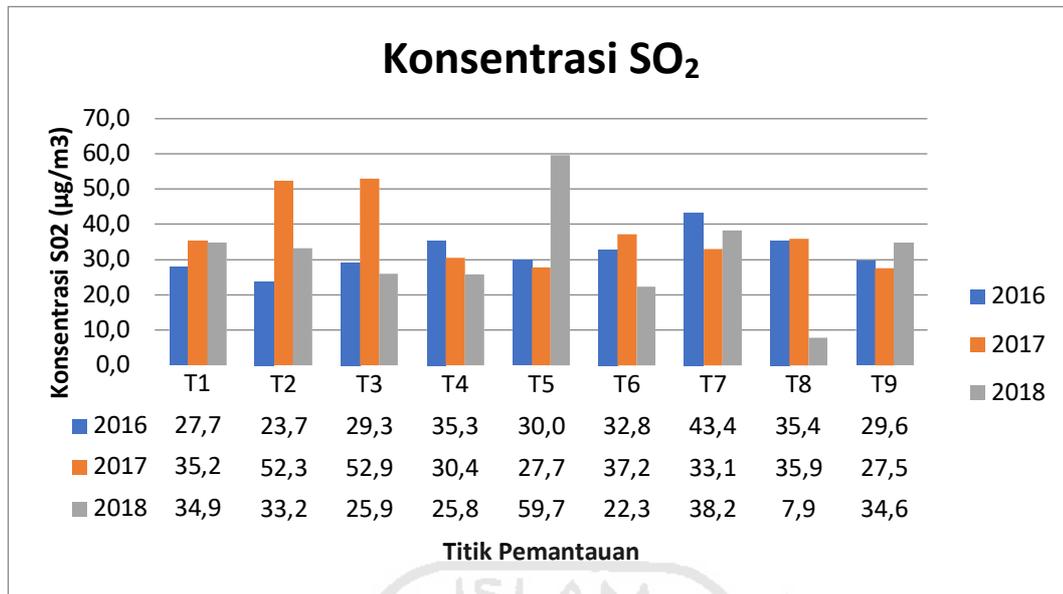
Sampling SO₂ dilakukan pada 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta dengan menggunakan metode pasif.

4.7 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ pada titik lokasi pemantauan

Tabel 4.17 Perbandingan rata-rata konsentrasi so₂ tahun 2016-2018

No	Lokasi	Parameter SO ₂ Berdasarkan Tahun (µg/Nm ³)		
		2016	2017	2018
1	T ₁	27,7	35,2	34,9
2	T ₂	23,7	52,3	33,2
3	T ₃	29,3	52,9	25,9
4	T ₄	35,3	30,4	25,8
5	T ₅	30	27,7	59,7
6	T ₆	32,8	37,2	22,3
7	T ₇	43,4	33,1	38,2
8	T ₈	35,4	35,9	37,9
9	T ₉	29,6	27,5	34,6
Jumlah		287,3	332,2	312,5
Rata-rata		31,9	36,9	34,7

Sumber: Data sekunder Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta 2016-2018



Gambar 4.4 Perbandingan rata-rata konsentrasi so₂ tahun 2016-2018

Dari data pada Tabel 4.5 serta grafik 4.5 didapatkan hasil pengujian selama tahun 2016 hingga 2018 dengan hasil pada tahun 2016 menuju 2017 terjadi peningkatan konsentrasi SO₂ sebesar 5 µg/Nm³ dan pada tahun 2017 menuju 2018 terjadi penurunan konsentrasi SO₂ sebesar 2,2 µg/Nm³. Untuk nilai rata-rata terendah adalah pada tahun 2016 yang diperoleh sebesar 31,9 µg/Nm³ sedangkan nilai rata-rata tinggi didapatkan pada tahun 2017 sebesar 36,9 µg/Nm³. Dan hasil uji lokasi yang memiliki nilai konsentrasi SO₂ tertinggi adalah pengujian yang berada di bagian utara PT. Jogjatex, Umbulharjo sedangkan untuk hasil uji lokasi yang memiliki nilai terendah berada di Depan Hotel Saphir, Gondokusuman. Hasil uji dilakukan dalam kurung waktu 2016 hingga 2018 yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

48 Perbandingan Rata-rata Konsentrasi SO₂ dengan Baku Mutu

Berdasarkan hasil dari pemantauan data di 9 titik pemantauan konsentrasi SO₂ yang berada di Kota Yogyakarta, memiliki hasil konsentrasi rata-rata sebesar 31,9 µg/Nm³ pada tahun 2016 kemudian 36,9 µg/Nm³ pada tahun 2017 dan 34,7 µg/Nm³ pada tahun 2018. Dengan nilai tertinggi pada tahun 2016 sebesar 43,4 µg/Nm³ yang berada di Depan Hotel Matahari Jl Parangtritis, untuk nilai tertinggi pada tahun

2017 sebesar $52,9 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang berada di Depan Pasar Bringharjo serta nilai tertinggi pada tahun 2018 sebesar $59,7 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang berada di Sebelah Utara PT. Jogjatek. Untuk waktu pengujian dilakukan selama 1 jam. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah No. 41 tahun. 1999 yang mengatur tentang Nilai Ambang Batas (NAB) SO_2 di udara. NAB untuk SO_2 sebesar $900 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (1 jam), $365 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (24 jam), dan $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (1 tahun).

Serta menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan waktu pengukuran selama 1 (satu) jam sebesar 0,340 ppm dan/atau $900 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sehingga hasil pengukuran konsentrasi Sulfur Dioksida (SO_2) oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2016 hingga 2018 masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan.

49 Analisis Risiko Terhadap Kesehatan

Hasil dari pengukuran SO_2 yang berada di Kota Yogyakarta akan dilakukan analisis udara ambien agar diketahui risiko terhadap kesehatan atau tidak, maka perlu digunakannya metode studi *risk assessment* atau analisis risiko.

Metode ini menggunakan perhitungan, data yang digunakan mengenai agen pajanan, antropometri serta pola aktivitas. Dalam penelitian ini diperkirakan risiko SO_2 secara numerik apakah konsentrasi SO_2 di udara ambien saat ini akan memberikan efek terhadap kesehatan. Penelitian dilaksanakan dengan metode kuisisioner maka data *antropometri* dan pola aktivitas didapatkan melalui pertanyaan yang diajukan pada pedagang yang berada di 9 titik pemantauan, untuk didatakannya data waktu pajanan, frekuensi pajanan, durasi pajanan, status merokok pedagang, dan keluhan kesehatan.

4.10 Pola Paparan

4.10.1 Konsentrasi SO₂

Berikut ini adalah tabel distribusi konsentrasi SO₂ di udara lingkungan Kota Yogyakarta:

Tabel 4.18 Parameter so₂ pada tahun 2016-2018

Lokasi	Parameter SO ₂ Berdasarkan Tahun (µg/Nm ³)			BMUA (µg/Nm ³)
	2016	2017	2018	
T ₁	27,7	35,2	34,9	900
T ₂	23,7	52,3	33,2	900
T ₃	29,3	52,9	25,9	900
T ₄	35,3	30,4	25,8	900
T ₅	30	27,7	59,7	900
T ₆	32,8	37,2	22,3	900
T ₇	43,4	33,1	38,2	900
T ₈	35,4	35,9	37,9	900
T ₉	29,6	27,5	34,6	900

Sumber: Data sekunder Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta 2016-2018

Hasil pengukuran kadar SO₂ di udara pada 9 titik lokasi pemantauan yang berbeda jika dibandingkan dengan Baku Mutu Udara Ambien. Hasil yang digunakan merupakan data sekunder yang diterbitkan oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2016 hingga 2018.

4.11 Hasil Kuisisioner

4.11.1 Waktu Paparan (t_E)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nukman dkk. (2005) yang membagi dalam 3 kelompok populasi berisiko yaitu pedagang kaki lima mewakili 12 jam/hari dan ibu rumah tangga mewakili 24 jam/hari serta pegawai selama 8

jam/hari. Dalam penelitian ini, populasi yang paling berdampak adalah pedagang disebabkan berada di lokasi yang paling berdampak pajanan SO₂. Untuk waktu lama pajanan di asumsikan 8 jam bagi populasi pedagang sesuai dengan pasal 77 UU No. 13/2003 tentang ketenagakerjaan.

4.11.2 Frekuensi Pajanan (f_E)

Frekuensi Pajanan (f_E) merupakan penentuan berapa hari dalam satu tahun pajanan SO₂ yang diterima oleh masyarakat yang melalui titik-titik pemantauan. Digunakan nilai default yang bersumber dari EPA yaitu 350 hari/tahun (Kolluru dkk, 1996). Dalam penelitian Nukman dkk. (2005) ditemukan bahwa semua jenis populasi berisiko pada semua latar tempat mukim mempunyai frekuensi pajanan sebesar 350 hari/tahun. Dengan waktu kerja pedagang selama 6 hari kerja dan 1 hari libur dalam jangka waktu 7 hari dan satu tahun adalah 365 hari maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Jumlah hari kerja dalam setahun: } 365 \times \frac{6}{7} = 312 \text{ hari}$$

Sehingga disimpulkan bahwa pedagang yang berjualan selama 312 hari dalam satu tahun. Hasil dari wawancara yang dilakukan bahwa pedagang tetap berjualan walaupun tanggal merah dikarenakan pada hari libur penjualan mereka meningkat.

4.11.3 Durasi Pajanan (D_t)

Durasi pajanan pedagang di 9 titik pemantauan digunakan agar dapat menghitung nilai pajanan *realtime* maka digunakan data yang tersedia didalam table, yaitu lama kerja mereka selama di lokasi berdagang digunakannya angka 40 tahun yaitu rata-rata mereka mulai berjualan hingga pensiun.

4.12 Status Merokok Pedagang

Berikut merupakan tabel distribusi dari status merokok pada pedagang di 9 titik pemantauan:

Kebiasaan	Jumlah	Persentase (%)
Merokok	19	54,3
Tidak Merokok	16	45,7

Sumber: Data primer, 2020

Kebiasaan merokok pada pedagang dapat memperbanyak jumlah asupan SO₂ ke dalam tubuh pedagang dimana hal tersebut dapat memperburuk risiko kesehatan terhadap para pedagang. Didapatkan hasil dari pada pedagang sebanyak 19 orang merokok (54,3%) dan sebanyak 16 orang tidak merokok (45,7%), lalu sebanyak 35 orang tidak menggunakan APD berupa masker pada saat berdagang sebelum pandemi.

4.13 Keluhan Kesehatan

Berdasarkan hasil kuisioner kepada pedagang dengan total 50 responden di 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta, didapatkan keluhan penyakit yang dialami pedagang sebagai berikut:

Tabel 4.28 Data keluhan kesehatan terhadap pajanan so₂ pada pedagang

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Batuk disertai lendir	9	25,7
Nafas berat saat melakukan aktifitas sehari-hari	6	17,1
Sakit pada tenggorokan	8	22,9
Mudah letih	12	34,3
Pusing dalam waktu yang lama	0	0
Bibir dan jari nampak membiru	0	0,0
Sesak nafas seperti kehabisan nafas	0	0,0
Sulit tidur	9	25,7
Jantung kerap berdebar	6	17,1

Sumber: Data primer, 2020

Berdasarkan hasil kuisioner yang didapatkan pada tabel 4.14 yang diberikan kepada pedagang yang berada di 9 titik pemantauan dengan total 50 responden memiliki keluhan paling banyak yang diakibatkan pajanan SO₂ adalah mudah letih yaitu sebanyak 12 pedagang, batuk berlendir serta sulit tidur sebanyak 9 pedagang, sakit tenggorokan sebanyak 8 pedagang, nafas berat serta jantung kerap berdebar sebanyak 6 pedagang.

4.14 Analisis Dosis Respon

4.14.1 Analisis Dosis-Respon Risiko Non Karsinogenik Pajanan SO₂

Analisis risiko berguna dalam mengetahui konsentrasi paparan SO₂ yang masuk kedalam tubuh. Nilai *Rfc* dalam penelitian ini menggunakan dosis referensi untuk inhalasi (*reference dose, Rfc*) sedangkan dosis referensi dari SO₂ belum tersedia didalam daftar *Integrated Risk Information System (IRIS)*, dan *Rfc* SO₂

tidak ditetapkan dari dosis yang digunakan untuk menyebabkan efek paling rendah atau *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL) dan *Lowest Observed Adverse Effect Level* (LOAEL) melainkan diturunkan dari *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) yang merupakan baku mutu udara ambien oleh US-EPA yang menurut PP No. 41 tahun 1999 tidak dapat digunakan disebabkan nilai default dari faktor-faktor pemajannya tidak diketahui.

Buku primer standar NAAQS (EPA,1990) yang tersedia untuk SO₂ adalah 95 µg/Nm³ (*arithmetic mean*) tahunan. Konsentrasi aman intake untuk RfC dengan nilai default US-EPA 20 m³/hari diubah menjadi R= 0,83 m³/jam, waktu pajanan (t_E) = 24 jam/hari, frekuensi pajanan (f_E) = 350 hari/tahun, berat badan (Wb) = 70 kg dan periode waktu rata-rata (tavg) = 365/tahun, maka dapat dihitung:

$$134(562) = \frac{80,95 \frac{9}{93} * < \frac{0,8393}{>?9} @ * 824 \frac{>?9}{h?C\text{D}} ; * 8350 \frac{h?C\text{D}}{E?hF!} ;}{(70H:) * 8365 \frac{h?C\text{D}}{E?hF!} ;}$$

$$= 0,026 \text{ mg/kg/hari}$$

Nilai Rfc (*Reference Concentration*) ini digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan non karsinogenik akibat pajanan SO₂ digunakan data sebagai berikut:

- 1) Berat Badan (Wb) = 55 kg
- 2) Laju Inhalasi = 20 m³/hari (US-EPA)
- 3) Maka Rfc = 0,026 mg/m³ x 20 m³/hari x $\frac{7}{88,4}$
= 0,00945 mg/kg/hari

Nilai Rfc (*Reference Concentration*) ini yang digunakan dalam perhitungan risiko kesehatan non karsinogenik akibat pajanan SO₂ dengan rumus:

$$I = \frac{I_{nk}}{C_{*+*}, 'C-}$$

4.14.2 Inhalation Rate

Inhalation rate atau laju inhalasi adalah kemampuan dalam memperhitungkan pernafasan dari manusia untuk diketahui jumlah intake dari paparan SO₂ yang dapat masuk ke dalam tubuh. Konsentrasi aman intake untuk RfC dengan nilai default R= 0,83 m³/jam, waktu pajanan (t_E) = 24 jam/hari, frekuensi pajanan (f_E) = 350 hari/tahun, berat badan (W_b) = 70 kg dan periode waktu rata-rata (t avg) = 365/tahun

4.15 Analisis Pemajanan Sulfur Oksida (SO₂)

4.15.1 Analisis Pemajanan SO₂

Analisis pajanan digunakan saat dilakukan pengukuran jumlah pajanan SO₂ ke dalam tubuh pedagang dengan menggunakan persamaan:

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times W_b}{365 \times D_t}$$

Diketahui:

I = Intake/asupan (mg/kg/hari) W_b = Berat badan (kg)

C = Konsentrasi *risk agent* (mg/m³)

R = Laju inhalasi (m³/jam)

t_E = Waktu pajanan (jam/hari)

f_E = Frekuensi pajanan (hari/tahun)

D_t = Durasi pajanan (hari/tahun)

Tavg = Waktu rata-rata, (30 tahun x 365 hari/tahun untuk zat non karsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Dalam melakukan analisis pajanan diperlukan perhitungan *intake* (asupan) SO₂ dengan memasukkan nilai dari variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan.

Data konsentrasi akan digunakan dalam perhitungan adalah data konsentrasi pajanan atau konsentrasi SO₂ di lokasi pemantauan udara yang didapat dari hasil laporan Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta tahun 2016 hingga 2018.

a) Perhitungan Intake pajanan non karsinogenik

Perhitungan *intake* pajanan non karsinogenik dilakukan untuk memperhitungkan efek non karsinogenik pada dua waktu pajanan yang berbeda yaitu *lifetime* dan *realtime*. Saat waktu *lifetime* yang digunakan adalah berapa lama pedagang terpajan secara *lifetime* non karsinogenik yakni 30 tahun yang didapat dari pedagang mulai berjualan hingga pensiun. Sedangkan pada waktu *realtime* digunakan angka lama mereka berjualan ditempat tersebut. Berikut contoh simulasi perhitungan responden di Perempatan Mirota Kampus dengan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{4 * 1 * E_j * 3J * KE}{LM * E?N}$$

Diketahui: C = 0,0349 mg/m³ Wb = 55 kg
R = 0,83 m³/jam tavg= 30x365 hari/tahun
t_E = 12 jam Dt = 30 tahun (*lifetime*)

$$I_{lifetime} = \frac{0,0349 * 55 * 0,83 * 12 * 30 * 365}{6678 * 365} = 0,0054 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{realtime} = \frac{0,0349 * 55 * 0,83 * 12}{6678} = 0,0072 \text{ mg/kg/hari}$$

4.15.2 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko diperlukan dalam membedakan efek kesehatan yang terjadi yang dikarenakan karsinogenik dan non karsinogenik dari parameter yang di

ujikan yaitu Sulfur Dioksida (SO₂). Karakteristik risiko untuk efek nonkarsinogenik dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Diketahui Ink = Intake Non Karsinogenik (mg/kg/hari)

Rfc = Reference Concentration (mg/kg/hari)

a. Perhitungan Risk Quotient (RQ) pada individu untuk pajanan non karsinogenik

Sebagai contoh perhitungan diketahui sebagai berikut:

Diketahui: Ink *lifetime* = 0,0054 mg/kg/hari

Ink *realtime* = 0,0072 mg/kg/hari

Rfc = 0,00945 mg/kg/hari

$$RQ_{lifetime} = \frac{0,0054 \frac{mg}{kg \cdot hari}}{0,00945 \frac{mg}{kg \cdot hari}} = 0,571$$

$$RQ_{realtime} = \frac{0,0072 \frac{mg}{kg \cdot hari}}{0,00945 \frac{mg}{kg \cdot hari}} = 0,761$$

Setelah mendapat nilai RQ, maka dapat diasumsikan sebagai berikut:

- Bila $RQ \leq 1$, maka konsentrasi hazard belum berisiko menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik
- Bila $RQ > 1$, maka konsentrasi hazard sudah berisiko menimbulkan dampak kesehatan non karsinogenik

Diketahui hasil nilai RQ pada pajanan SO₂ *lifetime* pada responden pedagang yang berada di 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta sebesar 0,571 mg/kg/hari dan pada pajanan *realtime* sebesar 0,761 mg/kg/hari. Dari hasil yang didapatkan

nilai $RQ \leq 1$ sehingga menunjukkan bahwa pada pajanan *lifetime* dan *realtime* tidak berisiko menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik pada pedagang di Kawasan 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta.

Dari hasil RQ yang didapatkan untuk pedagang yang berada pada 9 Kawasan di Kota Yogyakarta pada pajanan *realtime* seluruh pedagang memiliki hasil nilai $RQ \leq 1$ sementara pada pajanan *lifetime* seluruh pedagang memiliki nilai $RQ \leq 1$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi pajanan secara *realtime* maupun *lifetime* belum memberikan efek non karsinogenik yang disebabkan oleh Sulfur Dioksida (SO_2).

4.16 Estimasi Risiko Kesehatan Pemajanan SO_2

Estimasi risiko kesehatan merupakan perhitungan untuk mendeteksi apakah risiko yang diberikan oleh SO_2 pada suatu populasi berbahaya atau tidak dengan melihat nilai yang mewakili setiap variabel pada populasi.

Nilai dari konsentrasi (C) merupakan nilai konsentrasi pajanan SO_2 di lingkungan titik pemantauan didapatkan dari hasil data sekunder Badan Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada 2018. Nilai dari laju inhalasi (R) yang diperlukan sama dengan perhitungan individu yaitu nilai sebesar $0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$ serta Waktu pajanan (t_E) merupakan hasil asumsi pedagang yang terpajan selama 1 hari kerja, adalah 12 jam/hari.

Sedangkan frekuensi pajanan (f_E) merupakan total hari kerja dalam satu tahun variabel digunakan data sekunder dengan nilai sebesar 312 hari/tahun. Pada nilai durasi pajanan (Dt) waktu pajanan *lifetime* maka digunakan merupakan nilai *default residential* sebesar 30 tahun yang bersumber dari EPA yang merupakan nilai rata-rata usia mereka mulai bekerja hingga pensiun (Kolluru, dkk., 1996).

Untuk waktu rata-rata (t_{avg}) digunakan nilai default (30 tahun untuk non karsinogenik dan 70 tahun untuk karsinogenik). Nilai berat badan (W_b) yang dimasukkan pada perhitungan analisis risiko populasi adalah nilai berat badan yang mewakili populasi adalah 55 kg.

4.17 Perhitungan Estimasi Risiko Kesehatan Pemajanan SO₂

A. Perhitungan Estimasi Risiko Kesehatan pada tahun 2018

Perhitungan estimasi risiko kesehatan SO₂ pada pedagang sebagai berikut:

$$I_{lifetime} (nk) = \frac{2.245 \times 10^{-2} \times 360 \times 24 \times 365}{2.22754 \times 10^{-6} \times 10^{-1} \times 2.734 \times 10^{-1} \times 9} = 0.0054 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{realtime} (nk) = \frac{2.245 \times 10^{-2} \times 360 \times 24 \times 9}{2.22754 \times 10^{-6} \times 10^{-1} \times 2.734 \times 10^{-1} \times 9} = 0.0072 \text{ mg/kg/hari}$$

Pada perhitungan *Intake* non karsinogenik, didapatkan nilai pajanan *realtime* dan *lifetime* secara berturut-turut adalah 5.4×10^{-2} mg/kg/hari dan 7.2×10^{-2} mg/kg/hari. Kemudian dilanjutkan perhitungan *Risk Quotient* (RQ) sebagai berikut:

$$RQ_{realtime} (nk) = \frac{2.245 \times 10^{-2} \times 360 \times 24 \times 365}{2.22754 \times 10^{-6} \times 10^{-1} \times 2.734 \times 10^{-1} \times 9} = 0,57$$

$$RQ_{Lifetime} (nk) = \frac{2.2289 \times 10^{-2} \times 360 \times 24 \times 365}{2.22754 \times 10^{-6} \times 10^{-1} \times 2.734 \times 10^{-1} \times 9} = 0,76$$

Pada perhitungan *Intake* non karsinogenik, didapatkan nilai pajanan *realtime* sebesar $5,7 \times 10^{-2}$ mg/kg/hari pada tahun 2018, sedangkan pada pajanan *lifetime* sebesar $7,6 \times 10^{-2}$ pada titik terhadap responden pedagang di 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta di tahun 2018. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *Risk Quotient* (RQ) sebagai berikut:

Nilai estimasi risiko non karsinogenik (RQ) pada populasi pedagang yang terpajan secara *lifetime* maupun *realtime*, berdasarkan nilai-nilai yang didapatkan didapatkan nilai pajanan *realtime* sebesar $5,7 \times 10^{-2}$ mg/kg/hari pada tahun 2018, sedangkan pada pajanan *lifetime* sebesar $7,6 \times 10^{-2}$ pada titik terhadap responden

pedagang di 9 titik pemantauan di Kota Yogyakarta di tahun 2018. Diketahui bahwa pajanan mendekati nilai ($RQ \leq 1$) sehingga berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik. Sehingga diperlukan adanya usaha dalam manajemen risiko yang terdapat diantara lain upaya pengurangan jumlah polusi, manajemen serta eliminasi, rekayasa Teknik dan penggunaan APD yang memadai.

Tabel 4.18 Persentase nilai *risk quotient* pajanan SO₂ pedagang di Kota Yogyakarta

	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Persentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	35	100	35
	$RQ \geq 1$	0	0	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	35	100	35
	$RQ \geq 1$	0	0	

Tabel 4.19 Data responden dan perhitungan analisis risiko SO₂ pedagang Kota Yogyakarta

No	Nama Responden	Konsentrasi SO ₂ di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
1	PMK 1	0,0349	12	312	33	52	85	0,83	0,0013	0,0036	0,14	0,38	TB
2	PMK 2	0,0349	8	312	15	52	74	0,83	0,0020	0,0068	0,22	0,72	TB
3	PMK 3	0,0349	12	312	12	48	58	0,83	0,0019	0,0076	0,20	0,81	TB
4	PMK 4	0,0349	12	312	10	35	52	0,83	0,0008	0,0064	0,08	0,68	TB
5	PMK 5	0,0349	12	312	5	30	62	0,83	0,0017	0,0039	0,17	0,41	TB
6	PMK 6	0,0349	8	312	17	62	68	0,83	0,0007	0,0040	0,07	0,42	TB
7	PMK 7	0,0349	9	312	7	53	74	0,83	0,0005	0,0041	0,05	0,43	TB
8	PMK 8	0,0349	8	312	5	29	65	0,83	0,0021	0,0034	0,22	0,36	TB
9	PMK 9	0,0349	7	312	25	57	68	0,83	0,0021	0,0034	0,22	0,36	TB
10	DHT 1	0,0223	8	312	4	30	70	0,83	0,0002	0,0024	0,03	0,26	TB
11	DHT 2	0,0223	6	312	28	60	50	0,83	0,0018	0,0025	0,19	0,27	TB
12	DHT 3	0,0223	6	312	15	57	75	0,83	0,0006	0,0017	0,07	0,18	TB

No	Nama Responden	Konsentrasi SO ₂ di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
12	PKU 1	0,0332	12	312	8	46	50	0,83	0,0015	0,0075	0,16	0,80	TB
14	PKU 2	0,0332	10	312	10	38	56	0,83	0,0014	0,0056	0,15	0,59	TB
15	PKU 3	0,0332	5	312	16	47	65	0,83	0,0006	0,0016	0,07	0,17	TB
16	PKU 4	0,0332	10	312	15	56	50	0,83	0,0024	0,0063	0,25	0,66	TB
17	DPB 1	0,0259	9	312	17	45	45	0,83	0,0021	0,0049	0,22	0,52	TB
18	DPB 2	0,0259	7	312	10	48	68	0,83	0,0006	0,0026	0,07	0,27	TB
19	DPB 3	0,0259	12	312	16	43	70	0,83	0,0017	0,0042	0,18	0,44	TB
20	DPB 4	0,0259	6	312	11	52	47	0,83	0,0009	0,0031	0,09	0,33	TB
21	DPB 5	0,0259	6	312	20	65	60	0,83	0,0012	0,0025	0,13	0,26	TB
22	DPB 6	0,0259	9	312	17	44	68	0,83	0,0014	0,0032	0,15	0,34	TB
23	DPB 7	0,0259	10	312	35	57	70	0,83	0,0031	0,0035	0,32	0,37	TB
24	DPB 8	0,0259	9	312	17	40	67	0,83	0,0014	0,0033	0,15	0,35	TB
25	DPB 9	0,0259	7	312	15	45	63	0,83	0,0010	0,0027	0,11	0,29	TB

No	Nama Responden	Konsentrasi SO ₂ di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
26	DPB 10	0,0259	15	312	20	52	46	0,83	0,0040	0,0080	0,42	0,85	TB
27	DPB 11	0,0259	10	312	12	48	68	0,83	0,0011	0,0036	0,11	0,38	TB
28	DPB 12	0,0259	10	312	14	56	46	0,83	0,0019	0,0053	0,20	0,56	TB
29	DPB 13	0,0259	10	312	15	47	50	0,83	0,0018	0,0049	0,19	0,52	TB
30	DPB 14	0,0259	10	312	20	54	68	0,83	0,0018	0,0036	0,19	0,38	TB
31	DPS	0,0258	7	312	10	53	70	0,83	0,0006	0,0024	0,06	0,26	TB
32	SKB	0,0379	7	312	23	55	60	0,83	0,0024	0,0042	0,25	0,44	TB
33	KJ	0,0347	6	312	21	57	44	0,83	0,0023	0,0045	0,25	0,47	TB
34	DHM	0,0382	10	312	15	44	70	0,83	0,0019	0,0052	0,20	0,55	TB
35	JTX	0,0597	6	312	30	65	55	0,83	0,0046	0,0062	0,49	0,65	TB

4.18 Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan upaya yang dilakukan dalam melindungi individu/populasi yang memiliki risiko terpajan dengan melakukan berbagai cara, seperti meminimalkan dan/atau menghindari kontak langsung maupun menggunakan alat pelindung. Cara yang pertama dilakukan setelah melakukan analisis adalah mengurangi konsentrasi dari pajanan SO₂ serta melakukan pengurangan waktu kontak pekerja dengan SO₂. Untuk mengetahui batas aman konsentrasi SO₂ maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{C_{TWA} \times T_{TWA} \times F \times A \times W}{C_{TLV} \times T_{TLV} \times F \times A \times W}$$

$$C = \frac{0,00945 \times 55 \times 30 \times 365}{0,83 \times \frac{1}{3} \times 12 \times 312 \times 30}$$

$$= 0,061 \text{ mg/m}^3$$

Hasil dari perhitungan didapatkan 0,61 mg/m³ pada responden pedagang dengan asumsi berat badan responden 55 kg dengan lama pajanan 12 jam/hari dan durasi pajanan 30 tahun ke depan selama pedagang masih bekerja di lokasi titik pemantauan dengan asumsi 6 hari kerja sehingga 312 hari/tahun. Nilai tersebut masih berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) konsentrasi SO₂ sebesar 900 (µg/Nm³) atau 0,900 mg/m³.

Manajemen Risiko untuk bahaya lingkungan dapat dilakukan dengan cara mengontrol bahaya yang dapat dilakukan dengan mengurangi durasi pajanan pada pedagang.

Perhitungan manajemen risiko dengan cara mengurangi durasi pajanan sebagai berikut:

$$tE = \frac{C_{TWA} \times T_{TWA} \times F \times A \times W}{C_{TLV} \times T_{TLV} \times F \times A \times W}$$

$$tE = \frac{0,00945 \times 55 \times 30 \times 365}{0,83 \times 1 \times 12 \times 312 \times 30} = 6,9 \text{ jam/hari}$$

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan konsentrasi SO₂ tertinggi pada tahun 2016 sebesar 0,0349 mg/m³ didapatkan hasil 6,9 jam/hari yang merupakan jam ideal bagi pedagang

dengan berat badan 55 kg yang terpajan selama 30 tahun mendatang agar tidak terpapar konsentrasi SO₂ yang melebihi ambang batas.

Perhitungan manajemen risiko dengan mencari nilai frekuensi pajanan aman sebagai berikut:

$$fE = \frac{C \times T \times W}{RQ} = \frac{0,0349 \text{ mg/m}^3 \times 12 \text{ jam/hari} \times 55 \text{ kg}}{0,061 \text{ mg/m}^3} = 182 \text{ hari/tahun}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui jika pedagang dengan berat badan 55 kg terpajan konsentrasi SO₂ setiap hari selama 12 jam dengan konsentrasi 0,0349 mg/m³ maka frekuensi pajanan aman jika digunakan 30 tahun mendatang

4.19 Pembahasan

Analisis risiko lingkungan harus dilakukan dikarenakan nilai dari *RQ* pada titik pemantauan sudah mendekati nilai batas aman ($RQ \leq 1$) pada 9 titik pemantauan pada tahun 2018. Selanjutnya melakukan manajemen risiko dengan cara mengurangi konsentrasi dari *risk agent*, waktu kontak yang terdiri dari mengurangi waktu dan frekuensi pajanan.

Konsentrasi pajanan SO₂ terhadap pedagang yang dijadikan perhitungan sangat bergantung pada kondisi pencemaran udara ambien yang terjadi di lingkungan titik pemantauan. Sedangkan variabel waktu jam kerja selama 12 jam/hari sesuai keterangan dari pedagang. Hasil perhitungan langkah manajemen risiko terhadap konsentrasi, lama dan frekuensi sebagai berikut 0.061 mg/m³, 6,9 jam/hari, 182 hari/tahun.

Dari hasil yang didapatkan, adanya upaya yang dilakukan dalam pengendalian efek non karsinogenik bagi pedagang dengan konsentrasi pajanan SO₂ sebesar 0.0349 mg/m³, lama pajanan 12 jam/hari, frekuensi pajanan 312 hari/tahun dengan berat badan sebesar 55 kg sebaiknya menetapkan durasi pajanan paling lama.

Durasi pajanan pada pedagang yang hampir memiliki nilai $RQ \leq 1$ yang berarti dapat mengalami efek non karsinogenik dapat diketahui bahwa durasi pajanan yang dapat menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik adalah selama 30 tahun. Bagi para pedagang yang sudah bekerja selama 30 tahun di titik pemantauan maka berpotensi terpapar SO₂ dengan nilai $RQ \leq 1$ atau berpotensi mengalami efek gejala non karsinogenik. Hasil penelitian ini sesuai

dengan penelitian yang dilakukan Mahawati (2005), dimana semakin lama pekerja terpapar akan berpengaruh pada derajat toksisitas yang dialami pekerja karena adanya akumulasi zat toksik dalam tubuh. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*

4.20 Komunikasi Risiko

Risiko yang disebabkan oleh *Sulfur Dioksida (SO₂)* memiliki risiko bagi kesehatan, agar direncanakan pengendalian dan pengelolaan seiring bertambah dan meningkatnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan, jumlah industri yang berpotensi membuat paparan SO₂ semakin tinggi.

Dari hasil yang didapat dengan titik pemantauan nilai masih dibawah $RQ \leq 1$ namun sebaiknya segera dilakukan upaya agar pengendalian terhadap pedagang pegawai agar tidak terpapar SO₂ secara langsung yang terbawa oleh angin yang berakibat buruk pada kesehatannya. Dilakukannya pengurangan jam berjualan atau bergantian dengan orang lain dalam menjaga toko setiap 6,9 jam. Karena dengan pengurangan jam kerja akan mengurangi waktu serta frekuensi pajanan yang ada. Lalu penggunaan APD karena seperti penggunaan masker dapat mereduksi jumlah partikel yang dapat terhirup dan melindungi masuknya polutan udara dan/atau partikel yang lebih besar masuk ke dalam saluran pernafasan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil rata-rata konsentrasi SO₂ memiliki data yang fluktuasi pada tahun 2016 hingga 2018 yang terpengaruh oleh kondisi kependudukan, transportasi, industri serta kondisi meteorologi.
2. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan konsentrasi SO₂ di kawasan pemantauan Kota Yogyakarta masih berada dibawah baku mutu udara ambien yang berlaku. Baku mutu yang berlaku menurut Peraturan Pemerintah no 41 tahun 1999 maupun Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2020 adalah Nilai Ambang Batas (NAB) di udara untuk SO₂ sebesar 900 µg/Nm³ (1 jam), 365 µg/Nm³ (24 jam), dan 60 µg/Nm³ (1 tahun).
3. Hasil dari nilai intake *realtime* dan *lifetime* untuk pedagang yang berada di 9 titik pemantauan Kota Yogyakarta masih berada di nilai RQ < 1 untuk nilai *realtime* maupun *lifetime* sehingga masih berada di batas aman agar tidak timbul risiko kesehatan akibat paparan SO₂ di lokasi pemantauan.
4. Diperlukannya tindakan untuk mengurangi risiko agar tidak menyebabkan penyakit kedepannya, seperti memperbanyak fasilitas angkutan umum, penggunaan armada yang ramah lingkungan, melakukan rekayasa lalu lintas untuk menghindari kemacetan, memperbanyak ruang terbuka hijau, gencar melaksanakan uji emisi kendaraan, dan penggunaan masker kepada para pedagang.

5.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Bagi Badan Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta:
 - a) Dilakukannya penambahan lokasi pemantauan serta menampilkan data pelengkap pemantauan konsentrasi suatu paparan. Seperti data faktor meteorologi, arah angin, curah hujan dan kelembapan udara.

- b) Menampilkan data analisis risiko untuk mengetahui seberapa besar tingkat dari pencemaran SO₂ di Kota Yogyakarta.
 - c) Melakukan penelitian secara berkala, agar dapat didapatkan data yang lengkap serta Langkah yang harus dilakukan untuk waktu kedepan.
2. Bagi Mahasiswa atau Peneliti Lainnya
- Dilakukannya lagi penelitian yang lebih mendalam terkait analisis risiko dari SO₂ di Kota Yogyakarta. Dengan memperhitungkan secara langsung intensitas kemacetan kendaraan, tingkat polusi industri, intensitas aktivitas masyarakat sehari-hari.

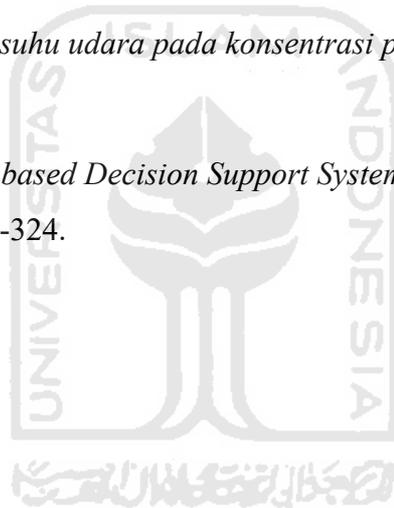


DAFTAR PUSTAKA

- Dinas Lingkungan Hidup. (2018). *Analisa Hasil Pemantauan Kualitas Udara Kota Yogyakarta*. Yogyakarta : Dinas Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2013). *Status Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2014). *Status Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2015). *Status Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2016). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2017). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Badan Lingkungan Hidup. (2018). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah*. Yogyakarta : Badan Lingkungan Hidup
- Wijayanti, D. (2012). Gambaran dan Analisis Risiko Nitrogen Dioksida (NO₂) Per-Kota/Kabupaten dan Provinsi di Indonesia. *Jurusan Ilmu kesehatan masyarakat UI*.
- Paerunan, J. (2017). Analisis Kualitas Udara Pada Kawasan Terminal Daya di Kota Makassar. Makassar : *Jurusan Teknik Lingkungan Unhas*.
- Istantinova, D. B., Hadiwidodo, M., Handayani, D.W. (2012). *Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembaban dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) Dalam Udara Ambien di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sembel, D. T. (2015). *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET.
- Mukhtar, R., Lahtiani, S., Harmonangan, E., Wahyudi, H., Santoso, M., & Lestiani, D. D. (2014). Kajian Baku Mutu Logam Berat Di Udara Ambien Sebagai Bahan Masukan Lampiran PP 41/1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan* , 1-52.

- M, F. O., Othman, M., Bahiyah, N., Hakim, A. A., & Latif, M. T. (2012). Compositions of Dust Fall around Semi-Urban Areas in Malaysia . *Aerosol and Air Quality Research*, 629–642.
- Gunawan, G. (2012). *Tingkat Pencemaran Debu dan Timbal Di Lingkungan Gerbang Tol*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Faroqi, A., Halim, D. K., & Sanjaya, M. (2017). *Perencanaan Alat Pendeteksi Kadar Polusi Udara Menggunakan Sensor Gas MQ-7 Dengan Teknolog Wireless HC-05*. ISSN 1979-8911, Volume X No. 2.
- Sari, A., Guli, M., & Miswan. (2013). Uji Kandungan Plumbum (Pb) Dalam Urine Karyawan SPBU Bayaoge Kota Palu. *Jurnal Biocelebes*, 61-66.
- Zakaria, N., & R., A. (2013). *Analisis Pencemaran Udara (SO₂), Keluhan Iritasi Tenggorokan dan Keluhan Kesehatan Iritasi Mata Pada Pedagang Makanan Di Sekitar Terminal Joyoboyo Surabaya*. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, Vol. 2, No. 1 Jan-Jun 2013: 75–81.
- Sastrawijaya, A. T. (2009). *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Fardiaz, S. (1992). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Penerbit PT Kanisius.
- Gindo S, A., & Hari H, B. (2007). Pengukuran Partikel Udara Ambien (TSP. PM₁₀. PM_{2,5}) di Sekitar Calon Lokasi PLTN Semenanjung Lemahabang. *Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN*.
- Winardi. (2014). *Pengaruh Suhu dan Kelembaban Terhadap Konsentrasi Konsentrasi Pb di Udara Kota Pontianak*. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Borneo Akcaya*.
- Raharja, A., & Bagus, I. g. (2016). *Kajian Literatur Simulasi Pengaruh Penerapan Underpass di Persimpangan Kentungan Yogyakarta Terhadap Beberapa Persimpangan Lainnya*. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kerdigantaraan*.
- Rianty. (2015). *Pengertian transportasi*. *Jurnal Tata Loka*, 2015:58
- Made, K. (2016). *Studi peningkatan kadar polutan CO₂ dan SO₂ pada proyek pengerjaan renovasi kawasan pedestrian Kota Surabaya*. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan*
- ESA (Ecological Society of America). (2000). *Acid Deposition*, Washington, DC.

- Sivacoumare dkk. (2000). *Air pollution and health in urban and industry areas*. Rev Environ Health, 15, 13-42
- Kaivo-oja and Luukkanen. (2012). *Progress in enhancement of SO₂ absorption by nanofluids: mini review of mechanisms and current status*. Renewable Energy, 118,527-535.
- IPCC. (2017). *Influence of Membrane Module Geometry SO₂ Removal: A Numerical Study*. Industrial and Engineering Chemistry Research, 54, 11619-11627.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2017). *Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N dan Kategori O*. Jakarta
- Cahyadi, dkk. (2016). *Peranan suhu terhadap partikulat di udara ambien*. Semarang
- Rahamayana (2014). *Hubungan suhu udara pada konsentrasi pencemar di udara ambien*. Pontianak
- Chen et al. (2015). *Air pollution based Decision Support Systems for Air Quality Assesment*. InTech Press, Rijeka 295-324.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Konsentrasi SO₂ di Kota Yogyakarta

Sumber: BLH Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

No	Lokasi	Parameter SO ₂ Berdasarkan Tahun (µg/Nm ³)		
		2016	2017	2018
1	Perempatan Mirota Kampus, Gondokusuman	27,7	35,2	34,9
2	Depan RS. PKU Muhammadiyah, Gondomanan	23,7	52,3	33,2
3	Depan Pasar Bringhamarjo, Gondomanan	29,3	52,9	25,9
4	Depan Hotel Saphir, Gondokusuman	35,3	30,4	25,8
5	Sebelah utara PT Yogyatek, Umbulharjo	30,0	27,7	59,7
6	Depan Hotel Tentrem	32,8	37,2	22,3
7	Depan Hotel Matahari, Jl Parangtritis	43,4	33,1	38,2
8	Jalan Sabirin Kota Baru	35,4	35,9	37,9
9	Depan Kantor Kecamatan Jetis	29,6	27,5	34,6
Jumlah		287,3	332,2	312,5
Rata-rata		31,9	36,9	34,7

Lampiran 2. Kondisi Meteorologi Kota Yogyakarta

Sumber: BMKG Stasiun Kelas 1 Gamping

Suhu Rata-rata (°C)

No	Tahun	Bulan												Mean
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	2013	26,4	26,5	27	27	26,7	26,3	25,2	25	25,1	25,6	26,3	26	26,09167
2	2014	25,8	26,1	26,8	26,7	27,1	26,6	25,3	25,3	25,5	27,5	26,7	26,2	26,3
3	2015	26,2	26,2	26,3	26,4	26,2	25,8	24,6	24,8	25,6	26,8	27,8	26,9	26,13333
4	2016	27,5	26,5	26,8	27,3	27,2	26,4	26,5	26,1	26,8	26,7	26,3	26,4	26,70833
5	2017	26	26,1	26,3	26,5	26,4	26,3	25,1	25,1	25,8	26,9	25,8	26,3	26,05
6	2018	25,9	26	26,4	27	26,2	25,6	24,2	24,4	25,7	27,1	27	26,5	26

Curah Hujan

No	Tahun	Rata-rata	Bulan												Mean
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	2013	mm	834,00	319,00	205,00	249,00	130,00	84,00	0,00	0,00	0,00	74,00	146,00	222,00	188,58
		hh/hd	16,00	13,00	14,00	12,00	8,00	6,00	0,00	0,00	0,00	4,00	8,00	9,00	7,50
2	2014	mm	254,00	311,00	200,00	184,00	62,00	18,00	33,00	0,00	0,00	0,00	304,00	289,00	137,92
		hh/hd	21,00	17,00	12,00	12,00	7,00	4,00	3,00	0,00	0,00	0,00	17,00	19,00	9,33
3	2015	mm	366,00	332,00	313,00	303,00	172,00	14,00	0,00	0,00	0,00	32,00	228,00	239,00	166,58
		hh/hd	19,00	17,00	21,00	16,00	7,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	7,00	10,00	8,42
4	2016	mm	152,00	323,00	425,00	184,80	137,80	296,50	105,90	94,50	237,20	324,20	508,20	267,80	254,74
		hh/hd	19,00	20,00	24,00	19,00	19,00	15,00	17,00	12,00	18,00	21,00	25,00	27,00	19,67
5	2017	mm	291,80	348,50	402,90	243,40	45,70	9,20	12,70	0,00	63,00	60,10	692,50	372,50	211,86
		hh/hd	28,00	24,00	21,00	20,00	7,00	5,00	4,00	1,00	6,00	14,00	25,00	22,00	14,75
6	2018	mm	464,10	337,00	190,90	107,50	10,80	17,40	0,00	1,10	20,60	0,00	275,40	177,60	133,53
		hh/hd	31,00	19,00	15,00	14,00	8,00	6,00	0,00	5,00	8,00	0,00	17,00	22,00	12,08

Kelembapan Udara (%)

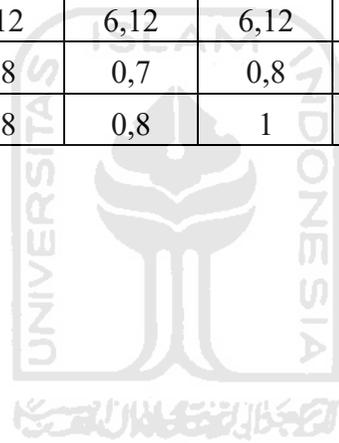
No	Tahun	Bulan												Mean
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	2013	88	89	87	87	89	90	88	83	81	80	84	88	86,16667
2	2014	88	87	84	87	85	83	85	78	78	76	84	88	83,58333
3	2015	85	85	86	87	84	82	80	79	77	79	81	88	82,75
4	2016	86	89	89	88	88	88	86	84	85	87	89	87	87,16667
5	2017	88	88	87	88	83	84	84	81	81	84	90	86	85,33333
6	2018	87	87	86	86	83	83	81	82	83	79	84	87	84

Tekanan Udara (mb)

No	Tahun	Bulan												Mean
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	2013	1014	1012,9	1014,7	1013,8	1014,1	1013,2	1015,2	1017	1012,2	1017,2	1014,2	1013,8	1014,358
2	2014	996,5	995,6	996	996,6	996,5	996,2	998,2	998,9	999,7	998,8	997,3	996,2	997,2083
3	2015	996,9	996,7	997,4	996,3	998,1	998,3	998,9	999,3	1000	999,8	997,2	997,2	998,0083
4	2016	1014,8	1014,5	1014,8	1013,9	1013,7	1014,8	1013,9	1014,3	1013,9	1013,4	1013,4	1012,3	1013,975
5	2017	994,3	995	995,1	995,6	995,8	996,3	997,4	997,1	997,2	996	993,6	994,5	995,6583
6	2018	993	995,1	994,6	994,7	995,5	996,7	997	997,8	997,6	997,2	996,3	995,6	995,925

Kecepatan Angin (m/s)

No	Tahun	Bulan												Mean
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	2013	5,4	5	4,6	4,1	2,7	3,6	4,6	4,6	4,1	4,9	4,7	3,5	4,316667
2	2014	0,8	0,7			0,7	0,8	0,7	1	0,2	1,2	0,9	0,9	0,79
3	2015	1,2				0,5	0,4	0,8	1		1			0,816667
4	2016	7,14	6,12	7,14	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	3,06	8,67	8,16	8,67	6,63
5	2017	0,9	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	1	1,1	1	0,8	1	0,9
6	2018	0,8	1	0,9	0,8	0,8	0,8	1	0,9	1,1	1,2	1	1,1	0,95



Lampiran 3. Data Statistika Kota Yogyakarta

Sumber: Badan Pusat Statistika Kota Yogyakarta

Data Kependudukan Kota Yogyakarta

No	Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Laki-laki (Jiwa)	Perempuan (Jiwa)
1	2016	417.744	203.845	213.899
2	2017	422.732	206.421	216.311
3	2018	427.498	208.792	218.706

Data Jumlah Industri

No	Tahun	Jumlah Industri (unit)
1	2016	154
2	2017	180
3	2018	186

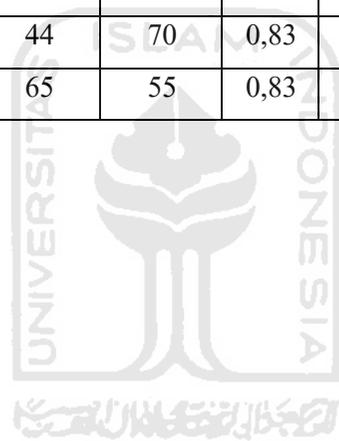
Lampiran 4. Data Kuisisioner

Sumber: Data Primer Kuisisioner dengan responden pedagang

No	Nama Responden	Konsentrasi SO ₂ di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
1	PMK 1	0,0349	12	312	33	52	85	0,83	0,0013	0,0036	0,14	0,38	TB
2	PMK 2	0,0349	8	312	15	52	74	0,83	0,0020	0,0068	0,22	0,72	TB
3	PMK 3	0,0349	12	312	12	48	58	0,83	0,0019	0,0076	0,20	0,81	TB
4	PMK 4	0,0349	12	312	10	35	52	0,83	0,0008	0,0064	0,08	0,68	TB
5	PMK 5	0,0349	12	312	5	30	62	0,83	0,0017	0,0039	0,17	0,41	TB
6	PMK 6	0,0349	8	312	17	62	68	0,83	0,0007	0,0040	0,07	0,42	TB
7	PMK 7	0,0349	9	312	7	53	74	0,83	0,0005	0,0041	0,05	0,43	TB
8	PMK 8	0,0349	8	312	5	29	65	0,83	0,0021	0,0034	0,22	0,36	TB
9	PMK 9	0,0349	7	312	25	57	68	0,83	0,0021	0,0034	0,22	0,36	TB
10	DHT 1	0,0223	8	312	4	30	70	0,83	0,0002	0,0024	0,03	0,26	TB
11	DHT 2	0,0223	6	312	28	60	50	0,83	0,0018	0,0025	0,19	0,27	TB
12	DHT 3	0,0223	6	312	15	57	75	0,83	0,0006	0,0017	0,07	0,18	TB
12	PKU 1	0,0332	12	312	8	46	50	0,83	0,0015	0,0075	0,16	0,80	TB
14	PKU 2	0,0332	10	312	10	38	56	0,83	0,0014	0,0056	0,15	0,59	TB

No	Nama Responden	Konsentrasi SO2 di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
15	PKU 3	0,0332	5	312	16	47	65	0,83	0,0006	0,0016	0,07	0,17	TB
16	PKU 4	0,0332	10	312	15	56	50	0,83	0,0024	0,0063	0,25	0,66	TB
17	DPB 1	0,0259	9	312	17	45	45	0,83	0,0021	0,0049	0,22	0,52	TB
18	DPB 2	0,0259	7	312	10	48	68	0,83	0,0006	0,0026	0,07	0,27	TB
19	DPB 3	0,0259	12	312	16	43	70	0,83	0,0017	0,0042	0,18	0,44	TB
20	DPB 4	0,0259	6	312	11	52	47	0,83	0,0009	0,0031	0,09	0,33	TB
21	DPB 5	0,0259	6	312	20	65	60	0,83	0,0012	0,0025	0,13	0,26	TB
22	DPB 6	0,0259	9	312	17	44	68	0,83	0,0014	0,0032	0,15	0,34	TB
23	DPB 7	0,0259	10	312	35	57	70	0,83	0,0031	0,0035	0,32	0,37	TB
24	DPB 8	0,0259	9	312	17	40	67	0,83	0,0014	0,0033	0,15	0,35	TB
25	DPB 9	0,0259	7	312	15	45	63	0,83	0,0010	0,0027	0,11	0,29	TB
26	DPB 10	0,0259	15	312	20	52	46	0,83	0,0040	0,0080	0,42	0,85	TB
27	DPB 11	0,0259	10	312	12	48	68	0,83	0,0011	0,0036	0,11	0,38	TB
28	DPB 12	0,0259	10	312	14	56	46	0,83	0,0019	0,0053	0,20	0,56	TB
29	DPB 13	0,0259	10	312	15	47	50	0,83	0,0018	0,0049	0,19	0,52	TB
30	DPB 14	0,0259	10	312	20	54	68	0,83	0,0018	0,0036	0,19	0,38	TB
31	DPS	0,0258	7	312	10	53	70	0,83	0,0006	0,0024	0,06	0,26	TB

No	Nama Responden	Konsentrasi SO ₂ di Udara / C (mg/m ³)	Waktu Paparan / t _E (jam/hari)	Frekuensi Paparan / f _E (hari/tahun)	Durasi Paparan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / W _b (kg)	R	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	Intake Realtime (mg/kg/hari)	RQ Realtime (mg/kg/hari)	RQ Lifetime (mg/kg/hari)	Tingkat Risiko
32	SKB	0,0379	7	312	23	55	60	0,83	0,0024	0,0042	0,25	0,44	TB
33	KJ	0,0347	6	312	21	57	44	0,83	0,0023	0,0045	0,25	0,47	TB
34	DHM	0,0382	10	312	15	44	70	0,83	0,0019	0,0052	0,20	0,55	TB
35	JTX	0,0597	6	312	30	65	55	0,83	0,0046	0,0062	0,49	0,65	TB



RIWAYAT HIDUP

Perkenalkan nama saya Alda Fadila Putra, lahir di Semarang, 11 Oktober 1997. Putra ke 1 dari ayah yang bernama Sri Hadijanto PH dan ibu yang bernama Nur Indah Rahayu. Menempuh pendidikan dasar (SD) di SD Muhammadiyah Sopen Yogyakarta, melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Yogyakarta, lalu melanjutkan sekolah menengah atas (SMA) di SMA Muhammadiyah 2 Yogyakarta, dan melanjutkan ke perguruan tinggi di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta di jurusan Teknik Lingkungan.

