

Pajanan Personal PM_{2.5} dan Perubahan Biokimia Darah pada Petugas Penyapu Jalan

Doni Hikmat Ramdhan*, Nurul Fajriyah, Astri Yuniarti

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat 12345

*Corresponding author : doni@ui.ac.id

Info Artikel : Diterima 12 Desember 2019 ; Disetujui 8 Mei 2020 ; Publikasi 1 Oktober 2020

Cara sitasi (Vancouver): Ramdhan D, Fajriyah N, Yuniarti A. Pajanan Personal PM_{2.5} dan Perubahan Biokimia Darah pada Petugas Penyapu Jalan. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2020 Oct;19(2):89-94. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.89-94>.

ABSTRAK

Latar belakang: Pajanan partikulat jalan raya akibat hasil pembakaran bahan bakar kendaraan dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang dimulai dari perubahan kadar biokimia darah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan biokimia darah pada sampel terpajan partikulat dan tidak terpajan partikulat.

Metode: Penelitian ini bersifat deskriptif analitik dengan desain studi cross sectional. Populasi dalam penelitian ini adalah penyapu jalan raya yang bekerja membersihkan sampah dan kotoran di jalan raya. Melalui teknik *purposive sampling* didapatkan 51 sampel yang diambil darahnya untuk diuji oleh laboratorium dan melihat kadar glukosa, insulin, hs-CRP, MDA dan TNF- α . Data dianalisis dengan uji t independen dan uji kai kuadrat.

Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kadar glukosa, insulin, MDA dan TNF- α pada kelompok terpajan partikulat dan kelompok tidak terpajan partikulat ($p=0,025$; $p=0,001$; $p=0,006$; $p=0,039$). Namun, tidak terdapat perbedaan kadar hs-CRP pada kelompok terpajan partikulat dan kelompok tidak terpajan partikulat ($p=0,169$).

Simpulan: Disimpulkan bahwa pajanan partikulat halus atau ukuran diameter kurang 2.5 μm dapat berpengaruh terhadap kadar biokimia darah pada pekerja yang terpajan secara terus menerus, dilihat dari terdapat perbedaan pada glukosa, insulin, MDA dan TNF- α pada kedua kelompok sampel.

Kata kunci: glukosa; insulin; PM_{2.5}; MDA; TNF- α

ABSTRACT

Title: PM_{2.5} Personal Exposure and Blood Biochemical Changes among Road Sweeper

Background: Highway particulate exposure due to the burning of vehicle fuel can cause health problems that begin with changes in blood biochemical levels. This study aims to determine whether there are differences in the biochemical blood samples exposed to PM_{2.5} and unexposed to PM_{2.5}.

Method: This study is a descriptive-analytic with a cross-sectional design study. The population is the road sweeper who works cleaning trash and dirt on the highway. Through a purposive sampling technique, 51 blood samples were taken to be tested by the laboratory and looked at glucose, insulin, hs-CRP, MDA and TNF- α levels. Data were analyzed by independent t-test and chi-square test.

Result: there were differences in the levels of glucose, insulin, MDA and TNF- α between exposed of PM_{2.5} and unexposed groups of PM_{2.5} ($p = 0.025$, $p = 0.001$, $p = 0.006$, $p = 0.039$). However, there was no difference in the levels of hs-CRP in the PM_{2.5} exposed group and the PM_{2.5} unexposed group ($p = 0.169$).

Conclusion: The conclusion was that exposure to fine particulate or PM_{2.5} can affect the blood biochemical level in workers who exposed continuously, seen from differences in glucose, insulin, MDA and TNF- α in both groups of samples.

Keywords: *glucose; insulin; PM_{2.5}; MDA; TNF- α*

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia senantiasa dituntut hidup berdampingan dengan dampak negatif dari teknologi yang digunakan. Penduduk perkotaan seperti Jakarta dengan jumlah penduduk sebanyak 10.558 (2019) orang dan jumlah kendaraan sebanyak 18.004.404 unit (2016)¹, senantiasa terpajan polusi udara dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Salah satu polutan dari kendaraan bermotor yang berpotensi buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan adalah PM_{2.5} (*Particulate Matter*). PM_{2.5} yang berada di jalan raya dapat mengganggu sistem pernapasan dan kelainan sistem peredaran darah. PM_{2.5} dapat masuk ke dalam paru-paru manusia hingga ke alveolus. PM_{2.5} terdifusi ke pembuluh darah saat proses pertukaran gas yang terjadi antara alveolus dan pembuluh darah, mengganggu kadar glukosa, insulin serta beberapa sel tubuh lain. Penelitian Ramdhan et al. juga menemukan bahwa pajanan nanopartikel dari hasil gas buang kendaraan mesin diesel dapat meningkatkan plasma testosterone pada tikus jantan.² Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa partikel dengan ukuran yang semakin kecil lebih berbahaya karena dapat mengganggu hingga ke biokimia darah. Gangguan tersebut dapat berupa perubahan kadar dan fungsi biokimia pada molekul target sehingga akhirnya memicu timbulnya penyakit.³

Penelitian Künzli, et al menemukan hubungan positif antara pajanan debu PM_{2.5} dengan annual CIMT (*Common Carotid Artery Intima-Media Thickness*) yang berfungsi untuk melihat deret aterosklerosis.⁴ Penelitian tersebut membuktikan adanya hubungan antara pajanan debu PM_{2.5} dalam polusi udara jalanan dengan peningkatan kejadian aterosklerosis, dilihat dari perubahan pada CIMT. Selain itu, Araujo menemukan adanya hubungan pajanan PM_{2.5} dengan gejala oksidatif stress dalam darah.⁵ Penelitian lain yang dilakukan oleh Rice et al. menemukan adanya hubungan antara pajanan PM_{2.5} dengan penurunan HDL (*High Density Lipoprotein*) akut pada pekerja *welding*.⁶

Biokimia dalam darah, seperti glukosa, insulin dan protein dapat meningkat, apabila terdapat barrier seperti PM_{2.5} dan kandungannya. Sun et al. dalam penelitiannya menyatakan bahwa terdapat hubungan antara pajanan polusi udara dengan diabetes, yaitu adanya peningkatan glukosa, *visceral adiposity* dan resistensi insulin.⁷ Penelitian lain menemukan hubungan PM_{2.5} dengan gangguan jantung dan pembuluh darah, dimana terdapat peningkatan TNF- α dan glukosa sebesar 20,2 % dan 13,1 % pada peningkatan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.⁸ Zhang et al. dalam penelitiannya menemukan bahwa setiap peningkatan 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2.5} dikaitkan dengan peningkatan 1,31% C-reactive protein (CRP).⁹ Pajanan PM_{2.5} dapat memicu timbulnya ROS (*Reactive Oxygen Species*) dan

mengganggu susunan metabolisme. Keberadaan ROS tersebut dapat menimbulkan adanya inflamasi sistemik dan oksidatif stress. Parameter untuk mengetahui adanya inflamasi sistemik salah satunya adalah melihat kadar *Malondialdehyde* (MDA) dan *Tumor Necrosis Factor alpha* (TNF- α) dalam darah.⁵ Penelitian sebelumnya menemukan hubungan antara peningkatan inflamasi, TNF- α dan MDA dengan peningkatan PM_{2.5}.^{8,10}

Banyak penelitian menunjukkan hubungan antara pajanan partikulat dari kendaraan bermotor dengan gangguan kesehatan, terutama pada peningkatan biokimia darah. Sementara itu, penyapu jalan merupakan salah satu kelompok pekerja yang dalam melakukan pekerjaannya senantiasa terpajan dengan partikulat berasal dari kendaraan bermotor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah PM_{2.5} dapat mempengaruhi biokimia darah pada penyapu jalan yang setiap hari terpajan PM_{2.5} kendaraan bermotor. Untuk mengetahui hal tersebut, akan dilakukan perbandingan kadar biokimia darah pada penyapu jalan sebagai kelompok terpajan dan kelompok tidak terpajan PM_{2.5}.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif analitik dengan menggunakan desain studi *cross sectional*. Populasi dalam penelitian ini adalah penyapu jalan raya yang bekerja sebagai membersihkan sampah dan kotoran di jalan raya. Pengambilan sampel menggunakan teknik *purposive sampling*, dimana sampel diambil berdasarkan dengan kriteria inklusi adalah petugas kebersihan yang terpajan dengan debu jalanan setiap hari kerja dan bekerja di sekitar jalan raya. Sampel penelitian ini berjumlah 51 orang dimana kelompok terpajan terdiri dari 36 orang, yaitu petugas penyapu jalan Jenderal Sudirman, Jakarta dan kelompok tidak terpajan terdiri dari 15 orang, yaitu petugas kebersihan yang bekerja di kantor yang tidak terpajan debu jalan raya maupun industri. Jumlah sampel penelitian ini sesuai dengan jumlah petugas kebersihan yang bersedia diteliti.

Pengumpulan data primer dilakukan pada bulan Maret – April 2013 dengan mengukur konsentrasi debu personal PM dan pengambilan sampel darah dilakukan oleh petugas yang berkompeten untuk dianalisis kadar glukosa, insulin, hs-CRP, MDA dan TNF- α , serta melakukan wawancara menggunakan instrumen kuesioner tervalidasi. *Informed consent* juga dimintakan pada subjek penelitian, hanya pekerja yang bersedia di ambil sampel darahnya saja yang akan menjadi responden. Pengukuran konsentrasi debu menggunakan alat ukur *Personal Sampling Sioutas Impactor* dan *SKC Leland Legacy* kemudian hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan nilai ambang batas (NAB) debu PM_{2.5}. NAB terhadap debu

PM_{2,5} sebesar 60 µg/m³ dalam 24 jam dan 15 µg/m³ dalam 1 tahun berdasarkan peraturan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia (2011) yang masih mengacu pada PP No.41 Tahun 1999. Wawancara yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui lama kerja, usia, kebiasaan merokok, penggunaan masker, dan riwayat penyakit lampau pekerja. Data dianalisis secara univariat dan bivariat (uji t independen).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa rata-rata usia responden kelompok terpajan yaitu 38 ± 9,9 tahun dan kelompok tidak terpajan yaitu 30,2 ± 4,9 tahun. Menurut status lama kerja, kelompok terpajan rata-rata sudah lebih lama status kerjanya dibandingkan kelompok tidak terpajan yaitu 12,11 ± 7,1 tahun. Kemudian untuk kebiasaan merokok, lebih banyak pada kelompok terpajan dibandingkan kelompok tidak terpajan yaitu sebanyak 75%.

Pengukuran PM dilakukan selama tiga hari yaitu Senin, Rabu dan Jumat. Berdasarkan pengukuran tersebut didapatkan bahwa rata-rata konsentrasi PM melebihi NAB, dimana PM 1-2,5 µm memiliki rata-rata konsentrasi tertinggi yaitu 131,22 ± 70,80 µg/m³. Sedangkan rata-rata konsentrasi terendah terdapat pada PM 0,5-1 µm yaitu 61,75 ± 35,39 µg/m³. Jika dilihat dari nilai minimal dan maksimal, konsentrasi tertinggi yaitu 208,48 µg/m³

pada PM 1-2,5 µm dan yang terendah yaitu 23,15 µg/m³ pada PM 0,5-1 µm.

Hasil analisis bivariat menunjukkan bahwa kadar glukosa pada kelompok terpajan adalah 93,19 ± 16,128 mg/dl, lebih tinggi dibanding kelompok tidak terpajan dengan kadar glukosa sebesar 83,33 ± 5,21 mg/dl. Kemudian untuk insulin, kadar insulin pada kelompok terpajan adalah 15,37 ± 13,56 µIU/ml, lebih tinggi dibanding kelompok tidak terpajan dengan kadar insulin sebesar 2,69 ± 4,14 µIU/ml. Selanjutnya, nilai rata-rata hs-CRP pada kelompok terpajan adalah 1,97 ± 2,31 mg/l. Sedangkan untuk kelompok tidak terpajan rata-rata hs-CRP adalah 1,11 ± 0,83 mg/l. Hasil uji statistik didapatkan nilai p=0,169 (α=5%) berarti tidak ada perbedaan yang signifikan rata-rata hs-CRP antara kelompok terpajan PM_{2,5} dengan kelompok tidak terpajan PM_{2,5}. Untuk MDA, hasil analisis menunjukkan nilai rata-rata MDA pada kelompok terpajan adalah 0,34 ± 0,19 µM. Sedangkan untuk kelompok tidak terpajan rata-rata MDA adalah 0,24 ± 0,07 µM. Hasil uji statistik didapatkan nilai p=0,006 (α=5%), berarti terlihat ada perbedaan yang signifikan rata-rata MDA antara kelompok terpajan PM_{2,5} dengan kelompok tidak terpajan PM_{2,5}. Kemudian untuk TNF-α, nilai rata-rata TNF-α pada kelompok terpajan adalah 3,68 ± 5,39 pg/ml, lebih tinggi dibanding kelompok tidak terpajan yaitu sebesar 1,72 ± 0,63 pg/ml.

Tabel 1. Distribusi Karakteristik Petugas Penyapu Jalan

Variabel	Mean	Median	SD	Min-Maks	95% CI	Persentase (%)
Usia						
Terpajan	38	36,5	9,9	18-58	34,6 - 41,4	-
Tidak Terpajan	30,2	30	4,9	24-42	27,5 - 32,9	-
Lama Kerja						
Terpajan	12,11	13	7,1		9,7 - 14,5	-
Tidak Terpajan	2,87	2	1,8		1,9 -3,8	-
Kebiasaan Merokok						
Terpajan	-	-	-	-	-	75
Tidak Terpajan	-	-	-	-	-	53,3

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Partikulat di Jalan Sudirman

	Ukuran partikulat			
	<0,25 µm	0,25-0,5 µm	0,5-1 µm	1-2,5 µm
Mean	123,49	84,88	61,75	131,22
SD	70,73	48,19	35,39	70,80
Min-Maks	46,3 - 185,19	46,30 - 138,89	23,15 - 92,66	69,44 - 208,48

Tabel 3. Perubahan Kadar Biokimia Darah Pada Kelompok Terpajan dan Tidak Terpajan

Variabel	Terpajan (mg/dl)			Tidak Terpajan (mg/dl)			p-value
	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	
Glukosa (mg/dl)	93,19	16,128	87,7-98,6	83,3	5,2	80,4-86,2	0,025*
Insulin (μ IU/ml)	15,372	13,56	10,8-19,9	2,69	4,14	0,4-498	0,001*
Hs-CRP (mg/l)	1,97	2,31	1,19-2,75	1,113	0,834	0,65-1,58	0,169
MDA (μ M)	0,34	0,19	0,28-0,41	0,24	0,07	0,19-0,28	0,006*
TNF- α (pg/ml)	3,68	5,39	1,85-5,51	1,72	0,63	1,37-2,07	0,039*

* p < 0.05

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat personal pada semua ukuran pada para petugas penyapu jalan raya memiliki nilai rata-rata di atas Nilai Ambang Batas (> 60 μ g/m³ dalam 24 jam). Selain itu, penelitian ini menunjukkan kadar biokimia darah penanda penyakit diabetes melitus pada petugas penyapu jalan raya memiliki kadar yang lebih tinggi dibanding kelompok tidak terpajan dengan PM_{2.5} jalan raya. Biokimia darah yang nilainya tinggi adalah glukosa, insulin, MDA dan TNF- α . Hasil pengukuran konsentrasi partikulat pada penelitian ini sesuai dengan penelitian Ramdhan et al. yang menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{2.5} pada polisi lalu lintas di Jakarta memiliki nilai rata-rata di atas 60 μ g/m³.¹¹

Terdapat perbedaan kadar glukosa, insulin, MDA dan TNF- α pada kelompok terpajan PM_{2.5} dan kelompok tidak terpajan PM_{2.5}. (p=0,025; p=0,001; p=0,006; p=0,039). Tidak ditemukan perbedaan kadar hs-CRP pada kelompok terpajan PM_{2.5} dan kelompok tidak terpajan PM_{2.5} (p=0,169). Namun, penelitian lain menemukan hubungan yang kuat antara peningkatan 100 μ g/m³ PM_{2.5} dengan kadar hs-CRP pada sampel.⁹ Hal ini diperkuat oleh temuan Liu et al. dimana dengan adanya peningkatan 10 μ g/m³ PM_{2.5} maka akan terjadi peningkatan kadar CRP sebesar 0,83%.¹²

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelompok terpajan partikulat memiliki nilai rata-rata kadar glukosa yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata kadar glukosa kelompok tidak terpajan partikulat. Hal ini sesuai dengan penelitian Zhang et al. yang menemukan bahwa PM_{2.5} berhubungan dengan peningkatan kadar glukosa pada orang tua yang terpajan secara lama di Cina.¹³ Selain itu Sun et al. menemukan hubungan yang positif antara pajanan PM_{2.5} dengan kadar glukosa dalam darah mencit yang dijadikan objek eksperimennya.⁷ Sebelum mencit diberikan pajanan PM_{2.5} tidak terdapat perbedaan yang signifikan diantara kedua kelompok sampelnya. Setelah sampel diberikan pajanan PM_{2.5} sebanyak 0.3 – 2.2 g/hari selama 20 menit terlihat adanya perbedaan pada kadar glukosa, insulin dan abnormal

kadar profil lipid darah. Yuwono et al. mengungkapkan bahwa pajanan partikulat halus dapat merusak mekanisme sel beta pankreas karena adanya kegagalan penggunaan glukosa.¹⁴ Kegagalan penggunaan glukosa tersebut terjadi karena terdapat alkilasi protein untuk *uptake* dan metabolisme glukosa serta kerusakan mitokondria. Partikulat halus dari hasil pembakaran tidak sempurna kendaraan dapat menimbulkan adanya ROS di makrofag, sel epitel bronkiolus dan mikrosom sel paru yang terinkubasi dengan kandungan organik partikulat.⁵ Partikulat halus tersebut kemudian dapat menimbulkan stress oksidatif dan inflamasi sel. Mendez et al. menjelaskan bahwa pajanan PM_{2.5} dapat menstimulasi inflamasi di hati dan menyebabkan intoleransi terhadap glukosa serta resistensi insulin.¹⁵ Pajanan PM_{2.5} dapat memicu gangguan sistem metabolisme tubuh karena partikulat halus dapat menyebabkan respons stress inflamasi dan mengganggu jalur glukosa dalam darah akibat teraktifasinya makrofag.

Kelompok terpajan partikulat memiliki nilai rata-rata kadar insulin yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata kadar insulin kelompok tidak terpajan partikulat. Menurut Schneider et al. salah satu indikator untuk mengetahui adanya oksidatif stress dalam tubuh adalah dengan melihat kadar resistensi insulin dalam darah.¹⁶ Inflamasi kronik dapat berpengaruh pada mekanisme produksi *insulin resistance* pada mencit yang diberikan pajanan PM_{2.5}.⁷ Peningkatan resistensi insulin selain dapat berisiko terhadap diabetes mellitus tetapi dapat menurunkan HRV dan menyebabkan penyakit jantung koroner (*Heart Rate Variability*).¹⁷

Penelitian ini menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara hs-CRP pada kelompok terpajan PM_{2.5} dan hs-CRP pada kelompok tidak terpajan PM_{2.5}. *High Sensitivity C-Reactive Protein* (hs-CRP) merupakan salah satu biomarker untuk mengetahui adanya potensi risiko gangguan pada jantung.¹⁰ Penelitian Wang et al. menunjukkan ada peningkatan kadar CRP pada tikus yang diberikan paparan PM_{2.5} dibandingkan kelompok kontrol.¹⁰ Nilai

CRP yang tinggi dapat mengindikasikan adanya kerusakan dan inflamasi sel tubuh.¹⁰ Hertel, et al. juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara partikulat halus dan partikulat ultrafine dengan hs-CRP pada pengukuran dengan partikulat berkonsentrasi tinggi dan dalam jangka waktu pajanan yang pendek serta pengukuran yang dilakukan secara kontinyu.¹⁸

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan MDA antara kelompok terpajan dan tidak terpajan partikulat. Hasil penelitian sesuai dengan penelitian Wang, et al. yang menjelaskan bahwa terdapat peningkatan kadar MDA pada tikus setelah diberikan pajanan PM_{2.5}.¹⁰ Aydin, et al. menemukan bahwa nanopartikel dapat meningkatkan generasi ROS dan MDA yang dapat memicu radikal bebas dan menurunkan aktifitas enzim antioksidan seperti *superoksida dismutase* (SOD), *catalase* (CAT), *glutathione peroksidase* (GPx) dan lainnya.¹⁹ Selain itu Aydin et al. menemukan pada kelompok terpajan nanopartikel terjadinya peningkatan MDA sebagai hasil produk dari peroksidasi lipid dan oksidatif stress.¹⁹

Penelitian ini menunjukkan terdapat perbedaan TNF- α antara kelompok terpajan dan kelompok tidak terpajan partikulat (p value = 0,039). Hal ini sesuai dengan penelitian Aydin, et al. yang membuktikan bahwa sampel yang diberikan pajanan partikel mulai dari nanopartikel, partikulat halus hingga partikulat kasar memiliki hubungan yang kuat dengan peningkatan TNF- α akibat teraktifasinya makrofag.¹⁹ Penelitian dengan desain studi kohort oleh Schneider et al. menemukan hubungan antara peningkatan inflamasi, sitokin, TNF- α dan sirkulasi eosinofil dengan peningkatan PM_{2.5}.⁸ Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Gosal et al. menjelaskan bahwa terdapat hubungan positif tidak bermakna antara kadar TNF- α dengan nilai resistensi insulin pada sampel.²⁰ Teori yang dikemukakan oleh Gosal et al. tersebut dapat dijadikan sebagai panduan bahwa TNF- α merupakan salah satu parameter yang dapat meningkatkan insulin, terutama adanya resistensi insulin.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan biokimia darah antara kelompok yang terpajan partikulat dengan tidak terpajan PM_{2.5}. Terdapat perbedaan kadar glukosa, insulin, MDA dan TNF- α pada kelompok terpajan PM_{2.5} dan kelompok tidak terpajan PM_{2.5}. Namun tidak ditemukan perbedaan kadar hs-CRP pada kelompok terpajan PM_{2.5} dan kelompok tidak terpajan PM_{2.5}.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta. Statistik Daerah Provinsi DKI Jakarta 2019. Jakarta 2019.
2. Ramdhan DH, Ito Y, Yanagiba Y, Yamagishi N, Hayashi Y, Li C, et al. Nanoparticle-rich diesel

exhaust may disrupt testosterone biosynthesis and metabolism via growth hormone. *Toxicology letters*. 2009;191(2-3):103-8.

3. Ramdhan DH. Penelitian Genom dan Implikasinya dalam Kesehatan Masyarakat di Indonesia. *Kesmas: National Public Health Journal*. 2014;9(1):1-5. doi:10.21109/kesmas.v9i1.448
4. Künzli N, Jerrett M, Garcia-Esteban R, Basagaña X, Beckermann B, Gilliland F, et al. Ambient air pollution and the progression of atherosclerosis in adults. *PloS one*. 2010;5(2):e9096.
5. Araujo JA. Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2011;4(1):79-93. doi:10.1007/s11869-010-0101-8
6. Rice MB, Cavallari J, Fang S, Christiani D. Acute decrease in HDL cholesterol associated with exposure to welding fumes. *Journal of occupational and environmental medicine/American College of Occupational and Environmental Medicine*. 2011;53(1):17. doi:10.1097/JOM.0b013e3182028d20
7. Sun Q, Yue P, Deulius JA, Lumeng CN, Kampfrath T, Mikolaj MB, et al. Ambient air pollution exaggerates adipose inflammation and insulin resistance in a mouse model of diet-induced obesity. *Circulation*. 2009;119(4).
8. Schneider A, Alexis NE, Diaz-Sanchez D, Neas LM, Harder S, Herbst MC, et al. Ambient PM_{2.5} exposure up-regulates the expression of costimulatory receptors on circulating monocytes in diabetic individuals. *Environmental health perspectives*. 2010;119(6):778-83. doi: 10.1289/ehp.1002543
9. Zhang Z, Chang L-y, Lau AK, Chan T-C, Chieh Chuang Y, Chan J, et al. Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particulate matter are associated with C-reactive protein in 30 034 Taiwanese adults. *International journal of epidemiology*. 2017;46(4):1126-36. doi: 10.1093/ije/dyx069
10. Wang G, Jiang R, Zhao Z, Song W. Effects of ozone and fine particulate matter (PM_{2.5}) on rat system inflammation and cardiac function. *Toxicology letters*. 2013;217(1):23-33. doi: 10.1016/j.toxlet.2012.11.009
11. Ramdhan DH, Ahmad EF, Kurniasari F, Rizky ZP, Atmajaya H, Santoso M. Personal Exposure of Traffic Policeman to Particulate Matter in Jakarta: Distribution of Size, Chemical Composition, and Work Time. *Kesmas: National Public Health Journal*. 2019;14(2). doi: 10.21109/kesmas.v14i2.3165
12. Liu Q, Gu X, Deng F, Mu L, Baccarelli AA, Guo X, et al. Ambient particulate air pollution and circulating C-reactive protein level: A systematic review and meta-analysis. *International journal of hygiene and environmental health*. 2019; 222(5):756-764. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.05.005
13. Zhang Y, Li T, Lin Z, Shi X, editors. Long-Term

- Exposure to Ambient PM_{2.5} and Fasting Blood-Glucose in the Elder Cohort. ISEE Conference Abstracts; 2018.
14. Yuwono A, Setiawan B, Kania N, Widodo MA. Paparan Debu Batubara Subkronik pada Peroksidasi Lipid dan Kadar Gula Darah Tikus Diabetes Melitus. *Majalah Kedokteran Bandung*. 2011;43(4):189-92. doi: 10.15395/mkb.v43n4.68
 15. Mendez R, Zheng Z, Fan Z, Rajagopalan S, Sun Q, Zhang K. Exposure to fine airborne particulate matter induces macrophage infiltration, unfolded protein response, and lipid deposition in white adipose tissue. *American journal of translational research*. 2013;5(2):224 -234.
 16. Schneider A, Neas LM, Graff DW, Herbst MC, Cascio WE, Schmitt MT, et al. Association of cardiac and vascular changes with ambient PM 2.5 in diabetic individuals. *Particle and fibre toxicology*. 2010;7(1):14. doi: 10.1186/1743-8977-7-14.
 17. Rodríguez-Colón SM, Li X, Shaffer ML, He F, Bixler EO, Vgontzas AN, et al. Insulin resistance and circadian rhythm of cardiac autonomic modulation. *Cardiovascular diabetology*. 2010;9(1):85.
 18. Hertel S, Viehmann A, Moebus S, Mann K, Bröcker-Preuss M, Möhlenkamp S, et al. Influence of short-term exposure to ultrafine and fine particles on systemic inflammation. *European journal of epidemiology*. 2010;25(8):581-92. doi: 10.1007/s10654-010-9477-x
 19. Aydın A, Sipahi H, Charehsaz M. Nanoparticles toxicity and their routes of exposures. *Recent Advances in Novel Drug Carrier Systems*. 2012.
 20. Gosal F, Waleleng BJ, Pandelaki K. TNF- α Level, HOMA-IR, and Non-Alcoholic Simple Steatohepatitis in Obese Senior High School Students. *Journal of the Indonesian Medical Association*. 2013;63(01).