

KUALITAS FISIK DAN KIMIA UDARA, KARAKTERISTIK PEKERJA, SERTA KELUHAN PERNAPASAN PADA PEKERJA PERCETAKAN DI SURABAYA

The Physical and Chemical Air Quality, Worker's Characteristics, and Respiratory Symptoms Among Printing Workers in Surabaya

Devi Anggar Oktaviani dan Corie Indria Prasasti

Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga
devi.anggar-13@fkm.unair.ac.id

Abstrak: Industri percetakan merupakan industri yang dalam proses produksinya menghasilkan pencemar udara seperti *Particulate Matter* (PM). Kadar $PM_{2,5}$ yang melampaui batas dapat menyebabkan keluhan pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan gangguan fungsi paru. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kualitas fisik dan kimia udara serta keluhan pernapasan yang dialami oleh pekerja percetakan unit produksi di Surabaya. Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan desain *cross sectional* dan dianalisis secara deskriptif. Kualitas fisik dan kimia udara diukur pada tiga titik dalam unit produksi menggunakan *Thermohygrometer* dan *Haz Dust EPAM 5000*. Data karakteristik pekerja dan keluhan pernapasan diperoleh dari kuesioner kepada 20 pekerja. Hasil pengukuran kadar debu $PM_{2,5}$ tertinggi terdapat di ruang pemotongan (titik 1), dengan nilai maksimum sebesar $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan rerata sebesar $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran tersebut masih memenuhi nilai ambang batas yang ditetapkan sebesar $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Industri percetakan disarankan untuk meningkatkan upaya pengendalian administratif dengan cara mengatur lama jam kerja dan pemakaian masker, membersihkan ventilasi, *dust collector*, maupun fasilitas produksi serta melakukan pemeriksaan kesehatan secara berkala ke puskesmas setempat bagi pekerja.

Kata kunci: kualitas fisik dan kimia udara, industri percetakan, keluhan pernapasan

Abstract: *Printing industry is an industry which in its production process generate air pollutants such as Particulate Matter (PM). The exceeds limit of $PM_{2,5}$ can cause respiratory symptoms, cardiovascular disease, and pulmonary function disorder. The objective of this study was to analyze physical and chemical air quality and respiratory symptoms among printing industry workers in Surabaya. It was observational study with cross sectional approach and analyzed descriptively. The physical and chemical air quality was measured by Thermohygrometer and Haz Dust EPAM 5000 at three different areas in production unit. Worker's characteristics and respiratory symptoms were obtained from 20 respondent's questionnaires. The highest concentration of $PM_{2,5}$ level was at cutting room (area 1), which maximum concentration was $20.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the average was $6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The result showed that $PM_{2,5}$ levels was below threshold limit value. It is suggested to printing industry to improve administrative control application by managing work period and useing mask, to clean ventilation, dust collector, or production facilities and to examine health status regularly to public health center for workers at printing industry.*

Keywords: *physical and chemical air quality, printing industry, respiratory symptoms*

PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruang sangat memengaruhi manusia karena sebagian besar manusia menghabiskan 85-90% waktunya di dalam ruang. Keberadaan bahan pencemar udara dihasilkan dari proses alam maupun aktivitas manusia. Kontribusi pencemar udara akibat aktivitas manusia berasal dari sumber pencemar tidak bergerak seperti lingkungan kerja perkantoran, industri, maupun sumber bergerak seperti kendaraan bermotor (BBTKL dan PPM, 2009).

Berbagai bahan pencemar udara yang berasal dari sumber bergerak maupun tidak bergerak banyak memengaruhi kualitas udara di lingkungan kerja. Bahaya potensial dari bahan pencemar udara tersebut dapat muncul dalam bentuk yang bervariasi dan berdampak terhadap kesehatan. Hal ini merupakan kewajiban bagi perusahaan industri untuk melindungi pekerjanya dari risiko sakit. Pencemar udara yang paling dominan dan memengaruhi kesehatan manusia adalah partikel, CO, NO_x, SO_x, dan Hidrokarbon (Sugiarti, 2009).

Kondisi lingkungan dan perilaku pekerja yang tidak aman merupakan dua hal terbesar yang menjadi penyebab terjadinya masalah kesehatan terutama pada manusia. Perkembangan industri dan penggunaan teknologi yang semakin meningkat memiliki dampak yang signifikan terhadap terjadinya penurunan kualitas lingkungan seperti timbulnya pencemaran udara, baik yang terjadi di dalam ruang (*indoor*) maupun di luar ruang (*outdoor*). Penurunan kualitas lingkungan tersebut dapat memengaruhi kesehatan manusia hingga berpotensi menyebabkan penularan penyakit (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002).

Keberadaan partikel debu di udara dalam kadar yang berlebih mengakibatkan pencemaran udara. Pencemaran udara adalah terdapatnya bahan, zat, atau komponen lain di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan udara (Wardhana, 2007). Dampak pencemaran udara ini dapat terjadi pada berbagai aspek kehidupan. Pencemaran udara tersebut akan menyebabkan terjadinya hujan asam dan mempercepat pemanasan global di atmosfer. Jika ditinjau dari segi ekonomi, maka pencemaran udara akan meningkatkan biaya pemeliharaan alat dan bangunan serta biaya perawatan penyakit akibat pajanan pencemar. Dampak pencemaran udara dari segi kesehatan akan memicu timbulnya penyakit akut dan kronis (Mukono, 2003).

Industri percetakan merupakan salah satu industri manufaktur yang dalam kegiatannya menambah nilai barang atau materi dengan mengubah bentuk, sifat, atau menggabungkan bahan lain yang telah diolah (Groover, 2007). Saat ini industri manufaktur telah meningkat dengan pesat, hal ini didukung dengan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang menunjukkan bahwa jumlah industri manufaktur makro dan mikro terutama industri percetakan di Jawa Timur pada triwulan III tahun 2015 mengalami kenaikan masing-masing sebesar 3,08% dan 5,2%. Peningkatan jumlah industri tersebut diikuti dengan peningkatan jumlah pekerja percetakan di Surabaya sejak satu tahun terakhir. Menurut data BPS tahun 2014 dan tahun 2015, jumlah pekerja di industri percetakan di Surabaya pada tahun 2014 sebanyak 1.935 orang dan meningkat menjadi 2.736 orang pada tahun 2015 (BPS, 2014 dan 2015).

Colorado Department of Public Health and Environmnet (CDPHE), menyebutkan bahwa pada umumnya industri percetakan menghasilkan jenis

pencemar udara yang terdiri dari senyawa organik volatil (VOC), pencemar udara berbahaya (HAPs), *Particulate Matter* (PM), Nitrogen Oksida (Nox), dan Sulfur Oksida (SOx). Sebagian besar VOC dan HAPs berasal dari tinta cetak termasuk aplikasi dari mesin *inkjet*, larutan pembersih, larutan cetak, pembersihan, perekatan, dan pelapisan gulungan. Larutan dengan komposisi VOC dan tekanan uap yang tinggi dapat menguap dengan cepat pada suhu ruang sehingga menghasilkan peningkatan emisi udara. PM umumnya berasal dari debu kertas yang bersumber dari pemotongan, pelipatan, dan pengeleman. NOx dan SOx dihasilkan dari generator, pembakaran bahan bakar mesin, pengering, dan beberapa peralatan kontrol seperti oksidasi.

Particulate Matter merupakan suatu campuran kompleks dari partikel padat dan cair sangat kecil yang ditemukan di udara. Partikel merupakan salah satu pencemar yang sering dijadikan sebagai salah satu indikator pencemaran udara untuk menunjukkan tingkat bahaya dalam lingkungan di dalam ruang (*indoor*) maupun di luar ruang (*outdoor*) terhadap kesehatan dan keselamatan kerja (Putri, 2012).

Partikel memiliki beberapa variasi ukuran dan tersusun dari banyak material serta unsur kimia. Salah satu partikel yang dapat masuk ke dalam saluran pernapasan adalah PM_{2,5}. Berdasarkan ukurannya partikel dibedakan menjadi dua kategori, yaitu partikel kurang dari sama dengan 10 mikron dan partikel kurang dari sama dengan 2,5 mikron (EPA, 2014). Berdasarkan diameter aerodinamikanya partikel debu terdiri dari PM₁₀, PM_{2,5}, dan PM_{0,1}.

Ukuran partikel secara langsung dapat berkaitan dengan potensi penyebab masalah kesehatan. Partikel yang terkandung dalam udara umumnya memiliki ukuran 0,1-50 mikron atau lebih. Partikel yang memiliki ukuran diameter 2,5 mikron atau kurang dapat menyebabkan pencemaran udara dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan. PM_{2,5} adalah suatu partikel yang memiliki ukuran diameter 2,5 mikron atau disebut dengan partikel udara halus. PM_{2,5} yang terhirup dapat memengaruhi kesehatan manusia. Partikel tersebut masuk ke dalam alveoli dan dapat menimbulkan reaksi radang yang dapat menyebabkan keluhan pernapasan. PM_{2,5} sangat berbahaya untuk kesehatan manusia karena partikel tersebut dapat menembus bagian terdalam dari paru-paru, penyakit kardiovaskuler bahkan kematian (Depkes, 2009).

Partikel debu yang berada di lokasi kerja dapat berpotensi masuk ke dalam saluran pernapasan melalui hidung dan mulut sehingga dapat mengakibatkan keluhan pernapasan. Paparan partikel debu di percetakan dalam jumlah berlebih dapat berdampak pada kerusakan patologis manusia. Namun, kerusakan ini tergantung dari sifat, intensitas, lama paparan, dan kerentanan individu (Ekowati, 2012).

Dampak paparan partikel debu atau *Particulate Matter* (PM) terhadap kesehatan, baik dalam bentuk padat maupun cair bergantung pada ukurannya. Ukuran partikel yang membahayakan bagi kesehatan saluran pernapasan tersebut umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Ukuran PM yang kurang dari 5 mikron dapat masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli, dan yang lebih besar dari 5 mikron dapat mengganggu saluran pernapasan bagian atas dan menyebabkan iritasi (Kemenkes RI, 2004).

Keberadaan partikel debu di lingkungan kerja percetakan dapat mengganggu produktivitas serta kesehatan pekerja. Partikel debu dalam kondisi tertentu merupakan bahaya yang dapat menyebabkan pengurangan kenyamanan kerja, gangguan penglihatan, gangguan pernapasan bahkan dapat menimbulkan keracunan umum (Depkes RI, 2013). Standar kadar debu $PM_{2,5}$ di dalam ruang kerja diatur oleh WHO yaitu konsentrasi harian kadar debu $PM_{2,5}$ yang diperbolehkan selama 24 jam adalah $25 \mu g/m^3$ dan $10 \mu g/m^3$ untuk rata-rata per tahun. Kadar partikel debu yang tidak memenuhi nilai ambang batas tentunya akan menimbulkan risiko keluhan kesehatan.

Objek dalam penelitian ini merupakan salah satu industri di Surabaya yang bergerak di bidang percetakan sejak tahun 2002. Industri ini terdiri dari beberapa unit, salah satunya adalah unit produksi. Unit tersebut merupakan unit yang paling banyak menghasilkan debu terutama dari proses pemotongan kertas. Sisa kertas hasil produksi di unit ini bervariasi, mulai dari debu yang berukuran sangat kecil hingga potongan kertas. Sisa potongan kertas tersebut dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam karung untuk selanjutnya diangkut oleh pihak ketiga. Partikel debu kertas yang berasal dari mesin pemotongan sebagian akan dihisap oleh *dust collector* dan sebagian lagi akan berhamburan di udara atau jatuh ke lantai. Pada saat cuaca panas penyebaran partikel debu akan memberikan dampak terhadap kesehatan

pekerja sebab partikel tersebut akan lebih mudah terurai pada saat suhu udara tinggi (Qian *et al.*, 2008).

Studi pendahuluan yang telah dilakukan di percetakan Surabaya menunjukkan bahwa area kerja unit produksi merupakan tempat yang berdebu, masih terdapat pekerja yang tidak menggunakan masker dan berisiko menimbulkan keluhan pernapasan pada pekerja. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kualitas fisik dan kimia udara di industri percetakan dan keluhan pernapasan pada pekerja unit produksi di Surabaya.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah observasional dengan desain *cross sectional*. Penelitian ini dilakukan selama enam bulan, dimulai sejak bulan Agustus 2015 hingga Februari 2016. Penelitian dilakukan pada unit produksi percetakan di Surabaya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kualitas fisik dan kimia udara dalam ruang. Kualitas fisik terdiri dari suhu, dan kelembapan, sedangkan kualitas kimia udara adalah kadar $PM_{2,5}$. Variabel bebas lain yang diteliti adalah karakteristik pekerja yang meliputi, usia, masa kerja, lama kerja, pemakaian APD masker, dan variabel terikat adalah keluhan pernapasan.

Jumlah populasi dalam penelitian ini adalah 20 pekerja di unit produksi yang memenuhi kriteria inklusi. Kriteria inklusi, yaitu bekerja minimal 5 jam per hari, masa kerja minimal 1 tahun, tidak merokok, dan bersedia berpartisipasi dalam penelitian. Sampel yaitu total populasi di unit produksi dengan jumlah sebanyak 20 orang.

Pengukuran kadar $PM_{2,5}$ dilakukan di ruang pemotongan, ruang *finishing*, dan ruang cetak secara *purposive*. Penentuan titik pengukuran dilakukan dengan pertimbangan bahwa titik tersebut merupakan tempat yang dekat dengan sumber pencemar dan banyak pekerja yang beraktivitas di area tersebut. Kadar $PM_{2,5}$ diukur pada saat proses produksi berlangsung selama 30 menit.

Data diperoleh melalui kuesioner, observasi, wawancara, dan pengukuran di unit produksi. Kuesioner digunakan untuk memperoleh data keluhan pernapasan pada pekerja, observasi dilakukan selama kurang lebih 30 menit untuk memperoleh data mengenai kondisi lingkungan kerja dan perilaku pekerja, wawancara dilakukan

kepada kepala produksi untuk memperoleh data mengenai gambaran umum kegiatan, pekerja, serta manajemen pengendalian debu di unit produksi, pengukuran dilakukan untuk memperoleh data suhu, kelembapan, dan kadar PM_{2,5}. Pengukuran suhu menggunakan *Thermohyrometer* dan pengukuran kadar debu PM_{2,5} menggunakan *Haz Dust EPAM 5000*. Pengukuran dilakukan di tiga titik pengukuran yaitu ruang pemotongan, ruang *finishing*, dan ruang cetak. Hasil pengukuran kadar PM_{2,5} tersebut kemudian dikonversikan ke dalam persamaan model konversi Canter untuk mendapatkan kadar PM_{2,5} dengan waktu pengukuran 24 jam sehingga sesuai dengan standar WHO. Persamaan konversi Canter tersebut adalah sebagai berikut:

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^p$$

Keterangan:

- C_1 = konsentrasi rerata udara dengan lama pencuplikan contoh t_1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 C_2 = konsentrasi rerata udara dari hasil pengukuran dengan lama pencuplikan contoh t_2 (dalam penelitian ini $C_2[C]$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 t_1 = lama pencuplikan contoh 1 (24 jam)
 t_2 = lama pencuplikan contoh 2 dari hasil pengukuran contoh udara (jam)
 p = faktor konversi yang bernilai antara 0,17 dan 0,2

Nilai p pada persamaan konversi Canter diperoleh dari PP No. 41 Tahun 1999 dengan $C_1 = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t_1 = 1$ hari, $C_2 = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $t_2 = 365$ hari, diperoleh nilai $p = 0,186$.

Data mengenai kondisi objek penelitian yang telah dikumpulkan kemudian dideskripsikan menggunakan tabel dan narasi. Penelitian ini telah mendapat persetujuan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga dengan nomor 07-KEPK.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas fisik dan kimia udara di unit produksi

Keluhan pernapasan pada pekerja di unit produksi dapat disebabkan karena kualitas fisik udara yang berupa suhu dan kelembapan serta kualitas kimia udara berupa kadar PM_{2,5}. Pengukuran kadar PM_{2,5} dilakukan secara sesaat

selama 30 menit pada tiga titik yang berbeda di unit produksi yaitu, ruang pemotongan, ruang *finishing*, dan ruang cetak.

Tabel 1.

Hasil Pengukuran Kualitas Fisik dan Kimia Udara di Unit Produksi Tahun 2016

Parameter	Titik I	Titik II	Titik III	NAB
Kadar PM _{2,5} maksimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,0	6,0	2,2	25*
Kadar PM _{2,5} minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,1	2,5	1,4	25*
Rerata Kadar PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,1	4,8	1,7	25*
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	32,4	33,1	32,9	18–30**
Kelembapan (%)	67	69	64	65–95**

Keterangan

*WHO

**Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1406/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri

Berdasarkan Tabel 1 di atas, kadar PM_{2,5} maksimum di titik 1, 2, dan 3 secara berurutan yaitu $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; dan $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kadar PM_{2,5} minimum di titik 1, 2, dan 3 secara berurutan yaitu $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; dan $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran terhadap nilai rerata kadar PM_{2,5} di titik 1, 2, dan 3 secara berurutan yaitu, $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; dan $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pengukuran kadar PM_{2,5} di unit produksi menunjukkan bahwa kadar PM_{2,5} maksimum, kadar PM_{2,5} minimum, dan rerata kadar PM_{2,5} tertinggi terdapat di titik 1. Menurut WHO, standar kadar debu PM_{2,5} di titik 1 masih memenuhi nilai ambang batas yang telah ditetapkan sebesar $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada ketiga titik, nilai yang masih memenuhi ambang batas adalah kadar PM_{2,5} maksimum, minimum, dan rerata.

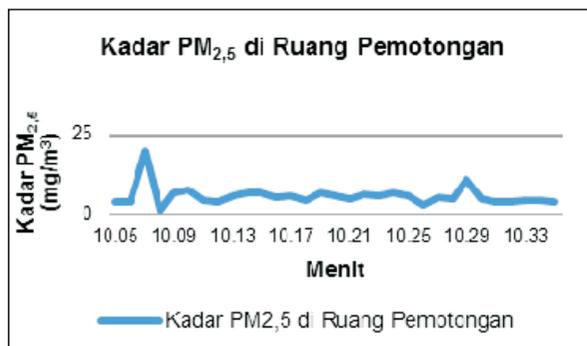
Hasil pengukuran menunjukkan kadar PM_{2,5} di ruang pemotongan (titik 1) lebih tinggi dari pada kadar PM_{2,5} di ruang *finishing* dan ruang cetak (titik 2 dan titik 3). Pengukuran suhu dan kelembapan dilakukan sebagai data penunjang kadar debu PM_{2,5} di unit produksi. Suhu yang terdapat di titik 1, 2, dan 3 secara berurutan adalah, $32,4^{\circ}\text{C}$; $33,1^{\circ}\text{C}$; dan $32,9^{\circ}\text{C}$. Kelembapan yang terdapat di titik 1, 2, dan 3 secara berurutan adalah, 67%; 69%; dan 64%. Sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, maka hasil pengukuran suhu di ketiga ruangan melebihi baku mutu dan

hasil pengukuran kelembapan di ketiga titik sudah sesuai dengan baku mutu.

Tingginya suhu udara dapat mempercepat terjadinya perubahan kadar gas atau pencemar di udara. Semakin tinggi suhu udara, maka partikel akan menjadi semakin kering dan ringan sehingga partikel tersebut menjadi lebih reaktif serta bertahan lama di udara. Perubahan suhu udara di dalam ruang dapat dipengaruhi oleh faktor ventilasi alami maupun buatan (mekanik) dan bahan struktur bangunan. Jenis plafon eternit yang digunakan industri memengaruhi kualitas suhu di dalam ruangan karena panas dari luar ruangan terserap melalui plafon. Kepadatan hunian dengan banyaknya pekerja di dalam ruangan juga berkontribusi memengaruhi suhu udara ruang.

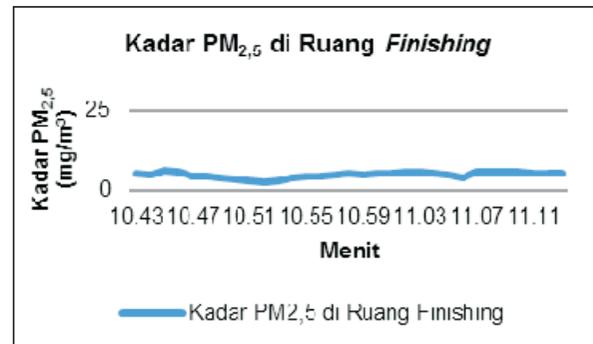
Pada suhu udara yang tinggi, kelembapan udara dapat meningkat dan menyebabkan kadar uap air di udara bereaksi dengan pencemar udara menjadi zat lain (Mukono, 2008a). Kelembapan udara dapat memengaruhi konsentrasi partikel debu di udara. Semakin tinggi kelembapan maka kemungkinan pencemar udara untuk bereaksi dengan air akan semakin tinggi sehingga berat jenis pencemar semakin meningkat (Salisa, 2011).

Pengukuran kadar debu $PM_{2,5}$ selain dapat mengetahui nilai maksimum, minimum, dan rerata dapat pula digunakan untuk mengetahui fluktuasi dari pengukuran kadar debu $PM_{2,5}$ selama waktu tertentu. Pengukuran kadar $PM_{2,5}$ di ruang pemotongan, ruang *finishing*, dan ruang cetak berdasarkan pada pertimbangan banyaknya pekerja dan terdapat sumber pencemaran. Pengukuran kadar $PM_{2,5}$ dilakukan selama 30 menit pada saat proses produksi berlangsung menggunakan *Haz Dust* EPAM 5000.



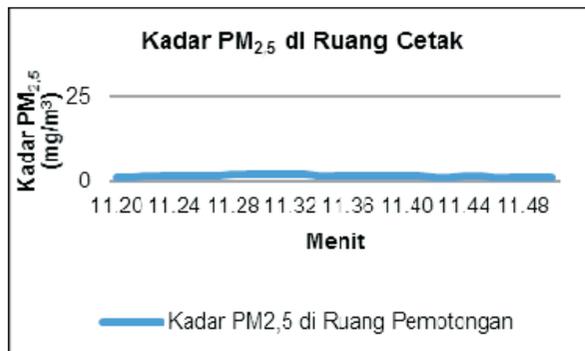
Gambar 1. Fluktuasi Kadar $PM_{2,5}$ di Ruang Pemotongan

Berdasarkan Gambar 1, nilai maksimal $PM_{2,5}$ terdapat pada menit ke-2 dan pada menit ke-21 terjadi penurunan kadar partikel yang menunjukkan nilai minimum. Peningkatan kadar $PM_{2,5}$ pada menit ke-2 dipengaruhi oleh adanya angin yang berhembus ke alat dan saat proses pengukuran kedua mesin pemotong sedang beroperasi sehingga menyebabkan kadar partikel debu cenderung meningkat. Fluktuasi kadar $PM_{2,5}$ dipengaruhi oleh bangunan ruang pemotongan yang merupakan ruang terbuka tanpa sekat sehingga terjadi pergerakan angin di sekitar ruangan yang memengaruhi hasil pengukuran.



Gambar 2. Fluktuasi Kadar $PM_{2,5}$ di Ruang Finishing

Berdasarkan Gambar 2, nilai maksimal $PM_{2,5}$ terdapat pada menit ke-2 dan pada menit ke-9 terjadi penurunan kadar partikel debu yang menunjukkan nilai minimum. Pengukuran kadar $PM_{2,5}$ di ruang *finishing* dilakukan saat pekerja melakukan proses pelipatan maupun pengemasan. Proses tersebut dilakukan di beberapa meja yang tersebar di dalam ruangan. Produk yang sudah dikemas kemudian diletakkan di meja sehingga ruangan tersebut dipenuhi dengan hasil produk dan memungkinkan untuk adanya tumpukan debu. Kondisi ruang *finishing* berupa ruang terbuka tanpa sekat sehingga pergerakan angin cenderung memengaruhi hasil pengukuran. Pada saat proses pengukuran terdapat 13 orang pekerja yang sedang beraktivitas di dalam ruangan. Pekerja yang lalu-lalang memengaruhi fluktuasi kadar $PM_{2,5}$ akibat timbulnya pergerakan udara dan terbawanya debu melalui angin sehingga memengaruhi perubahan konsentrasi $PM_{2,5}$ pada alat pengukuran. Perubahan gerak udara juga menyebabkan terjadinya penyebaran bahan pencemar udara sehingga pada jarak tertentu kadar pencemar tersebut akan mempunyai jumlah konsentrasi yang berbeda.



Gambar 3. Fluktuasi Kadar PM_{2,5} di Ruang Cetak

Berdasarkan Gambar 3, nilai maksimal PM_{2,5} terdapat pada menit ke-10 dan terjadi penurunan kadar partikel pada menit ke-26 yang menunjukkan nilai minimum. Kondisi ruang cetak berupa ruang tertutup berukuran 5 meter × 4 meter, dilengkapi dengan 1 buah mesin cetak 4 warna dan 2 buah kipas angin yang sedang beroperasi. Pada saat proses pengukuran, pergerakan udara dipengaruhi oleh kipas angin dan dua pintu berukuran 3 meter × 1 meter yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya udara sehingga hasil pengukuran cenderung stabil.

Karakteristik Pekerja Unit Produksi

Karakteristik pekerja yang diamati meliputi usia, masa kerja, lama kerja, dan penggunaan masker. Karakteristik pekerja tersebut dapat memengaruhi terjadinya keluhan pernapasan dan kemampuan seseorang dalam bekerja.

Tabel 2.

Karakteristik Pekerja Unit Produksi Tahun 2016

Karakteristik Pekerja	n	%
Usia		
< 25 tahun	11	55,0
26–35 tahun	6	30,0
> 36 tahun	3	15,0
Masa Kerja		
< 5 tahun	13	65,0
≥ 5 tahun	7	35,0
Lama Kerja		
< 8 jam/hari	6	30,0
≥ 8 jam/hari	14	70,0
Pemakaian Masker		
Ya	1	5,0
Tidak	19	95,0
Jumlah	20	100,0

Pekerja yang berusia kurang dari 25 tahun sebesar 55,0%, 26–35 tahun sebesar 30,0%, dan

lebih dari 36 tahun sebesar 15,0%. Pekerja yang memiliki masa kerja kurang dari 5 tahun sebesar 65,0% dan masa kerja lebih dari sama dengan 5 tahun sebesar 35,0%. Pekerja yang bekerja dengan lama kerja kurang dari 8 jam/hari sebesar 30,0% dan yang bekerja lebih dari sama dengan 8 jam/hari sebesar 70,0%. Pekerja yang memakai masker saat bekerja sebesar 5,0% dan yang tidak menggunakan masker sebesar 95,0%.

Umumnya pekerja dalam kelompok usia kurang dari 25 tahun merupakan kelompok usia produktif dan sumber daya manusia yang paling banyak dicari oleh perusahaan, sebab pekerja dengan rentang usia tersebut memiliki potensi dalam meningkatkan produktivitas perusahaan. Hal tersebut sejalan dengan misi perusahaan yang berupaya menjadi industri grafika profesional dalam menyediakan produk maupun jasa yang kompetitif dengan standar tinggi.

Usia berhubungan dengan proses penuaan atau pertambahan usia, semakin tua usia seseorang maka semakin besar kemungkinan terjadinya keluhan pernapasan hingga penurunan fungsi paru. Usia 18–40 tahun merupakan usia produktif bagi seseorang. Pada keadaan normal, usia juga memengaruhi frekuensi pernapasan. Frekuensi pernapasan pada orang dewasa berkisar antara 16–18 kali per menit dan pada anak-anak sekitar 24 kali per menit (Rahardjo, 2012). Variabel usia memiliki hubungan dengan keluhan gangguan pernapasan, peningkatan usia pada pekerja diikuti dengan peningkatan persentase pekerja yang mengalami keluhan saluran pernapasan.

Masa kerja merupakan jangka waktu yang agak lama di mana seorang pekerja masuk dalam suatu wilayah tempat usaha sampai batas waktu tertentu (Suma'mur 2009). Masa kerja merupakan salah satu faktor risiko terhadap timbulnya keluhan pernapasan dan penyakit pada pekerja. Pekerja yang memiliki masa kerja > 5 tahun berpotensi mengalami keluhan pernapasan lebih besar dibandingkan dengan pekerja yang bekerja kurang dari 5 tahun. Sebagian besar pekerja yang berada di unit produksi memiliki risiko lebih kecil untuk mengalami keluhan pernapasan karena masa kerjanya tergolong relatif singkat, yakni < 5 tahun.

Jumlah pesanan produk memengaruhi lamanya jam kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan. Pekerja dituntut untuk menyelesaikan pekerjaan agar pesanan dapat selesai tepat pada waktunya, hal tersebut

tentunya menimbulkan konsekuensi terhadap bertambahnya jam kerja. Pembagian jam kerja yang ditetapkan perusahaan terdiri dari dua rotasi kerja dan jika diakumulasikan maka total jam kerja untuk satu periode rotasi kerja selama satu minggu adalah 46 jam. Pada umumnya, pekerja dapat bekerja secara optimal dalam satu hari selama 8 jam. Lama kerja menentukan kesehatan, efisiensi, efektivitas, dan produktivitas pekerja. Menambah waktu kerja lebih dari kemampuan dapat menimbulkan kelelahan, gangguan kesehatan, penyakit serta kecelakaan kerja.

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja, waktu yang digunakan untuk bekerja tidak boleh melebihi 8 jam sehari atau 40 jam seminggu. Apabila melampaui waktu tersebut maka potensi untuk terjadinya dampak negatif bagi pekerja akan semakin besar (Suma'mur, 2009).

Pemakaian alat pelindung diri merupakan salah satu usaha seseorang dalam melindungi dirinya dari pencemaran debu maupun partikel berbahaya yang terdapat di lokasi kerja. Penggunaan APD berupa masker bertujuan melindungi masuknya debu ke organ pernapasan melalui hidung dan atau mulut. Berdasarkan hasil diketahui bahwa 95,0% pekerja tidak menggunakan APD masker saat bekerja. Hasil wawancara kepada kepala produksi pada tanggal 13 Januari 2016, diperoleh informasi bahwa pengelola industri sudah menyediakan APD berupa masker untuk pekerja, namun pekerja hanya menggunakan masker pada saat kegiatan kebersihan bukan pada saat proses kerja karena lingkungan kerja dinilai relatif aman dari potensi bahaya debu.

Proses produksi di industri percetakan umumnya menggunakan bahan seperti tinta, alkohol, larutan cetak, dan bahan kimia lain yang dapat menguap ke udara dalam bentuk partikel. Ukuran partikel secara langsung dapat berkaitan dengan potensi penyebab masalah kesehatan. Partikel yang memiliki ukuran diameter 2,5 mikron atau kurang, dapat menyebabkan pencemaran udara dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan.

PM_{2,5} yang terhirup dapat memengaruhi kesehatan manusia. Partikel tersebut masuk ke dalam alveoli dan dapat menimbulkan reaksi radang yang dapat menyebabkan daya kembang paru menjadi terbatas serta dapat mengakibatkan keluhan pernapasan pada manusia (Rahardjo, 2012).

Keluhan pernapasan yang dialami pekerja unit produksi

Hasil identifikasi keluhan pernapasan yang dialami oleh pekerja unit produksi menunjukkan bahwa sebagian besar pekerja sebanyak 65,0% mengalami keluhan pernapasan. Keluhan pernapasan pada pekerja dapat dipengaruhi oleh karakteristik pekerja yang meliputi usia, lama kerja, dan pemakaian APD masker.

Mekanisme pertahanan tubuh menanggapi adanya suatu zat atau partikel berbahaya di dalam organ tubuh ditandai dengan adanya keluhan seperti batuk, dahak, bunyi mengi, dan sesak nafas. Sebagian besar pekerja unit produksi mengalami keluhan pernapasan. Jenis keluhan pernapasan yang dialami oleh pekerja adalah batuk, batuk berdahak, nafas berbunyi, dan sesak nafas.

Tabel 3.

Keluhan Pernapasan Pekerja di Unit Produksi Tahun 2016

Keluhan Pernapasan	n	%
Ya	13	65,0
Tidak	7	35,0
Jumlah	20	100,0

Keluhan yang dialami oleh pekerja merupakan indikasi dari sistem proteksi tubuh dalam membersihkan partikel asing yang masuk ke dalam sistem pernapasan. Keluhan pernapasan berupa batuk, batuk berdahak, nafas berbunyi, dan sesak nafas dapat disebabkan dari adanya pajanan dari pencemar yang ada di di udara. Sistem pernapasan dimulai dari hidung hingga alveoli paru-paru. Partikel yang terhirup kemudian terkumpul di sepanjang saluran pernapasan akan memengaruhi tingkat keparahan dan kerusakan pada jaringan. Namun tingkat keparahan dan kerusakan jaringan dipengaruhi oleh ukuran partikel tersebut. Semakin kecil suatu ukuran partikel maka semakin jauh untuk mencapai saluran pernapasan bagian bawah. Keluhan pernapasan yang terjadi pada seseorang juga dipengaruhi oleh konsentrasi, durasi pajanan, dan sifat kimia partikel yang terhirup.

Pekerja yang mengalami keluhan batuk sebesar 55,0%, batuk berdahak sebesar 60,0%, nafas berbunyi sebesar 20,0%, dan sesak nafas sebesar 25,0%. Batuk dan batuk berdahak

Tabel 4.

Jenis Keluhan Pernapasan yang Dialami Pekerja Unit Produksi Tahun 2016

Keluhan Pernapasan	n	%
Batuk		
Ya	11	55,0
Tidak	9	45,0
Batuk berdahak		
Ya	12	60,0
Tidak	8	40,0
Nafas berbunyi		
Ya	4	20,0
Tidak	16	80,0
Sesak nafas		
Ya	5	25,0
Tidak	15	75,0
Jumlah	20	100,0

merupakan keluhan yang paling banyak dirasakan oleh pekerja.

Umumnya batuk merupakan gejala yang ditemukan akibat adanya penyakit pada pernapasan. Paparan debu, asap, dan pencemar yang masuk ke dalam saluran nafas bagian bawah dibersihkan melalui mekanisme batuk (Pranowowati dan Maryanto, 2010). Gejala batuk yang disebabkan oleh adanya iritasi partikel debu akan menimbulkan rangsangan berupa ekskresi berlebih di saluran pernapasan. Reaksi tersebut dikeluarkan secara mendadak dalam bentuk udara maupun lendir disertai bunyi yang khas. Refleksi tersebut mendorong sekresi ke atas sehingga benda yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat ditelan atau dikeluarkan (Suryanta, 2009).

Menurut Hariadi (2008), gejala penyakit yang paling penting dapat diidentifikasi melalui adanya batuk, namun hal tersebut relatif tidak spesifik. Berbagai rangsangan kimia, mekanis, atau *thermal* memungkinkan terjadinya batuk yang bersifat sementara tanpa adanya penyebab suatu penyakit. Jenis batuk menentukan tingkat gangguan pernapasan yang dialami. Pada umumnya, keluhan pernapasan yang timbul merupakan suatu awal terjadinya penyakit pada saluran pernapasan.

Partikel debu dan gas yang ada di dalam ruang kerja dapat menimbulkan terjadinya reaksi batuk hingga dapat menyebabkan iritasi pada mukosa pada saluran pernapasan. Batuk terjadi dalam bentuk pengeluaran udara dan lendir secara mendadak dan disertai bunyi. Batuk

merupakan gejala yang timbul paling awal akibat selalu terpajan pencemar udara. Refleksi batuk mendorong sekresi ke atas sehingga benda yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat ditelan atau dikeluarkan (Suryanta, 2009).

Dahak merupakan terdapatnya lendir yang berlebih pada saluran pernapasan. Keberadaan lendir tersebut disebabkan karena adanya gangguan fisik, kimia, atau infeksi pada membran mukosa (Pranowowati dan Maryanto, 2010). Dahak yang berlebih terbentuk dari kelenjar lendir dan sel goblet karena pengaruh stimuli yang berasal dari gas, alergen, partikel, dan mikroorganisme infeksius.

Sesak nafas atau kesulitan bernafas merupakan salah satu gejala penyakit yang mengenai jaringan parenkim paru dan rongga pleura. Seseorang yang mengalami sesak nafas sering mengeluh merasa tercekik atau nafas menjadi pendek (Pranowowati dan Maryanto, 2010). Kondisi tersebut disebabkan karena menyempitnya rongga saluran nafas dan menimbulkan terjadinya sesak nafas. Terjadinya sesak juga disebabkan karena berkurangnya volume paru yang masih berfungsi, berkurangnya elastisitas paru, dan ekspansi paru yang terhambat (Danusantoso, 2000). Keluhan sesak nafas yang dialami pekerja terjadi apabila pekerja berjalan cepat di tempat yang datar atau berjalan biasa di tempat yang sedikit menanjak.

Bunyi mengi merupakan salah satu tanda penyakit saluran pernapasan yang termasuk dalam penanganan infeksi akut saluran pernapasan. Bunyi tersebut dapat terdengar saat inspirasi maupun ekspirasi karena adanya penyempitan jalan udara. Penyakit asma maupun obstruksi dan tersumbatnya sebagian bronkus oleh benda asing seperti partikel juga merupakan salah satu penyebab terjadinya bunyi mengi.

Beberapa penyakit atau gangguan kesehatan yang berhubungan dengan saluran pernapasan dapat memengaruhi terjadinya gangguan pernapasan. Penyakit yang paling memengaruhi terjadinya keparahan gangguan saluran pernapasan adalah penyakit asma (EPA, 2014).

Penelitian yang dilakukan Okwari (2005) menyatakan bahwa keluhan batuk, nyeri dada, dan iritasi hidung banyak dialami oleh pekerja yang terpajan debu. Keluhan yang dialami oleh pekerja merupakan indikasi dari sistem proteksi tubuh dalam membersihkan partikel asing yang masuk ke dalam sistem pernapasan. Partikel debu yang berada di industri secara potensial

berdampak terhadap kesehatan paru, mereduksi jarak penglihatan, mereduksi radiasi matahari, dan meningkatkan kemungkinan presipitasi. Jenis debu juga memiliki kaitan dengan daya larut dan sifat kimianya, karena dengan adanya perbedaan daya larut dan sifat kimia tersebut dapat memengaruhi kemampuannya untuk mengendap di paru.

Penelitian yang dilakukan Rahardjo (2012) mengatakan bahwa apabila $PM_{2,5}$ di udara terhirup maka dapat memengaruhi kesehatan manusia. $PM_{2,5}$ sangat berbahaya untuk kesehatan manusia karena partikel tersebut dapat menembus bagian terdalam dari paru, penyakit kardiovaskuler bahkan kematian. Partikel tersebut masuk ke dalam alveoli dan dapat menimbulkan reaksi radang yang dapat menyebabkan daya kembang paru menjadi terbatas serta dapat mengakibatkan keluhan pernapasan pada manusia.

Berdasarkan Tabel 5, pekerja yang mengalami keluhan pernapasan di ruang pemotongan dengan kadar $PM_{2,5}$ memenuhi nilai ambang batas sebanyak 30,8%, pekerja yang mengalami keluhan pernapasan di ruang *finishing* dengan kadar $PM_{2,5}$ memenuhi nilai ambang batas sebanyak 53,8%, dan pekerja yang mengalami keluhan pernapasan di ruang cetak dengan kadar $PM_{2,5}$ memenuhi nilai ambang batas sebanyak 15,4%. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa pekerja merupakan orang yang tidak memiliki kebiasaan merokok sehingga keluhan pernapasan yang timbul dapat disebabkan oleh faktor lain termasuk pajanan partikel yang ada di lingkungan kerja percetakan. Suatu penelitian di Amerika Serikat menemukan bahwa 8-22% bukan perokok juga menderita batuk yang antara lain disebabkan oleh penyakit kronik, pencemaran udara, dan lain sebagainya. Keluhan tersebut dalam prosesnya berpotensi menjadi lebih berat hingga dapat berakhir pada kegagalan pernapasan bahkan kematian (Depkes, 2009).

Hasil penelitian Santiasih (2012) menyatakan bahwa terdapat korelasi positif antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan keluhan pernapasan pada tenaga kerja di dalam ruang. Keberadaan partikel debu di udara secara potensial menyebabkan kerugian di antaranya kesehatan paru, mereduksi jarak penglihatan, mereduksi radiasi matahari. Faktor penggunaan masker, kebiasaan merokok, dan kadar debu berhubungan dengan timbulnya keluhan pernapasan pada pekerja (Sholikah, 2012).

Kadar $PM_{2,5}$ di ketiga unit produksi masih memenuhi nilai ambang batas. Pekerja yang berada di ruang *finishing* dengan kadar $PM_{2,5}$ memenuhi nilai ambang batas lebih banyak mengalami keluhan pernapasan daripada di ruang pemotongan dan ruang cetak. Keluhan pernapasan yang dirasakan pekerja dengan kondisi kadar $PM_{2,5}$ yang memenuhi nilai ambang batas dipengaruhi oleh lama kerja yang berhubungan dengan lama pajanan partikel debu $PM_{2,5}$ di tempat kerja, frekuensi kerja, dan pemakaian APD berupa masker (Oktaviani, 2016).

Kadar $PM_{2,5}$ di unit produksi yang berada di bawah nilai ambang batas dipengaruhi adanya penghisap debu maupun kegiatan membersihkan ruangan secara berkala sehingga partikel debu yang dihasilkan dari proses produksi dapat segera dihisap dan diminimalkan. Luas ventilasi yang mengelilingi ruangan juga merupakan salah satu faktor yang dapat meminimalisasi keberadaan kadar partikel di lingkungan kerja. Di ruang pemotongan dan ruang *finishing* terdapat ventilasi alami yang berupa lubang angin dengan luas 50m². Bila dibandingkan dengan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, maka standar ventilasi di kedua ruangan tersebut telah memenuhi standar ventilasi minimal

Tabel 5.
Kadar $PM_{2,5}$ dan Keluhan Pernapasan Pada Pekerja Unit Produksi Tahun 2016

Lokasi	Kadar $PM_{2,5}$	Keluhan Pernapasan			
		Ya	%	Tidak	%
Ruang Pemotongan	Memenuhi NAB	4	30,8	2	28,6
Ruang <i>Finishing</i>	Memenuhi NAB	7	53,8	4	57,1
Ruang Cetak	Memenuhi NAB	2	15,4	1	14,3
Jumlah		13	100,0	7	100,0

yang ditetapkan, yaitu lebih dari 15% dari luas lantai. Ventilasi ruangan yang cukup membantu pekerja untuk memperoleh kenyamanan dan menghilangkan gas atau partikel yang mengganggu (BSN, 2001).

Salah satu dampak dari kegiatan percetakan dapat menimbulkan pencemaran udara akibat adanya partikel, baik yang berasal dari kegiatan pemotongan kertas maupun penggunaan mesin dalam proses pencetakan. Ukuran partikel yang sangat halus seperti $PM_{2,5}$, partikel tersebut bersifat mudah terhirup dan dapat mencapai alveoli sehingga dapat mengakibatkan inflamasi pada paru-paru pembuluh darah, bahkan hati serta organ lainnya (EPA, 2014).

Konsekuensi patologis dan klinis yang berasal dari pajanan partikel debu sangat bervariasi. Manifestasi penyakit tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sifat debu, intensitas, lama pajanan, dan kerentanan individu. Organ pernapasan yang terpajan partikel tersebut juga akan memberikan respons yang berbeda tergantung dari sifat kimia bahan tersebut, sifat fisika, dan toksisitas partikel debu yang terdapat di lingkungan kerja (Alfiah, 2009).

SIMPULAN DAN SARAN

Kualitas fisik suhu di ketiga titik pengukuran pada unit produksi seluruhnya belum memenuhi baku mutu dan faktor kualitas fisik udara yang berupa kelembapan telah memenuhi baku mutu sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405 Tahun 2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. Kualitas kimia berupa kadar $PM_{2,5}$ dalam udara di unit produksi yang terdiri dari tiga titik pengukuran seluruhnya masih memenuhi nilai ambang batas yang ditetapkan sesuai dengan standar WHO.

Sebagian besar pekerja di unit produksi merupakan pekerja usia produktif yang berusia kurang dari 25 tahun, memiliki masa kerja kurang dari 5 tahun, lama kerja lebih dari sama dengan 8 jam/hari, dan tidak menggunakan APD masker saat bekerja.

Keluhan pernapasan yang paling banyak dialami pekerja bila diurutkan adalah, batuk, batuk berdahak, sesak nafas, dan nafas berbunyi. Pekerja yang berada di area kadar debu $PM_{2,5}$ memenuhi nilai ambang batas mengalami keluhan pernapasan disebabkan karena adanya pengaruh

dari lama kerja atau lama pajanan dan pemakaian APD masker.

Saran yang dapat diberikan pada perusahaan adalah melakukan pemeriksaan kesehatan secara rutin sebagai upaya mencegah terjadinya gangguan faal paru yang kemungkinan dialami oleh pekerja unit produksi, meningkatkan pengendalian administratif dengan cara mengatur lama jam kerja dan pemakaian masker, membersihkan ventilasi, *dust collector*, maupun fasilitas produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiah, T. 2009. *Pencemaran Udara Teknik Lingkungan*. Surabaya: Teknik Lingkungan ITATS.
- Badan Pusat Statistik. 2015. Surabaya dalam Angka 2014. Dipetik February 2, 2016 dari http://surabayakota.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Surabaya-Dalam-angka-2014.pdf
- Badan Pusat Statistik. 2015. Surabaya Dalam Angka 2015. Dipetik February 2, 2016, http://surabayakota.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Surabaya-Dalam-angka-2015.pdf
- Badan Standarisasi Nasional. 2001. SNI 03-6572-2001 Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- BBTKL dan PPM. 2009. Situasi Kecenderungan Parameter Pencemar Lingkungan dan Risiko Gangguan Kesehatan di Kota Surabaya Tahun 2006–2008. *Laporan*. Surabaya.
- Colorado Department of Public Health and Environment. 2014. A Guide to Environmental Regulations for: Printing & Imaging Facilities. Dipetik January 12, 2015, dari rado.gov/pacific/sites/default/files/AP_Guide-to-Environmental-Regulations-for-Printing-and-Imaging-Facilities_1.pdf
- Danusantoso, H. 2000. *Buku Saku Ilmu Penyakit Paru*. Jakarta: Hipokrates.
- Departemen Kesehatan. 2009. Pedoman Pengendalian Penyakit ISPA. Dipetik Desember 18, 2015 dari id.scribd.com/mobile/doc/21879326.
- Departemen Kesehatan. 2013. *Parameter Pencemaran Udara dan Dampaknya Bagi Kesehatan*. Dipetik December 14, 2015 dari <http://www.depkes.go.id/downloads/udara.pdf>
- Ekowati, R. 2012. Analisis Risiko Paparan Debu (*Linen Dust*) terhadap Gangguan Fungsi Paru. Universitas Airlangga. *Thesis*. Surabaya: Universitas Airlangga
- EPA. 2014. *Particulate Matter*. Dipetik January 5, 2016 dari <http://www.epa.gov/pm/>
- Groover, M.P. 2007. *Fundamental of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Hariadi, S., Amin, M., Wibisono, M.J., Hasan, H. 2008. *Dasar-dasar Diagnostik Fisik Paru*. Surabaya: Laboratorium Ilmu Penyakit Paru, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga.

- Kementerian Kesehatan RI. 2002. Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1405/MENKES/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri.
- Kementerian Kesehatan RI. 2002. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002 tentang Pedoman Pengendalian Dampak Pencemaran Udara.
- Kementerian Kesehatan RI. 2004. *Parameter Udara dan Dampaknya terhadap Kesehatan*. Dipetik Januari 2, 2016 dari <http://www.depkes.go.id/downloads/Udara.pdf>
- Mukono, J. 2003. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Cetakan kedua. Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, J. 2008a. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Oktaviani, D.A. 2016. Analisis Kadar $PM_{2,5}$ dan keluhan Pernapasan Pada Pekerja Percetakan di CV Bayu Mandiri. *Thesis*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Okwari, P.O. 2005. Lung Function Status of Workers Exposed to Wood Dust in Timber Markets in Calabar, Nigeria. *African Journal of Medicine And Medical Sciences*. 2(34): 141–5.
- Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir (P3KRBiN). 2004. Perkiraan Deposisi Partikel Udara (PM_{10} / $PM_{2,5}$ dan TSP) pada Saluran Pernapasan Penduduk Cilegon Menggunakan Perangkat Lunak Ludep. BATAN. Dipetik February 25, 2016 dari http://digilib.batan.go.id/e-prosiding/File%20Prosiding/Energi/Pros_LitNuklir_2008/Data/Sumiardjo_245.pdf
- Putri, E.P. 2012. Konsentrasi $PM_{2,5}$ di Udara dalam Ruang dan Penurunan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Sekitar Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta Timur Tahun 2012. Universitas Indonesia. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Pranowati, P., Maryanto, S. 2010. Induksi Partikel Terhirup dalam Asap Terhadap Kapasitas Fungsi Paru pada Pengrajin Pengasapan Ikan di Kelurahan Bandarharjo Kecamatan Semarang Utara Kota Semarang. *Jurnal Gizi dan Kesehatan*. 2(1): Januari 2010: 10–11.
- Qian, Z., Molin, H.Q., Kong, H., Bentley, L.C., Liu, W. 2008. High Temperatures Enhanced Accute Mortality Effects of Ambient Particle Pollution in the “Oven” City of Wuhan, China. *Environmental Health Perspectives* 116(9).
- Rahardjo, R.A. 2012. Hubungan Antara Paparan Debu Padi Dengan Kapasitas Fungsi Paru Tenaga Kerja di Penggilingan Padi Anggraini, Sragen, Jawa Tengah. Universitas Sebelas Maret. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Santiasih, I. 2012. Paparan Partikulat (PM_{10} dan $PM_{2,5}$) Terhadap Tenaga Kerja di Dalam Ruangan. *Paper and Presentation of Environment Engineering*. Dipetik January 17, 2016 dari <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-29011-3310201006-abstract-id-santiasih.pdf>
- Salisa, S.S. 2011. Paparan Asap dari Aktivitas Pengasapan Ikan Terhadap Keluhan Mata, Pernapasan, dan Fungsi Paru (Studi di Jalan Kejawan Lor Kelurahan Kenjeran, Kecamatan Bulak, Surabaya). Universitas Airlangga. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Sholikhah, A.M. 2015. Hubungan Karakteristik Pekerja dan Kadar Debu Total Dengan Keluhan Pernapasan Pada Pekerja Industri Kayu X di Kabupaten Lumajang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 1(1): 1–12.
- Sugiarti. 2009. Gas Pencemar dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar. *Jurnal Chemical*. 10(1).
- Suma'mur, P.K. 2009. *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja* (Hiperkes). Jakarta: Sagung Seto.
- Suryanta, N. 2009. Pengaruh Pengendalian Paparan Debu pada Pekerja Pensortiran Daun Tembakau di PT. XX Kabupaten Deli Serdang. Universitas Sumatera Utara. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Wardhana, W.A. 2007. *Dampak Pencemaran Lingkungan (edisi revisi)*. Edisi III. Yogyakarta: Andi offset 27–127.