

ANALISIS RISIKO LOGAM BERAT (Pb DAN Cu) DALAM TOTAL SUSPENDED PARTICULATE (TSP) TERHADAP KESEHATAN SISWA DAN GURU DI SEKOLAH DASAR (STUDI KASUS: SDN PANDEAN LAMPER 01 DAN SDN SRONDOL WETAN 03)

Vinda Agita Ediputri^{*)}, Pertiwi Andarani^{)}, Irawan Wisnu Wardhana^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : vindaagita13@gmail.com

Abstrak

Bertambahnya jumlah penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan alat transportasi yang berpotensi menyebabkan pencemaran udara khususnya kendaraan bermotor. Emisi yang dihasilkan kendaraan bermotor dapat berupa gas maupun partikulat yang dapat terhirup melalui saluran pernapasan sehingga berpengaruh terhadap risiko kesehatan manusia. Adapun Jenis polutan yang sering menjadi permasalahan saat sekarang ini adalah pajanan partikulat di udara khususnya *Total Suspended Particulate* (TSP) yang berukuran $\leq 100 \mu\text{m}$. *Total Suspended Particulate* (TSP) tersebut mengandung berbagai unsur logam berat diantaranya Pb dan Cu yang berbahaya terhadap kesehatan masyarakat sekitar apabila terpapar dalam waktu yang lama. TSP dan logam berat di dalamnya yaitu Pb dan Cu dianalisis untuk mengetahui besarnya konsentrasi pencemar dan nilai risiko terhadap responden yang diteliti yaitu siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03, serta membandingkan hasil analisis risiko antara kedua SD tersebut. Alat yang digunakan dalam pengambilan sampel TSP adalah *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan untuk pengukuran unsur pencemar Pb dan Cu menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*). Tingkat risiko karsinogenik *Cancer Risk Ingestion* (CRing) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper sebesar $1,85 \times 10^{-6}$ berisiko karsinogen karena berada dalam batas toleransi risiko kanker yaitu 10^{-6} - 10^{-4} , sedangkan CRing Pb tertinggi SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $7,05 \times 10^{-7}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Cancer Risk Inhalation* (CRinh) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $5,002 \times 10^{-10}$ dan $1,9 \times 10^{-10}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Hazard Index* (HI) tertinggi di SDN Pandean Lamper dan *hazard Index* (HI) Pb tertinggi di SDN Sronдол Wetan sebesar 0,971 dan 0,289, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,971 dan 0,289 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1. *Hazard Index* (HI) Cu tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Sronдол Wetan sebesar 0,106 dan 0,098, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,106 dan 0,098 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1.

Kata Kunci : Total partikulat tersuspensi, logam Pb, logam Cu, risiko karsinogen, risiko non karsinogen

Abstract

Increasing population causes the increasing demand for transportation equipment that has the potential to cause air pollution, especially motor vehicles. Emissions generated by motor vehicles can be either gas or particulates that can be inhaled through the respiratory tract so as to affect human health risks. The type of pollutant that is often the current problem is particulate exposure in the air, especially Total Suspended Particulate (TSP) measuring $\leq 100 \mu\text{m}$. Total Suspended Particulate (TSP) contains a variety of heavy metal elements such as Pb and Cu which are harmful to the health of the surrounding community if exposed for a long time. TSP and heavy metals in Pb and Cu were analyzed to find out the amount of pollutant concentration and risk value to the respondents studied were the students of grade 1, grade 6, the teacher of SDN Pandean Lamper 01 and SDN Sronдол Wetan 03, and

compared the risk analysis result between the two primary The. The tools used in sampling TSP are High Volume Air Sampler (HVAS) and for measurement of Pb and Cu pollutants using ICP (Inductively Coupled Plasma). Carcinogenic risk level Cancer Risk Ingestion (CRing) The highest Pb in SDN Pandean Lamper of 1.85×10^{-6} is carcinogenic risk because it is within the limit of cancer risk tolerance that is 10^{-6} - 10^{-4} , while the highest CRB Pb of SDN Sron dol Wetan 03 is 7.05×10^{-7} is not at risk of cancer because it is below the cancer risk tolerance limit of 10^{-6} - 10^{-4} . Cancer Risk Inhalation (CRinh) The highest Pb in SDN Pandean Lamper and SDN Sron dol Wetan 03 of $5,002 \times 10^{-10}$ and 1.9×10^{-10} are not at risk of cancer because it is below the cancer risk tolerance limit of 10^{-6} - 10^{-4} . Highest Hazard Index (HI) in SDN Pandean Lamper and hazard Index (HI) highest Pb in SDN Sron dol Wetan 0,971 and 0,289, no risk of non carcinogen because HI value 0,971 and 0,289 below non-carcinogen risk tolerance that is 1. Hazard Index HI) The highest Cu in SDN Pandean Lamper and SDN Sron dol Wetan of 0.106 and 0.098, are not at risk of non-carcinogen because HI values of 0.106 and 0.098 below the non-carcinogen risk tolerance limits are 1.

Keywords: Total suspended particulate (TSP), Pb metal, Cu metal, carcinogenic risk (CR), non carcinogenic risk

PENDAHULUAN

Semarang merupakan Ibukota Provinsi Jawa Tengah yang mempunyai luas 373,73 km² dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat. Dengan bertambahnya jumlah penduduk berarti semakin meningkat pula kebutuhan karena aktifitas masyarakat juga semakin meningkat. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan alat transportasi yang berpotensi menyebabkan pencemaran udara khususnya kendaraan bermotor. Emisi yang dihasilkan kendaraan bermotor dapat berupa gas maupun partikulat yang dapat terhirup melalui saluran pernapasan sehingga berpengaruh terhadap risiko kesehatan manusia. Adapun Jenis polutan yang sering menjadi permasalahan saat sekarang ini adalah pajanan partikulat di udara khususnya *Total Suspended Particulate* (TSP) yang berukuran $\leq 100 \mu\text{m}$. *Total Suspended Particulate* (TSP) tersebut mengandung berbagai unsur logam berat diantaranya Pb dan Cu yang berbahaya terhadap kesehatan masyarakat sekitar apabila terpapar dalam waktu yang lama.

Konsentrasi timbal di udara di daerah perkotaan mencapai 5 sampai 50 kali daripada di daerah-daerah pedesaan. Semakin jauh dari daerah perkotaan, semakin rendah konsentrasi Pb di udara. Timbal yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu berbentuk gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin dari kendaraan bermotor yang terdiri dari tetraetil Pb dan tetrametil Pb, sedangkan partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb-oksida, pembakaran arang, dan sebagainya. Polusi Pb yang terbesar berasal dari pembakaran bensin, dimana dihasilkan berbagai komponen Pb, terutama PbBrCl dan PbBrCl₂PbO (Fardiaz, 1992).

Timbal dapat meracuni lingkungan yang berdampak pada seluruh sistem tubuh. Pada anak-anak, timbal

menurunkan tingkat kecerdasan, pertumbuhan, pendengaran, menyebabkan anemia, dan dapat menimbulkan gangguan pemusatan perhatian dan gangguan tingkah laku. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk menentukan seberapa besar laju asupan, durasi pajanan, frekuensi pajanan dan tingkat risiko kesehatan (*Risk Quotient/RQ*) paparan timbal (Pb) pada anak SD. Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Kota Makassar pada lima kecamatan yaitu kecamatan, Tamalate, Mariso, Ujung Tanah, Tallo dan Biringkanaya. Jenis Penelitian ini adalah observasional dengan menggunakan rancangan analisis risiko kesehatan lingkungan. Jumlah asupan (Ink) timbal (Pb) dalam udara pada responden untuk perhitungan risiko penyakit karsinogen adalah 0,0103 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{hari}$ dan untuk risiko penyakit non karsinogen adalah 0,0242 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{hari}$. Mayoritas responden memiliki nilai $RQ > 1$, yaitu $RQ 2,594$ untuk pajanan risiko karsinogen dan $RQ 6,054$ untuk risiko non karsinogen. Kesimpulannya Adalah Anak sekolah dasar yang menghirup Udara yang tercemar Pb, lebih banyak berisiko, yaitu $RQ > 1$ daripada yang tidak berisiko $RQ < 1$, baik pada RQ karsinogen maupun non karsinogen (Birawida, 2016).

Sedangkan bentuk tembaga (Cu) yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis 3,5 mg/kg. Garam –garam khlorida dan sulfat dalam bentuk terhidrasi yang sebelumnya diduga mempunyai daya racun paling tinggi, ternyata memiliki daya racun yang lebih rendah dari debu-debu Cu. Pada manusia, efek keracunan utama yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap logam Cu adalah terjadinya gangguan pada jalur pernafasan sebelah atas. Efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu tersebut adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Kerusakan itu merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu

tersebut (Fardiaz, 1992).

Dengan permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan pengukuran seberapa besar kandungan logam berat Pb dan Cu dalam TSP dari kendaraan bermotor serta analisis risiko terhadap siswa kelas 6 yang berusia ± 11 tahun dengan durasi pajanan selama 6 tahun dan guru dengan rentang usia dan durasi pajanan yang berbeda di SDN Pandean Lamper 01 yang berada di Jl. Brigjen Sudiarto 105, Gayamsari dan SDN Sronдол Wetan 03 yang berada di Jl. Gaharu Raya Sronдол Wetan, Banyumanik sebagai pembandingan terhadap tingkat pencemaran dan analisis risikonya.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 6 minggu yaitu minggu kedua dan ketiga Bulan Maret 2017 tahap pengambilan sampel, minggu keempat dan kelima Bulan Maret 2017 tahap pengujian sampel TSP, serta minggu kedua dan minggu ketiga Bulan April 2017 tahap pengujian logam berat. Adapun tempat penelitian ini yaitu di SDN Pandeanlamper 01 yang terletak di Jl. Brigjen Sudiarto 105, Gayamsari dengan 2 titik sampling (pintu gerbang dan lapangan) dan di SDN Sronдол Wetan 03 yang terletak di Jl. Gaharu Raya Sronдол Wetan, Banyumanik dengan 2 lokasi titik sampling (pintu gerbang dan lapangan) dengan lama pengambilan sampel selama 1 jam yaitu pukul 06.30 – 07.30 WIB, pemilihan waktu didasarkan pada jam puncak aktivitas yang melewati kedua SD tersebut, baik pekerja maupun siswa yang akan berangkat sekolah. Tempat pengujian sampel TSP dilakukan di Balai Pengujian dan Laboratorium Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah, dan tempat pengujian sampel logam berat dilakukan Laboratorium Kimia Organik Universitas Negeri Semarang.

Pengambilan sampel TSP dengan menggunakan *High Volume Air Sampler* yang selanjutnya dihitung konsentrasinya

dengan metode gravimetri. Kertas filter yang terpapar TSP selanjutnya diuji logam berat yang terkandung di dalamnya dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma* (ICP) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Negeri Semarang. Teknik pengambilan data yang dilakukan untuk menganalisis tingkat risiko logam berat (Pb dan Cu) pada siswa dan guru dengan cara pengukuran langsung yaitu menimbang berat badan siswa kelas 1, kelas 6 dan guru pada kedua SD yaitu SDN Pandeanlamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03, serta melalui wawancara guru SD mengenai frekuensi pajanan, durasi pajanan, waktu rata-rata pajanan, dan usia. Analisis risiko logam berat Pb dan Cu terhadap kesehatan siswa dan guru tersebut selanjutnya dibandingkan antara SDN Pandeanlamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03.

Setelah dilakukan penelitian yang dilakukan dilapangan serta didapat hasil penelitian, kemudian dilakukan analisis pada skala laboratorium dan pembahasan, dimana data-data yang diperoleh selama tahap pelaksanaan penelitian dianalisa dengan literatur yang terkait. Data primer maupun data sekunder yang telah didapatkan kemudian dianalisis sesuai dengan identifikasi masalah sehingga dapat mengetahui keterkaitan antara variabel bebas dan terikat yang digunakan dalam penelitian. Data primer maupun data sekunder yang telah didapat kemudian dianalisis dengan menggunakan program *software Microsoft office excel 2010*. Tahap analisis data meliputi:

1. Perhitungan Konsentrasi TSP.

Perhitungan konsentrasi TSP dilakukan untuk mengetahui konsentrasi TSP di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03 Semarang selama hari sampling. Perhitungan konsentrasi TSP menurut SNI 19-7119.3-2005 dilakukan melalui 3 (Tiga) tahapan yaitu koreksi laju alir pada kondisi standar, perhitungan volume udara

yang diambil dan perhitungan konsentrasi partikel tersuspensi total dalam udara ambien.

2. **Perhitungan Konsentrasi Pb dan Cu di Udara.** Perhitungan konsentrasi unsur Pb dan Cu dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi unsur Pb dan Cu dalam TSP. Pengujian konsentrasi unsur Pb dapat mengacu pada SNI 19-7119.4-2005.
3. **Analisis Tingkat Risiko.** Analisis pemajanan atau *exposure assessment* yang disebut juga penilaian kontak, bertujuan untuk mengenali jalur-jalur pajanan *risk agent* agar jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko bisa dihitung. *exposure assessment* dapat terjadi melalui saluran pernapasan (*inhalation*), saluran pencernaan (*ingestion*), dan kulit (*dermal*). Logam berat dalam partikulat dapat menyebabkan efek non karsinogenik dan efek karsinogenik. *Hazard Quotient* (HQ) digunakan untuk menentukan efek non karsinogenik dari logam berat dalam partikulat, *Hazard Index* (HI) merupakan jumlah dari *Hazard Quotient* (HQ). Apabila nilai HI lebih dari 1, maka menimbulkan efek non karsinogenik. Semakin tinggi nilai HI, semakin tinggi pula kemungkinan terjadi efek non karsinogenik. Sedangkan untuk menentukan efek karsinogenik dengan cara menghitung nilai *Cancer Risk* (CR). Apabila nilai CR kurang dari $10^{-6} - 10^{-4}$, maka dapat menimbulkan efek karsinogenik.
4. **Uji Statistik.** Data yang digunakan dalam penentuan tingkat risiko diantaranya berat badan, durasi pajanan, frekuensi pajanan, waktu rata-rata kerja per hari, serta keluhan yang pernah dialami. Data tersebut didapat dengan membagikan kuesioner kepada 30 siswa kelas 6 dan 30 guru di kedua SD. Kuesioner diolah menggunakan analisis

statistik yang bertujuan untuk mengetahui apakah data yang diperoleh dari hasil penelitian layak atau dapat digunakan sebagai objek penelitian dan untuk mendukung hipotesis penelitian. Uji statistik yang dilakukan adalah uji normalitas, uji homogenitas, uji beda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Konsentrasi TSP di SDN Spondol Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01

Konsentrasi TSP di SDN Spondol Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01 berasal dari adanya aktivitas transportasi yang melalui kedua SD tersebut. TSP terbawa oleh angin dan dapat masuk ke dalam tubuh siswa dan guru melalui proses inhalasi, dermal, maupun ingesti. Konsentrasi TSP pada masing-masing titik berbeda, oleh karena itu pengukuran dilakukan di 2 titik sampling yaitu pintu gerbang dan lapangan sekolah agar dapat diambil konsentrasi TSP rata-rata yang ada di area sekolah. Hasil pengukuran konsentrasi TSP di SDN Spondol Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01 selama 1 jam dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1
Konsentrasi TSP di SDN Spondol Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01 (1 jam)

Lokasi Sampling	Titik Sampling	Konsentrasi TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
SDN Spondol Wetan 03	Pintu Gerbang	202,2 ± 106,91
	Lapangan	101,25 ± 79,55
SDN Pandean Lamper 01	Pintu Gerbang	360,4 ± 80,33
	Lapangan	154,15 ± 72,20

berikut ini.

Konsentrasi diatas diperoleh dari perhitungan berdasarkan SNI 19-7119.3-2005 yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah dengan pengambilan sampel selama 1 jam. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi di masing-masing titik sampling pada kedua SD berbeda, yaitu konsentrasi TSP di Pandean Lamper 01 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi di SDN Sronдол Wetan 03 baik di pintu gerbang maupun lapangan sekolah. Berdasarkan data hasil pengukuran konsentrasi TSP diatas, dapat dilihat bahwa konsentrasi TSP tertinggi di SDN Sronдол Wetan 03 berada di pintu gerbang pada tanggal 13 Maret 2017 dengan konsentrasi $277,8 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi terendah berada di lapangan yaitu sebesar $45 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Adapun konsentrasi TSP tertinggi di SDN Pandean Lamper berada di pintu gerbang pada tanggal 6 Maret 2017 dengan konsentrasi $243,1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi terendah berada di lapangan dengan konsentrasi sebesar $60,1$ pada tanggal 6 Maret 2017. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran A-1.

4.2 Analisis Konsentrasi Logam Berat di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

4.2.1. Analisis Konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

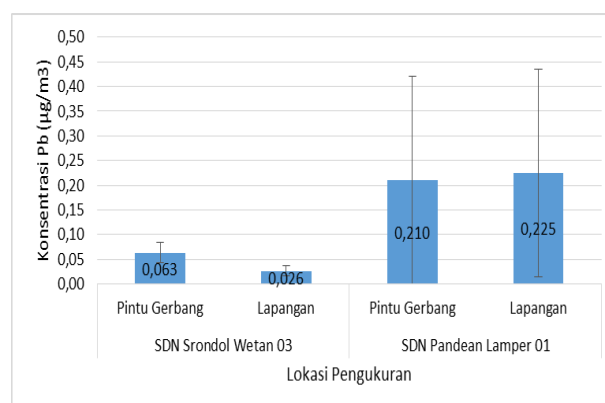
Unsur Pb merupakan unsur logam berat yang dapat dihasilkan dari pembakaran bensin. Konsentrasi komposisi unsur Pb ini didapatkan dengan menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

Perhitungan konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03 terdapat pada lampiran A-3, sedangkan hasil perhitungan konsentrasi pada masing-masing titik sampling dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3
Konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Lokasi Sampling	Titik Sampling	Konsentrasi Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SDN Sronдол Wetan 03	Pintu Gerbang	$0,063 \pm 0,018$
	Lapangan	$0,026 \pm 0,010$
SDN Pandean Lamper 01	Pintu Gerbang	$0,210 \pm 0,215$
	Lapangan	$0,225 \pm 0,207$

Dari hasil perhitungan konsentrasi Pb pada tabel 4.3, dapat dibuat grafik konsentrasi Pb pada setiap titik sampling. Gambar 4.12 menunjukkan grafik hasil perhitungan konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03.

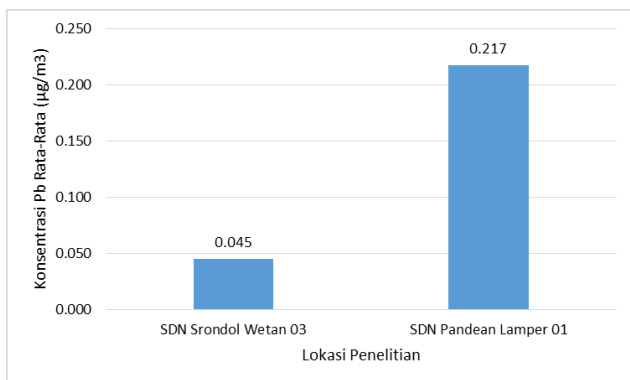


Gambar 4.12 Grafik Konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Grafik diatas menunjukkan konsentrasi unsur Pb pada setiap titik sampling. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, konsentrasi Pb dengan titik sampling baik pintu gerbang maupun lapangan SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi daripada SDN Sronдол Wetan 03. Konsentrasi Pb tertinggi berada di lapangan SDN Pandean Lamper yaitu $0,225 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi terendah berada di lapangan SDN Sronдол Wetan 03 dengan konsentrasi $0,026 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi Pb di pintu gerbang Pandean

Lamper yaitu $0,210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lebih besar dari standar deviasinya yaitu $0,215$. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb mengalami fluktuatif yang cukup signifikan sehingga menyebabkan data menjadi heterogen (bervariasi). Menurut (Sugiyono, 2013), Standar deviasi menginformasikan tentang seberapa jauh bervariasinya data terhadap nilai rata-ratanya. Semakin besar nilai standar deviasi semakin bervariasi data (heterogen) dan sebaliknya

Dalam analisis risiko, konsentrasi Pb yang digunakan yaitu konsentrasi rata-rata pada masing-masing titik (gerbang dan lapangan sekolah). Penggunaan konsentrasi rata-rata didasarkan pada tingkat keserangan aktifitas siswa dan guru selama di sekolah, karena aktivitas mereka tidak hanya di satu titik. Oleh karena itu konsentrasi di gerbang dan lapangan dirata-rata agar dapat mewakili konsentrasi Pb di lingkungan sekolah. Grafik konsentrasi Pb rata-rata di SDN Sronдол Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01 dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut ini.



Gambar 4.13 Grafik Konsentrasi Pb Rata-Rata di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Gambar 4.13 menunjukkan grafik konsentrasi rata-rata Pb di gerbang dan lapangan sekolah pada masing-masing SD. Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Pb rata-rata di SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi daripada SDN Sronдол Wetan 03

dengan konsentrasi Pb $0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SDN Pandean Lamper 01 dan $0,045 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SDN Sronдол Wetan 03.

4.2.2. Analisis Konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

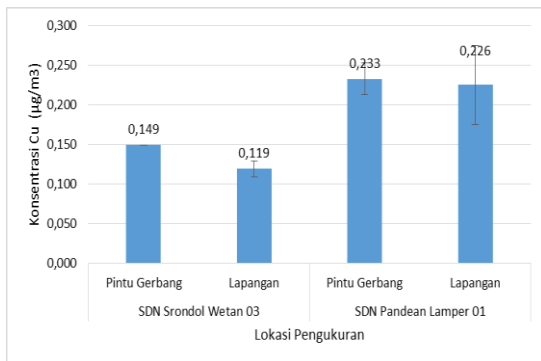
Unsur Cu merupakan unsur logam berat yang dapat dihasilkan dari pembakaran bensin. Konsentrasi komposisi unsur Cu ini didapatkan dengan menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

Perhitungan konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03 terdapat pada lampiran A-4, sedangkan hasil perhitungan konsentrasi pada masing-masing titik sampling dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.4
Konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03**

Lokasi Sampling	Titik Sampling	Konsentrasi Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SDN Sronдол Wetan 03	Pintu Gerbang	$0,149 \pm 0$
	Lapangan	$0,119 \pm 0,01$
SDN Pandean Lamper 01	Pintu Gerbang	$0,233 \pm 0,02$
	Lapangan	$0,226 \pm 0,05$

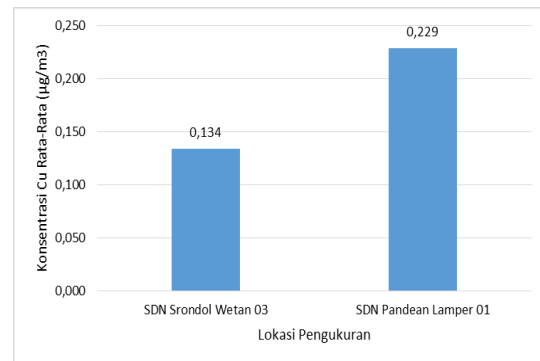
Dari hasil perhitungan konsentrasi Cu pada tabel 4.4, dapat dibuat grafik konsentrasi Cu pada setiap titik sampling. Gambar 4.14 menunjukkan grafik hasil perhitungan konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03.



Gambar 4.14 Grafik Konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Grafik diatas menunjukkan konsentrasi unsur Cu pada setiap titik sampling. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, konsentrasi Cu dengan titik sampling baik pintu gerbang maupun lapangan SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi daripada SDN Sronдол Wetan 03. Konsentrasi tertinggi berada di lapangan SDN Pandean Lamper yaitu $0,233 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi terendah berada di lapangan SDN Sronдол Wetan 03 dengan konsentrasi $0,119 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dalam analisis risiko, konsentrasi Cu yang digunakan yaitu konsentrasi rata-rata pada masing-masing titik yaitu gerbang dan lapangan pada tanggal 6 Maret 2017 dan 13 Maret 2017. Penggunaan konsentrasi rata-rata didasarkan pada tingkat keseringan aktifitas siswa dan guru selama di sekolah, karena aktivitas mereka tidak hanya di satu titik. Oleh karena itu konsentrasi di gerbang dan lapangan dirata-rata agar dapat mewakili konsentrasi Cu di lingkungan sekolah. Grafik konsentrasi Cu rata-rata di SDN Sronдол Wetan 03 dan SDN Pandean Lamper 01 dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.15 Grafik Konsentrasi Cu Rata-Rata di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Gambar 4.15 menunjukkan grafik konsentrasi rata-rata Cu di gerbang dan lapangan sekolah pada masing-masing SD. Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Cu rata-rata di SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi daripada SDN Sronдол Wetan 03 dengan konsentrasi Cu $0,229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SDN Pandean Lamper 01 dan $0,135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SDN Sronдол Wetan 03.

4.3 Analisis Risiko Pb dan Cu di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03

Analisis risiko Pb dan Cu dalam TSP terhadap kesehatan siswa dan guru SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03 dibedakan menjadi 2 jenis yaitu risiko karsinogenik dan risiko non karsinogenik. Berdasarkan hasil perhitungan tingkat risiko karsinogenik *Cancer Risk Ingestion* (CRing) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper sebesar $1,85 \times 10^{-6}$ berisiko karsinogen karena berada dalam batas toleransi risiko kanker yaitu 10^{-6} - 10^{-4} , sedangkan CRing Pb tertinggi SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $7,05 \times 10^{-7}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Cancer Risk Inhalation* (CRinh) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $5,002 \times 10^{-10}$ dan $1,9 \times 10^{-10}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Hazard Index* (HI)

tertinggi di SDN Pandean Lamper dan *hazard Index* (HI) Pb tertinggi di SDN Spondol Wetan sebesar 0,971 dan 0,289, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,971 dan 0,289 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1. *Hazard Index* (HI) Cu tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Spondol Wetan sebesar 0,106 dan 0,098, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,106 dan 0,098 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1.

Hasil analisis statistik digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi nilai risiko antara SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Spondol Wetan 03 yang didapatkan dari perhitungan. Uji statistik yang digunakan yaitu *two independent sample test* (T-Test). Dari hasil analisis *t-test* rata-rata nilai *cancer risk ingestion* dan *cancer risk inhalation* logam Pb terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Spondol Wetan 03 berbeda signifikan. Rata-rata nilai *hazard index* (HI) logam Pb terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Spondol Wetan 03 berbeda signifikan, sedangkan rata-rata nilai *hazard index* (HI) logam Cu terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Spondol Wetan 03 tidak berbeda signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian dan pengukuran TSP (*Total Suspended Particulate*) yang telah dilakukan di SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Spondol Wetan 03, didapatkan hasil bahwa konsentrasi TSP di pintu gerbang SDN Spondol Wetan 03 sebesar $202,2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan di lapangan sebesar $101,25 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan konsentrasi TSP di pintu gerbang SDN Pandean Lamper 01

sebesar $360,4 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan di lapangan sebesar $154,15 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi TSP di SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi TSP di SDN Spondol Wetan 03 baik di pintu gerbang maupun di lapangan.

2. Konsentrasi Pb di pintu gerbang SDN Pandean Lamper 01 yaitu sebesar $0,210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di lapangan sebesar $0,225 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan konsentrasi Pb di pintu gerbang SDN Spondol Wetan 03 sebesar $0,063 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan di lapangan sebesar $0,026 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Pb di SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Pb di SDN Spondol Wetan 03 baik di pintu gerbang maupun di lapangan. Konsentrasi Cu di pintu gerbang SDN Pandean Lamper 01 yaitu sebesar $0,233 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di lapangan sebesar $0,226 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan konsentrasi Cu di pintu gerbang SDN Spondol Wetan 03 sebesar $0,149 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan di lapangan sebesar $0,119 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi Cu di SDN Pandean Lamper 01 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Cu di SDN Spondol Wetan 03 baik di pintu gerbang maupun di lapangan.
3. Analisis risiko Pb dan Cu dalam TSP terhadap kesehatan siswa dan guru SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Spondol Wetan 03 dibedakan menjadi 2 jenis yaitu risiko karsinogenik dan risiko non karsinogenik. Berdasarkan hasil perhitungan tingkat risiko karsinogenik *Cancer Risk Ingestion* (CRing) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper sebesar $1,85 \times 10^{-6}$ berisiko karsinogen karena berada dalam batas toleransi risiko kanker

yaitu 10^{-6} - 10^{-4} , sedangkan CRing Pb tertinggi SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $7,05 \times 10^{-7}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Cancer Risk Inhalation* (CRinh) Pb tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Sronдол Wetan 03 sebesar $5,002 \times 10^{-10}$ dan $1,9 \times 10^{-10}$ tidak berisiko kanker karena di bawah batas toleransi *cancer risk* yaitu 10^{-6} - 10^{-4} . *Hazard Index* (HI) tertinggi di SDN Pandean Lamper dan *hazard Index* (HI) Pb tertinggi di SDN Sronдол Wetan sebesar 0,971 dan 0,289, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,971 dan 0,289 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1. *Hazard Index* (HI) Cu tertinggi di SDN Pandean Lamper dan SDN Sronдол Wetan sebesar 0,106 dan 0,098, tidak berisiko non karsinogen karena nilai HI 0,106 dan 0,098 di bawah batas toleransi risiko non karsinogen yaitu 1.

4. Hasil analisis statistik digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi nilai risiko antara SDN Pandean Lamper 01 dan SDN Sronдол Wetan 03 yang didapatkan dari perhitungan. Uji statistik yang digunakan yaitu *two independent sample test* (T-Test). Dari hasil analisis t-test rata-rata nilai *cancer risk ingestion* dan *cancer risk inhalation* logam Pb terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Sronдол Wetan 03 berbeda signifikan. Rata-rata nilai *hazard index* (HI) logam Pb terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Sronдол Wetan 03 berbeda signifikan, sedangkan rata-rata nilai *hazard index* (HI) logam Cu terhadap siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN Pandean Lamper dan siswa kelas 1, kelas 6, guru SDN

Sronдол Wetan 03 tidak berbeda signifikan.

Saran

Saran yang dapat diajukan pada penelitian ini adalah :

1. Siswa dan guru dapat lebih memperhatikan pentingnya penanaman pohon di lingkungan sekolah dengan tujuan untuk mengurangi paparan debu yang dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan siswa dan guru. Instansi terkait juga dapat menerapkan metode pemantauan kualitas udara yang dapat mengurangi jumlah cemaran partikel TSP yang mengandung unsur pencemar pada aktivitas jalan raya.
2. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan sampling pada titik pengukuran dengan waktu yang berbeda.
3. Penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan seperti BBG sebagai upaya pengurangan emisi yang dihasilkan dari aktivitas transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Albalak, R., Noonan, G., Buchanan, S. 2007. *Blood Lead Levels and Risk Factor for Lead Poisoning among Children in Jakarta, Indonesia*. The science of the Total Environment.
- Andrea Geiger and John Cooper. 2010. *Overview of Airborne Metals Regulations, Exposure Limits, Health Effects, and Contemporary Research*. Cooper Environmental Services LLC 10180 SW Nimbus Ave., Ste J6 Portland OR 97223.
- Aprianti, Dewi. 2011. *Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi Total*

- Suspended Particulate (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus: Pintu Tol Cillilitan 2, Bulan Januari-Februari 2011)*. Fakultas Teknik. Depok : Universitas Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Cara Uji Parikel Tersuspensi Total Menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metoda Gravimetri*. SNI 19-7119.3-2005.
- Birawida, Bintara Agus. 2016. Penilaian dan Manajemen Risiko Timbal di Udara pada Anak Sekolah Dasar Pesisir Kota Makassar. *Jurnal Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, Vol.12, No.1.
- Gusnita, Dessy. 2012. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal*. Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer, LAPAN.
- Haryoto, Kusnopranto. 1995. *Pengantar Toksikologi Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Hou, X. and Jones, B. T. 2000. *Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry*. Encyclopedia of Analytical Chemistry. Chicester: John Wiley & Sons Ltd.
- Hu, Xin. et al. 2012. *Bioaccessibility and Health Risk of Arsenic and Heavy Metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM 2,5 in Nanjing, China*. *Atmospheric Environment*. 57, 146-152
- Huboyo, Haryono Setyo dan Syafrudin. 2007. *Analisis Resiko Konsentrasi Debu (TSP) dan Timbal (Pb) di Pinggir Jalan terhadap Kesehatan Manusia Studi Kasus Kota Yogyakarta*. *Jurnal Teknik*, Vol. 28, No. 2
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2013. *Press Release No.221 Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths*. France: World Health Organization.
- Keputusan Dirjen Migas 3674/K/24/DJM/2006. 2006. *Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin*.
- Kessel, Irene and O'Connor, John, T. 1997. *Getting the Lead out: The Complete Resource on How to Prevent and Cope with Lead Poisoning*, Published by Plenum Trade, New York.
- Khairunnisa, Fadhilah. 2015. *Analisis Komposisi Unsur Pencemar (Si, Pb, dan Ca) dalam Total Suspended Particulate (TSP) di Pembangunan Jalan (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Kendal-Batas Kota Semarang, Jawa Tengah)*. Fakultas Teknik. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Kurniawan, Wahyu. 2008. *Hubungan Kadar Pb Dalam Darah Dengan Profil Darah Pada Mekanik Kendaraan Bermotor di Kota Pontianak*. Magister Kesehatan Lingkungan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Liu, Xiaoting. et al. 2015. *Mass Concentration and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Size-segregated Airborne Particulate Matter in Changsha*. *Science of the Total Environment*. 517, 215-221.
- Nazir, Muhammad. 1988. *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Nugraheni. 2004. *Analisis Faktor Risiko Kadar Debu Organik di Udara terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Penggilingan Padi di Kabupaten Demak*. Ilmu Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Nugroho, Astri. 2005. *Bioindikator*

- Kualitas Udara*. Penerbit: Kanisius, Yogyakarta.
- Palar.H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi logam berat*. Jakarta :Rineka Cipta.
- Peraturan Pemerintah RI nomor 41. 1999. *Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Prilila, Gina Fita. 2016. *Estimasi Sebaran dan Analisis Risiko TSP dan Pb di Terminal Bis terhadap Kesehatan Pengguna Terminal*. Semarang : Universitas Diponegoro
- Putra, Prawira Adi. 2011. *Tingkat Pencemaran Udara Kawasan Sekolah Berdasarkan Parameter Total Suspended Particulate (TSP) dan Kebisingan Akibat Kendaraan yang Melintas (Studi Kasus: SMP 29, SMP11 dan SMP 19 Jakarta Selatan)*. Fakultas Teknik. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahmadini, Rafini., dkk. 2015. *Analisis Risiko Total Suspended Particulate (TSP) pada Tahap Pembangunan Jalan terhadap Kesehatan Pekerja (Studi Kasus : Jalan Kendal-Batas Kota Semarang, Jawa Tengah)*. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 4, No 4
- Sakti, Eka Satriani. 2012. *Tinjauan Tentang Kualitas Udara Ambien (NO₂,SO₂, Total Suspended Particulate) Terhadap Kejadian ISPA Di Kota Bekasi Tahun 2004-2011*. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Depok: Universitas Indonesia.
- Setiawan, Adi, 2002, *Hubungan Kadar Total Suspended Particulate dengan Fungsi Paru di Lingkungan Industri Semen Cibinong*. Penelitian Tesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. ITB Bandung.
- Srikandi, Fardiaz. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit: Kanisius, Yogyakarta.
- Suhariyono, Gatot.2004. *Analisis Partikel Udara di Sekitar Calon Tapak Penambangan Emas Sumatera Utara*. Jakarta : Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir (P3KRBIN)-BATAN.
- Sujarweni, V dan Poly Endrayanto. 2012. *Statistika untuk Penelitian*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Suma'mur P.K. 2009. *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta : Sagung Seto.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Office of Radiation and Indoor Air Office of Solid Waste and Emergency Response U.S. EPA, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1997. *Exposure Factors Handbook*. United States.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. *Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM10 Using High Volume (HV) Sampler*. United States.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2004. *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)*. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2007. *Guidance for Evaluating the Oral Bioavailability of Metals in Soils for Use in Human Health Risk Assessment*. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, D.C.

- U.S. Environmental Protection Agency. 2009. *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)*. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, D.C.
- Undang-Undang Nomor 23. 1997. Pencemaran Lingkungan Pasal 1 ayat 12.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- WHO. 1983. *Environmental Criteria 27 : Guidelines on Studies in Environmental Epidemiology*. Geneva, International Programme on Chemical Safety (IPCS) World Health Organization.
- Widowati, dkk. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran.*, Yogyakarta.
- Xin Hu., Yun Zhang., Zhuhong Ding., Tijian Wang., Hongzhen Lian., Yuanyuan Sun., Jichun Wu. *Bioaccessibility and Health Risk of Arsenic and Heavy Metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, and Mn) in TSP and PM 2,5 in Nanjing, China*. State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, Center of Material Analysis, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University.
- Zhao, Y dan C. Zhao. 2012. *Concentration and Distribution Analysis of Heavy Metals in Total Suspended Particulates along Shanghai-Nanjing Expressway* Procedia Environmental Science. 13, 1405-1411.