

# Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan ( $\text{SO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NO}_2$ dan TSP) Akibat Transportasi Kendaraan Bermotor di Kota Surabaya

Isa Ma'rufi

Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember

Korespondensi: Isa Ma'rufi  
Email: isa\_marufi@yahoo.com

**ABSTRAK:** Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan suatu pendekatan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk identifikasi terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada paparan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan *risk agent* adalah  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ , dan TSP. Penelitian dilaksanakan di Jalan Bundaran waru, Jalan A. Yani, Jalan Darmo dan Jalan Perak untuk melihat risiko kesehatan lingkungan akibat pencemaran udara kendaraan bermotor dengan waktu penelitian adalah bulan Juli 2015. Data yang digunakan adalah data primer. Variabel pada penelitian ini adalah identifikasi bahaya, identifikasi sumber, analisis paparan, analisis dosis-respon, karakterisasi risiko, dan manajemen risiko kesehatan lingkungan. Hasil penelitian untuk kadar *risk agent* menunjukkan bahwa kadar  $\text{SO}_2$  tertinggi sebesar  $7,3 \text{ mg/m}^3$ , kadar  $\text{H}_2\text{S}$  tertinggi yaitu  $2,10 \text{ mg/m}^3$ , kadar  $\text{NO}_2$  tertinggi yaitu  $4,1 \text{ mg/m}^3$ , dan kadar TSP tertinggi yaitu  $2,46 \text{ mg/m}^3$ . Nilai RQ untuk setiap *risk agent* di lokasi studi seluruhnya menunjukkan di atas 1 (satu), hal itu berarti beberapa gas di udara yang berasal dari kendaraan bermotor sangat berisiko dan membutuhkan pengendalian lingkungan.

**Kata Kunci:** Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan, tingkat risiko, kendaraan bermotor, *risk agent*

**ABSTRACT:** Environmental health risk assessment (EHRA) is a risk management tool that is used to protect the health of the community due to the effects of a bad environment. EHRA is an approach to calculate or predict the risks to human health, including identifying factors of uncertainty, tracking on specific exposures, consider the inherent characteristics to the concern agent and characteristics of the specific target. The research was a descriptive study by *risk agent* which were  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , and TSP. The research was carried out at the Bundaran Waru street, A. Yani street, Darmo street and Perak street with research time of July 2015. Data used is primary data. Variables in the study are the identification of hazards, exposure analysis, the level of risk (RQ), and environmental health risk management. Data analysis technique used is descriptive. The results of research showed that the highest levels of *risk agent*  $\text{SO}_2$  levels is  $7.3 \text{ mg/m}^3$ , the highest levels of  $\text{H}_2\text{S}$  is  $2.10 \text{ mg/m}^3$ , the highest levels of  $\text{NO}_2$  is  $4.1 \text{ mg/m}^3$ , the highest levels of TSP is  $2.46 \text{ mg/m}^3$ . The level of risk (RQ) showed above 1, it means the gas are highly risk to the health and it is advisable to carry out environmental controls.

**Keywords:** environmental health risk assessment; risk level; motor vehicle; *risk agent*

## 1. Pendahuluan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah salah satu alat pengelolaan risiko yang digunakan untuk melindungi kesehatan pada masyarakat akibat efek dari lingkungan yang buruk. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan suatu pendekatan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk identifikasi terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. Dalam peraturan perundang-undangan Indonesia ARKL merupakan pendekatan ADKL. Landasan hukum ARKL untuk ADKL antara lain yaitu PerMenLH No 08/2006 tentang Pedoman Penyusunan Amdal, dan KepMenKes No 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis ADKL. ARKL yang digunakan sebagai pendekatan ADKL merupakan alat untuk mengenal, memahami, dan meramalkan kondisi dan karakteristik lingkungan yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan sebagai dasar untuk menyusun atau mengembangkan pengelolaan dan pemantauan risiko kesehatan lingkungan. ARKL juga merupakan suatu metode yang *adequate* untuk melakukan kajian dampak kesehatan kasus-kasus pencemaran secara umum [1, 2].

Louvar & Louvar (1998), mendefinisikan ARKL merupakan kerangka ilmiah untuk memecahkan permasalahan lingkungan dan kesehatan [3]. US-EPA mendefinisikan ARKL adalah evaluasi ilmiah dampak kesehatan potensial yang dapat terjadi karena pajanan zat tertentu atau campurannya pada kondisi spesifik [4, 5]. Sedangkan PPCS mendefinisikan ARKL merupakan proses memprakirakan risiko pada suatu organisme, sistem atau (sub) populasi sasaran, dengan segala ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agen tertentu, dengan memperhatikan karakteristik agen dan sasaran yang spesifik [6].

Kadar pencemaran udara ditentukan oleh

adanya zat-zat seperti karbon monoksida, debu/partikel, sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>2</sub>), hidrokarbon dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) serta partikel (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP). Zat-zat tersebut dapat mengakibatkan dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia seperti sakit kepala, sesak nafas, iritasi mata, batuk, iritasi saluran pernafasan, rusaknya paru-paru, bronkhitis, dan menimbulkan kerentanan terhadap virus influenza. Selain manusia zat-zat tersebut juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman, misalnya zat NO<sub>2</sub> dapat menimbulkan bintik-bintik pada daun sampai mengakibatkan rusaknya tulang-tulang daun. Pencemaran udara juga akan menimbulkan kerusakan pada bangunan, misalnya asam sulfat yang terbentuk sebagai hasil reaksi antara SO<sub>3</sub> dengan uap air yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam [7, 8, 9].

Udara dimana di dalamnya terkandung sejumlah oksigen, merupakan komponen esensial bagi kehidupan, baik manusia maupun makhluk hidup lainnya. Udara merupakan campuran dari gas, yang terdiri dari sekitar 78% Nitrogen; 20% Oksigen; 0,93% Argon; 0,03% Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dan sisanya terdiri dari Neon (Ne), Helium (He), Metana (CH<sub>4</sub>) dan Hidrogen (H<sub>2</sub>). Udara dikatakan "normal" dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila komposisinya seperti tersebut di atas. Sedangkan apabila terjadi penambahan gas-gas lain yang menimbulkan gangguan serta perubahan komposisi tersebut, maka dikatakan udara sudah tercemar/terpolusi [10].

Pencemaran udara disamping berdampak langsung bagi kesehatan manusia/individu, juga berdampak tidak langsung bagi kesehatan. Efek SO<sub>2</sub> terhadap *vegetasi* dikenal dapat menimbulkan pemucatan pada bagian antara tulang atau tepi daun. Emisi oleh Fluor (F), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), dan Ozon (O<sub>3</sub>) mengakibatkan gangguan proses asimilasi pada tumbuhan. Pada tanaman sayuran yang terkena/mengandung pencemar Pb yang pada akhirnya memiliki potensi bahaya kesehatan masyarakat apabila tanaman sayuran

tersebut di konsumsi oleh manusia [10].

Hasil penelitian pendahuluan terhadap pencemaran udara di Kota Surabaya semakin mengkhawatirkan. Hal tersebut terutama akibat berkembangnya jumlah kendaraan dan pembangunan kota yang tidak ramah lingkungan. Tingginya tingkat pencemaran udara di Surabaya antara lain disebabkan penambahan jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan pembangunan jalan. Hal tersebut didukung pula dengan tidak adanya peraturan pembatasan penggunaan kendaraan. Selain itu, pembangunan gedung-gedung tidak sepenuhnya memperhatikan dampak kelancaran lalu lintas. Akibatnya, bermunculan titik rawan kemacetan seperti di daerah Waru, Jalan Diponegoro, dan Jalan Ahmad Yani.

Tujuan dari studi analisis analisis risiko kesehatan lingkungan akibat pencemaran kendaraan bermotor di Kota Surabaya adalah pertama, memperkirakan tingkat risiko kesehatan warga yang tinggal di pinggir jalan utama di Kota Surabaya. Kedua, mengidentifikasi lokasi studi yang dilakukan aman untuk dihuni masyarakat atau tidak. Dan ketiga, merumuskan pengelolaan dan pengendalian risiko kesehatan jika lokasi studi tidak aman untuk dihuni masyarakat.

## 2. Metode

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan *risk agent* adalah  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NO_2$ , dan TSP. Penelitian dilaksanakan di jalan-jalan utama kota Surabaya untuk melihat risiko kesehatan lingkungan akibat pencemaran udara kendaraan bermotor dengan waktu penelitian bulan Juli 2015. Sumber data yang dipakai adalah data primer dengan melakukan pengukuran di jalan-jalan utama Surabaya, yaitu di Jalan Bundaran Waru, Jalan A. Yani, Jalan Darmo, dan Jalan Perak. Variabel pada penelitian ini adalah identifikasi bahaya, identifikasi sumber, analisis pajanan, analisis dosis-respon, karakterisasi risiko, dan manajemen risiko kesehatan lingkungan. Karakteristik risiko dinyatakan dengan tingkat

risiko (*Risk Quotient*) merupakan pembagian antara asupan inhalasi ( $I$ ) dan *reference concentration* ( $RfC$ ) (persamaan 1). Selain itu untuk menentukan asupan inhalasi dibutuhkan juga parameter antropometri (berat badan dan laju inhalasi), pola aktivitas (waktu, frekuensi dan durasi pemajanan) dan sebagainya. Tingkat risiko dihitung dengan persamaan 1 dan asupan inhalasi ( $I$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan 2 [3].

$$Risk\ Quotient\ (RQ) = \frac{I}{RfC} \quad (1)$$

$$Inhalasi\ (I) = \frac{CR\ f_E\ Dt}{W_b\ t_{avg}} \quad (2)$$

Keterangan:

- $I$  = Asupan inhalasi (mg *risk agent*/kg berat badan individu/hari)
- $C$  = Konsentrasi *risk agent* di udara (mg *risk agent*/m<sup>3</sup> udara)
- $R$  = Laju inhalasi (m<sup>3</sup> udara/jam)
- $t_E$  = Lama pajanan (jam/hari)
- $f_E$  = Frekuensi pajanan, 350 hari/tahun untuk nilai *default residential*
- $Dt$  = Durasi pajanan, 30 tahun untuk *default* bagi populasi *residential*
- $W_b$  = Berat badan individu (kg)
- $t_{avg}$  = Periode waktu rata-rata ( $Dt$  365 hari/tahun untuk nonkarsinogen, 70 tahun, 365 hari/tahun untuk karsinogen)

Manajemen risiko kesehatan lingkungan dilakukan dengan empat elemen utama, yaitu evaluasi risiko, pengendalian emisi dan pemajanan serta pemantauan risiko. Manajemen risiko dihitung dengan menggunakan rumus:

- Konsentrasi maksimal yang aman dikonsumsi manusia ( $C$  max aman).
- Laju konsumsi maksimal yang aman bagi manusia ( $R$  max aman)

- Asumsi yang digunakan adalah RQ= 1  
Perhitungan konsentrasi aman dan laju konsumsi aman adalah:

$$R = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times Dt}$$

Metode pengambilan keputusan adalah:

- Apabila konsentrasi awal > konsentrasi max. aman, maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk menurunkan konsentasi, seperti memperbaiki kondisi lingkungan, dll.
- Apabila laju asupan awal > laju asupan max. aman, maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk menurunkan laju asupan dengan mengurangi waktu tinggal/waktu papar, dll.

### 3. Hasil dan pembahasan

Hasil pengukuran terhadap *Risk agent* (RQ) pencemar udara akibat kendaraan bermotor di jalan utama Kota Surabaya dengan alat yang digunakan dalam pengambilan sampel TSP

adalah *Dust Sampler* dan untuk pengukuran unsur pencemar Pb menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang dilakukan menunjukkan bahwa kadar SO<sub>2</sub> tertinggi di jalan Bundaran Waru sebesar 7,3 mg/m<sup>3</sup>; kadar H<sub>2</sub>S tertinggi di Bundaran Waru yaitu 2,10 mg/m<sup>3</sup>; kadar NO<sub>2</sub> tertinggi di jalan A. Yani yaitu 4.1 mg/m<sup>3</sup>; dan kadar TSP tertinggi di Bundaran Waru yaitu 2,46 mg/m<sup>3</sup>. Lebih jelas bisa dilihat pada tabel 1.

Nilai *default* untuk parameter antropometri dan pola aktivitasnya mengacu terhadap tabel 2 [4,11].

Untuk menghitung *risk quotient* dibutuhkan nilai dosis responnya (*RfC*, mg/kg/hari), adapun nilainya tersebut tercantum dalam tabel 3 [12].

Karakteristik risiko dihitung berdasarkan setiap segmen populasi dengan nilai *default* untuk laju inhalasi, berat badan, durasi pajanan dan frekuensi mengacu terhadap tabel 4.

Sedangkan untuk periode waktu rata-ratanya (*t<sub>avg</sub>*) adalah 6 tahun (365 hari/tahun) untuk subpopulasi anak-anak dan 30 tahun (365 hari/tahun) untuk subpopulasi dewasa (ibu rumah tangga) serta pekerja. Berikut ini adalah tabel yang

**Tabel 1.** Konsentrasi gas dan debu di Jalan Utama Kota Surabaya

No.	Daerah/Lokasi	Konsentrasi Gas dan Debu (diolah dalam mg/m <sup>3</sup> )			
		SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NO <sub>2</sub>	TSP
1	Bundaran Waru	7,3	2,10	3,7	2,46
2	Jalan A. Yani (depan Polda)	6,8	1,30	4,1	2,12
3	Jalan A. Yani (depan RSAL)	6,4	1,70	2,8	1,83
4	Jalan Darmo (depan masjid Alfalah)	7,2	1,20	3,3	2,35
5	Jalan Perak	6,3	1,50	3,5	2,07

**Tabel 2.** Nilai *default* untuk parameter antropometri

Reseptor	Laju Inhalasi (m <sup>3</sup> /jam)	F. pajanan (jam)	Berat Badan (Kg)	Durasi Pajanan (thn)	Frekuensi (hari/thn)
Anak-anak	0,5 <sup>a</sup>	18 (6 jam sekolah di luar lokasi) <sup>c</sup>	15 <sup>a</sup>	2 <sup>c</sup>	350 <sup>a</sup>
Dewasa (IRT)	0,83 <sup>a</sup>	24 <sup>c</sup>	55 <sup>b</sup>	2 <sup>c</sup>	350 <sup>a</sup>
Pekerja	0,83 <sup>a</sup>	14 (10 jam bekerja di luar lokasi) <sup>c</sup>	70 <sup>a</sup>	2 <sup>c</sup>	350 <sup>a</sup>

Sumber : <sup>a</sup> U.S.EPA (1990), <sup>b</sup> Nukman *et al.* (2005), <sup>c</sup> Asumsi penulis

**Tabel 3.** Nilai dosis respon *risk agent*

No.	Agen Risiko	RfC	Efek Kritis dan Sumber Data (Referensi)
1.	SO <sub>2</sub>	2,6E-2	Gangguan saluran pernafasan (Nukman <i>et al.</i> , 2005; Rahman <i>et al.</i> , 2008; US-EPA, 1990a)
2.	NO <sub>2</sub>	2E-2	Gangguan saluran pernafasan (Kolluru, 1996; US-EPA, 1990a)
3.	H <sub>2</sub> S	2E-3	Lesi nasal lendir olfaktori pada uji hayati tikus inhalasi subkronik (Brenneman, James, Gross, & Dorman, 2000). Revisi terbaru 28 Juli 2003
4.	TSP	2,42	Gangguan saluran pernafasan (Nukman <i>et al.</i> , 2005; Rahman <i>et al.</i> , 2008; US-EPA, 1990a)

Sumber : Data *on-line* diperoleh dari IRIS per 2 Mei 2012.

**Tabel 4.** Tingkat resiko (*RQ*) SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan TSP untuk populasi anak-anak, dewasa (IRT) dan pekerja dengan BB 15 kg, 55 kg dan 70 kg dan  $f_E$  350 hari/tahun.

No.	Lokasi	Populasi Anak-Anak			
		SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NO <sub>2</sub>	TSP
1.	Bundaran Waru	35,897	8,9498	23,653	13,105
2.	Jalan A. Yani (depan Polda)	33,439	5,5403	26,21	11,294
3.	Jalan A. Yani (depan RSAL)	31,472	7,2451	17,9	9,7489
4.	Jalan Darmo (depan masjid Alfalah)	35,406	5,1142	21,096	12,519
5.	Jalan Perak	30,98	6,3927	22,374	11,027

No.	Lokasi	Populasi Dewasa			
		SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NO <sub>2</sub>	TSP
1.	Bundaran Waru	9,7902	2,4408	6,4508	3,5741
2.	Jalan A. Yani (depan Polda)	9,1196	1,511	7,1482	3,0801
3.	Jalan A. Yani (depan RSAL)	8,5832	1,9759	4,8817	2,6588
4.	Jalan Darmo (depan masjid Alfalah)	9,6561	1,511	7,1482	3,0801
5.	Jalan Perak	8,4491	1,7435	6,1021	3,0075

No.	Lokasi	Populasi Pekerja			
		SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NO <sub>2</sub>	TSP
1.	Bundaran Waru	7,6923	1,9178	5,0685	2,8082
2.	Jalan A. Yani (depan Polda)	7,1654	1,1872	5,6164	2,4201
3.	Jalan A. Yani (depan RSAL)	6,7439	1,5525	3,8356	2,089
4.	Jalan Darmo (depan masjid Alfalah)	7,5869	1,0959	4,5205	2,6826
5.	Jalan Perak	6,6386	1,3699	4,7945	2,363

menyajikan nilai-nilai *RQ* secara keseluruhan.

Berdasarkan tabel 4, secara keseluruhan nilai *RQ* untuk setiap *risk agent* di lokasi studi menurut segmentasi populasinya seluruhnya menunjukkan di atas 1 (satu). Hal itu berarti beberapa gas di

udara yang berasal dari kendaraan bermotor sangat berisiko dan membutuhkan pengendalian. Kemungkinan efek toksisitasnya baru dirasakan 6 (enam) tahun kedepan bagi anak-anak dan 30 tahun bagi ibu rumah tangga serta pekerja

laki-laki. Adapun perbandingan nilai frekuensi  $RQ$  per segmentasi populasi di seluruh wilayah jika dirinci, adalah sebagai berikut anak-anak > dewasa (ibu rumah tangga) > pekerja.

*Risk quotient* untuk  $\text{SO}_2$  semuanya berada di atas 1 (satu), yakni berkisar antara 6,638 – 35,897. Perbandingan nilai  $RQ$   $\text{SO}_2$  berdasarkan wilayah adalah Bundaran Waru > Jalan Darmo > Jalan A. Yani (RSAL) > Jalan A. Yani (Polda) > Jalan Perak. Sedangkan untuk *risk quotient*  $\text{NO}_2$  adalah berkisar di antara 3,835–23,65. Perbandingan nilai  $RQ$  nya untuk  $\text{NO}_2$  berdasarkan wilayahnya adalah Bundaran Waru > Jalan A. Yani (RSAL) > Jalan A. Yani (Polda) > Jalan Darmo > Jalan Perak. Adapun nilai frekuensi  $RQ$   $\text{H}_2\text{S}$  berkisar antara 1,09–8,95. Perbandingan nilai  $RQ$   $\text{H}_2\text{S}$  berdasarkan wilayahnya adalah Bundaran Waru > Jalan A. Yani (RSAL) > Jalan A. Yani (Polda) > Jalan Darmo > Jalan Perak. Nilai  $RQ$  TSP berkisar di antara 2,089–3,6588. Perbandingan nilai  $RQ$  TSP berdasarkan wilayahnya adalah Jalan A. Yani (RSAL) > Bundaran Waru > Jalan A. Yani (Polda) > Jalan Darmo > Jalan Perak.

Berdasarkan tabel 4 tersebut, *risk agent* menurut *risk quotient* nya yang paling dominan atau besar di setiap jalan utama di Kota Surabaya adalah  $\text{SO}_2$  dan yang paling tidak dominan atau kecil adalah  $\text{H}_2\text{S}$ .  $\text{SO}_2$  merupakan senyawa oksida belerang yang toksik dan pencemar yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan dan kardiovaskular. Hal ini karena gas  $\text{SO}_2$  yang mudah menjadi asam tersebut menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran napas yang lain sampai ke paru-paru. Serangan gas  $\text{SO}_2$  tersebut menyebabkan iritasi pada bagian tubuh yang terkena. Jika terjadi iritasi pada saluran pernafasan,  $\text{SO}_2$  dan partikulat bisa menyebabkan pembengkakan membran mukosa. Pembentukan mukosa menimbulkan hambatan aliran udara pada saluran pernafasan. Kondisi ini akan menjadi lebih parah bagi kelompok yang peka, seperti penderita penyakit jantung atau paru-paru, dan para lanjut usia [7,8,13].

Menurut Cahyono, di daerah perkotaan terutama kota-kota besar di Indonesia, pencemaran udara telah menjadi suatu permasalahan yang serius. Tanpa disadari, kualitas udara di perkotaan sebenarnya telah menurunkan kualitas hidup masyarakat kota, khususnya di kawasan transportasi dan industri [14]. Sumber utama dari  $\text{SO}_2$  adalah pembakaran bahan bakar fosil, seperti kendaraan bermotor, pembangkit listrik tenaga batubara dan gunung berapi [15].  $\text{SO}_2$  merupakan gas tak berwarna yang menimbulkan rasa jika konsentrasinya 0,3 ppm dan menghasilkan bau yang kuat pada tingkat konsentrasi yang lebih besar dari 0,5 ppm.  $\text{SO}_2$  adalah gas yang dapat diserap oleh selaput lendir hidung dan saluran pernafasan. Konsentrasi tinggi  $\text{SO}_2$  dapat mengganggu fungsi paru atau menimbulkan penyakit pernafasan lainnya [15].

Hasil pengukuran terhadap kadar  $\text{H}_2\text{S}$  tertinggi yaitu di Bundaran Waru sebesar 2,10  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) merupakan suatu gas tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur busuk. Nama kimia asam sulfida ini adalah dihidrogen sulfida dan dikenal juga sebutan sebagai gas rawa atau asam sulfida [16]. Pada konsentrasi rendah dapat menyebabkan iritasi mata, hidung atau kerongkongan. Bahkan dapat terjadi kesulitan pernapasan pada penderita asma. Konsentrasi lebih tinggi dari 500 ppm dapat mengakibatkan hilangnya kesadaran dan mungkin kematian. Hal ini disebabkan hidrogen sulfida menghambat enzim *cytochrome oxidase* sebagai penghasil oksigen sel. Metabolisme anaerobik menyebabkan akumulasi asam laktat yang mendorong ke arah ketidakseimbangan asam-basa. Sistem jaringan saraf berhubungan dengan jantung terutama sekali peka kepada gangguan metabolisme oksidasi, sehingga terjadi kematian dan terhentinya pernapasan [17].

Hasil pemeriksaan untuk kadar  $\text{NO}_2$  tertinggi yaitu di jalan A. Yani sebesar 4,1  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Sifat toksik gas  $\text{NO}_2$  empat kali lebih kuat daripada toksisitas gas  $\text{NO}$ . Organ Tubuh yang paling peka

terhadap pencemaran gas  $\text{NO}_2$  adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas  $\text{NO}_2$  akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat menyebabkan kematiannya. Udara yang mengandung gas NO dalam batas normal relatif aman dan tidak berbahaya, kecuali bila gas NO berada dalam konsentrasi tinggi. Konsentrasi gas NO yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem syaraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut akan dapat menyebabkan kelumpuhan. Gas NO akan menyebabkan lebih berbahaya apabila gas itu teroksidasi oleh oksigen sehingga menjadi gas  $\text{NO}_2$  [18].  $\text{NO}_2$  juga sangat reaktif dan telah dilaporkan menyebabkan bronchitis dan pneumonia, dan juga meningkatkan kerentanan terhadap infeksi pernafasan [19].

Kadar TSP tertinggi yaitu di Bundaran Waru sebesar  $2,46 \text{ mg/m}^3$ . Tingginya kadar TSP di Bundaran Waru bisa diterima karena kepadatan kendaraan di Bundaran Waru sangat tinggi yang menghubungkan antara Sidoarjo, Mojokerto dan Surabaya. Selain dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kendaraan bermotor, fluktuasi konsentrasi TSP dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembaban, dan kecepatan angin [9]. Tidak hanya itu, pergerakan dan lama atau tidaknya aktivitas bis ketika menunggu (*idle time*) juga dapat mempengaruhi konsentrasi pencemar. Kendaraan yang bergerak pelan memerlukan konsumsi bahan bakar yang lebih besar daripada saat bergerak dengan kecepatan sedang [20]. Partikel debu mempunyai diameter  $0,001\text{-}500 \mu\text{m}$ , partikel menjadi perhatian bersama karena diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernafasan, karena partikel padat dapat mengendap pada saluran pernafasan daerah bronki dan alveoli [7,8].

#### 4. Kesimpulan dan saran

Berdasarkan perhitungan risiko dan kajian terhadap beberapa risk agent di setiap jalan utama

di Kota Surabaya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan pertama, kadar  $\text{SO}_2$  tertinggi di Bundaran Waru sebesar  $7,3 \text{ mg/m}^3$ , kadar  $\text{H}_2\text{S}$  tertinggi di Bundaran Waru yaitu  $2,10 \text{ mg/m}^3$ , kadar  $\text{NO}_2$  tertinggi di Jalan A. Yani yaitu  $4,1 \text{ mg/m}^3$ , dan kadar TSP tertinggi di Bundaran Waru yaitu  $2,46 \text{ mg/m}^3$ . Kedua, *risk agent* berdasarkan nilai frekuensi karakteristik risikonya yang paling besar rata-rata di setiap jalan utama di Kota Surabaya adalah zat  $\text{SO}_2$  dan terendah  $\text{H}_2\text{S}$ . Ketiga, seluruh lokasi jalan utama di Kota Surabaya tidak aman untuk dijadikan tempat tinggal.

Berdasarkan kesimpulan di atas, pengendalian yang paling mendesak adalah dengan menggalakkan program langit biru, menggalakkan penanaman tumbuhan, melarang penduduk untuk bertempat tinggal di sepanjang jalan utama, dan penduduk bisa pindah ke tempat yang lebih aman dari paparan *risk agent* karena manajemen risiko yang dilakukan terkait pengurangan konsentrasi dan waktu pajanan ( $t_E$  dan  $f_E$ ) sudah tidak realistis, atau dapat juga dengan penggunaan masker, namun hanya bersifat sementara.

#### Daftar pustaka

1. Rahman A. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Kajian Aspek Kesehatan Masyarakat dalam studi AMDAL dan Kasus-Kasus Pencemaran Lingkungan). Depok: Pusat kajian Kesehatan Lingkungan dan Industri Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indoensia; 2007.
2. Balitbangkes. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Jakarta: Balitbang Kesehatan Kementerian Kesehatan; 2013.
3. Louvar JF, Louvar BD. Health and Environmental Risk Analysis: Fundamentals with Application. New Jersey: Prentice Hall; 1998.
4. US-EPA. Exposure Factors Handbook, EPA 600/8-89/043. Cincinnati, OH: US Environmental Protection Agency; 1990.
5. US-EPA. Seminar Publication: Risk Assessment, management and Communication of Drinking

- Water Contamination EPA/625/4-89/024. Cincinnati, OH: US Environmental Protection Agency; 1990a.
6. IPCS. Environmental Health Criteria: Principles for modeling dose-response for the risk assessment of chemicals (draft). Geneva: World Health Organization and International Programme on Chemical safety; 2004.
  7. Mukono HJ. Toksikologi Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press; 2005.
  8. Mukono HJ. Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press; 2000.
  9. Rahmadini R. Analisis Risiko Total Suspended Particulate (TSP) Pada Tahap Pembangunan Jalan Terhadap Kesehatan Pekerja (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Kendal-Batas Kota Semarang, Jawa Tengah). Fakultas Teknik. Semarang: Universitas Diponegoro; 2015.
  10. Kastiyowati I. Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara. [diakses pada: 4 April 2009]. Tersedia pada: <http://buletinlitbang.dephan.go.id/index.asp>.
  11. Nukman A, Rahman A, Warouw S, Ichsan M, Setiadi, Akib CR. Analisis dan Manajemen Risiko Kesehatan pencemaran Udara: Studi Kasus di Sembilan Kota Besar padat Transportasi. *J Ekolog Kesehatan*. 2005; 4(2):270-89.
  12. IRIS. 2012. Integrated Risk Information System List of Substance. [diakses pada: 5 Juni 2012]. Tersedia pada: <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>.
  13. Depkes. Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya terhadap Kesehatan tahun 2007. [diakses pada: 1 Agustus 2015]. Tersedia pada: <http://www.depkes.go.id/downloads/udara.PDF>.
  14. Cahyono WE. Kajian Tingkat Pencemaran Sulfur Dioksida dari Industri di Beberapa Daerah di Indonesia. *Berita Dirgantara*. 2011; 12(4):132-7.
  15. Jacobson MZ. Atmospheric Pollution. Cambridge: Cambridge University Press, UK; 2002.
  16. ATSDR. Toxicological Profile For Hydrogen Sulfide. US Departement Of Health and Human Services. Public Health Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 2000.
  17. US-EPA. Integrated Risk Information System Toxicity Summary For Hidrogen Sulfide. Cincinnati, OH: US Environmental Protection Agency; 2003.
  18. Wardhana WA. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: penerbit FANDI; 2004.
  19. McGranaham G And Murray F. *Air Pollution & Health In Rapidly Developing Countries*. London: Earthscan Publication; 2003.
  20. Prilina G., Wardhana IW, Sutrisno E. Analisis Sebaran dan Analisis TSP dan Pb di Terminal Bis Terhadap Kesehatan Pengguna Bis. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2016;5(4):1-12.