

DIRECT-READING METHODS DALAM ANALISIS PAJANAN NANOPARTIKEL PADA PERSONAL BREATHING ZONE (PBZ) DI INDONESIA : SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Anita Maria Magdalena Silaban¹, Mila Tejamaya²

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas
Indonesia

anita.maria91@ui.ac.id, tejamaya@ui.ac.id

ABSTRACT

The development of using nanoparticles has now greatly increased. Indonesia in 2014 has succeeded in developing electrospinning prototypes that produce nanofibers and nanoparticles. This increase in the utilization of nanoparticles also affects the increase in nanoparticle exposure to workers, which comes from production and incidental activities. Therefore, it is necessary to assess the risk of nanoparticle exposure in the workplace. One of them is the measurement of nanoparticles in the personal breathing zone (PBZ). Measurements can be made by direct-reading (sampler) and indirect-reading (monitor) methods. The selection of the method or instrument used in the measurement of nanoparticles can be influenced by the type of nanoparticles, the time of measurement, the method of measurement, to the availability of advanced analytical methods. In view of that, Indonesia as one of the countries that also participates in the use of nanotechnology requires a measurement method that is in accordance with the conditions of the country. The purpose of this study was to gather information about the most suitable direct-reading methods for use in Indonesia. This study uses a systematic literature review research design developed by Kitchenham, and combined with the method developed by Torres-Carion. After following the steps in the SLR, namely Planning, Conducting, and Reporting, 18 studies were found to be carried out for a systematic review. From this study, it was found that the methods that can be used as direct-reading methods in the Personal Breathing Zone (PBZ) are Condensation Particle Counter (CPC) and Optical Particle Counter (OPC). By conducting an assessment in accordance with the conditions of the Indonesian state, this study recommends Condensation particle counter (CPC) as an instrument that can be used.

Keywords : Measurement of nanoparticles, personal breathing zone (PBZ), direct reading

ABSTRAK

Perkembangan pemanfaatan nanopartikel saat ini sudah sangat meningkat. Indonesia pada tahun 2014 telah berhasil mengembangkan punarupa electrospinning yang menghasilkan nanofiber dan nanopartikel. Peningkatan pemanfaatan nanopartikel ini juga berpengaruh terhadap peningkatan pajanan nanopartikel terhadap pekerja, yang berasal dari aktivitas produksi serta insidental. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya penilaian risiko pajanan nanopartikel di tempat kerja. Salah satunya adalah pengukuran nanopartikel pada *personal breathing zone* (PBZ). Pengukuran dapat dilakukan dengan metode *direct-reading* (*sampler*) maupun *indirect-reading* (*monitor*). Pemilihan metode atau instrumen yang digunakan dalam pengukuran nanopartikel dapat dipengaruhi oleh jenis nanopartikel, waktu pengukuran, cara pengukuran, hingga ketersediaan metode analisis lanjutan. Mengingat hal tersebut, Indonesia sebagai salah satu negara yang juga turut serta dalam pemanfaatan nanoteknologi membutuhkan metode pengukuran yang sesuai dengan kondisi negaranya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengumpulkan informasi mengenai *direct-reading methods* yang paling sesuai untuk digunakan di Indonesia. Studi ini menggunakan desain penelitian *systematic literature review* yang dikembangkan oleh Kitchenham, dan dikombinasikan dengan metode yang dikembangkan oleh Torres-carion. Setelah mengikuti tahapan dalam SLR, yaitu *Planning*, *Conducting*, dan *Report*, maka ditemukan sebanyak 18 studi yang akan dilakukan tinjauan sistematis. Dari studi tersebut ditemukan metode yang dapat digunakan sebagai *direct-reading methods* pada *Personal Breathing Zone* (PBZ) adalah *Condensation Particle Counter* (CPC) dan *Optical Particle Counter* (OPC). Dengan melakukan pengkajian sesuai dengan kondisi negara Indonesia, maka penelitian ini merekomendasikan *Condensation particle counter* (CPC) sebagai instrumen yang dapat digunakan.

Kata Kunci : Pengukuran nanopartikel, *personal breathing zone* (PBZ), *direct-reading*

PENDAHULUAN

Nanoteknologi merupakan suatu aktivitas yang mencakup desain, karakterisasi, produksi dan penerapan struktur, perangkat, serta sistem dengan mengontrol bentuk dan ukuran pada skala nano (<100 nm) (Albanese et al., 2012). Diketahui bahwa pada tahun 2005 hanya terdapat sebanyak 50 produk konsumen berbasis nanoteknologi, dan pada tahun 2011 terdaftar sebanyak 1300 produk yang meliputi produk kesehatan dan kebugaran, otomotif, makanan, hingga elektronik (Azong-wara et al., 2013). Indonesia juga sedang mengupayakan pemanfaatan nanopartikel. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia telah berhasil mengembangkan punarupa *electrospinning* untuk menghasilkan nanofiber dan nanopartikel (LIPI, 2014). Keberagaman sumber daya alam Indonesia dapat digunakan menjadi modal utama dalam pengembangan nanoteknologi (Prasetiowati et al., 2018). Merujuk pada Haryanto et al. (2008), jenis industri yang telah mengembangkan teknologi nano dalam aktivitasnya adalah industri keramik dan gelas, pangan, bahan kimia, tekstil, polimer, cat dan pelapis, otomotif, dan elektrik.

Di lingkungan kerja, pajanan nanopartikel terhadap pekerja dapat berasal dari: nanopartikel yang dihasilkan pada proses produksi; dan nanopartikel insidental, misalnya partikel pembakaran, yang dihasilkan dari pengoperasian mesin proses (Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2017). Stebounova et al. (2018) mengatakan bahwa nanopartikel dapat dihasilkan dari berbagai proses industri, diantaranya adalah pengelasan hingga peleburan logam yang dapat memajani tenaga kerja dan mengendap di seluruh saluran pernapasan, yang dianggap sebagai jalur masuk pengambilan paling kritis (Wiesner et al., 2006), bertranslokasi ke sistem peredaran

darah dan menyebar ke berbagai organ tubuh (Stebounova et al., 2018).

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risk (SCENIHR) mengatakan bahwa penting untuk melakukan penilaian risiko potensial sepanjang siklus hidup produk berbasis nanoteknologi yang membutuhkan informasi mengenai jumlah nanopartikel, luas permukaannya, konsentrasi massa. Organisasi ini juga mengungkapkan bahwa peralatan untuk pengukuran rutin di berbagai media untuk pajanan personal belum adekuat, sehingga perlu dilakukan modifikasi metode penanganan bahaya terkait nanoteknologi (SCENIHR, 2006).

Merujuk pada Asbach et al. (2017), dikatakan bahwa pajanan agen udara termasuk nanopartikel paling baik dinilai dengan mengukur pajanan pada *personal breathing zone*, yaitu 30 cm di sekitar mulut dan hidung. Diperlukan instrumen yang kecil dan ringan. Dalam penelitian yang telah dilakukannya juga dikatakan bahwa pengukuran pajanan individu masih belum efektif, dikarenakan kurangnya *sampler* dan/atau monitor pribadi yang sesuai. *Personal exposure measurement* ini masih cenderung dilakukan dengan instrumen statis. Tidak banyak *sampler* dan monitor ini yang tersedia secara komersial dengan komparabilitas, akurasi, dan kegunaannya di lapangan.

Pengukuran pajanan pribadi harus memerhatikan beberapa hal penting, seperti: lokasi (SCENIHR, 2006); instrumen yang digunakan (*direct reading* atau *indirect reading*) misalnya yaitu jika pajanan berbasis tugas dengan lonjakan konsentrasi nanopartikel yang berumur pendek, maka dianjurkan untuk menggunakan *monitor/direct reading* pribadi dengan resolusi waktu tinggi. Namun, untuk penentuan konsentrasi rata-rata (misalnya berbasis pergeseran), dapat menggunakan *sampler/indirect reading*. Jika pajanan pribadi terhadap spesies kimia

tertentu harus dinilai, maka dapat melakukan pengambilan sampel partikel dan analisis kimia selanjutnya dari deposit. Perlu juga menempatkan instrumen untuk melakukan terhadap “background noise”, yaitu nanopartikel yang sudah secara alami di lingkungan kerja (Asbach et al. 2017); karakteristik partikel di lingkungan sekitar, termasuk identifikasi semua sumber nanoaerosol potensial di tempat kerja; sistem ventilasi di tempat kerja untuk menentukan potensi kontaminasi silang; penempatan instrumen, karena karakteristik aerosol dapat berubah dengan jarak dari sumber, menyebabkan variasi spasial dan temporal ukuran nanoaerosol, massa, dan konsentrasi jumlah; interpretasi sumber sampel sumber (Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2017).

Banyaknya hal-hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pengukuran pajanan pribadi memberikan kebingungan mengenai metode mana yang standar yang dapat dilakukan untuk melakukan *personal sampling* nanopartikel. Minimnya data dan informasi mengenai metode ini masih menjadi salah satu tantangan dalam mengetahui metode *personal sampling* nanopartikel. Mengingat situasi ini, maka perlu dilakukan pengkajian secara mendalam mengenai metode yang dapat digunakan sebagai metode standar dalam melakukan *personal sampling* nanopartikel.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* yang dikembangkan oleh Kitchenham (Kitchenham, 2004), dan dikombinasikan dengan metode yang dikembangkan oleh Torres-carrion (Torres-carrion, 2018). Terdapat dari tiga fase utama, yaitu: *Planning*, *Conducting*, dan *Report*.

Pada tahap *planning*, bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan *Systematic Literature Review* dan perumusan protokol penelitian. Pada sub-tahap identifikasi kebutuhan *Systematic Literature Review*, akan dirumuskan kebutuhan dilakukan

SLR. Pada penelitian ini, kebutuhan SLR adalah perlunya melakukan *pooling* data mengenai metode *direct-reading methods* nanopartikel, sehingga dapat dirumuskan *direct-reading methods* yang paling sesuai untuk digunakan di Indonesia.

Pada sub-tahap pengembangan protokol, bertujuan untuk mengidentifikasi protokol yang akan dilakukan pada tahapan *conducting*, meliputi: Identifikasi pertanyaan penelitian, diidentifikasi dari kebutuhan SLR, maka dirumuskan pertanyaan penelitian “Bagaimana metode *direct-reading* sampel nanopartikel pada *Personal Breathing Zone* Pekerja di Indonesia?”; Penentuan kriteria inklusi dan eksklusi, Tabel 1 menunjukkan kriteria inklusi dan eksklusi yang akan digunakan dalam pemilihan literatur; Identifikasi SLR terkait, pada sub-tahap ini, pencarian sistematis pertama akan diterapkan dengan merumuskan kata kunci yang akan digunakan terlebih dahulu. Perumusan kata kunci akan didasarkan pada penelusuran tesaurus pada setiap kata. Pada Tabel 2, ditentukan tesaurus dari setiap kata kunci yang akan digunakan dalam pencarian di database; Pemilihan studi, dilakukan dengan cara mengelompokkan studi yang telah terpilih atas pencarian dan filter abstrak sebelumnya. Hanya studi yang terindeks dalam JCR atau JSR saja yang akan dipilih; Uji kualitas studi, Sebagian besar penelitian ilmiah cenderung multi-disiplin. Oleh karena itu, uji kualitas studi akan dikaitkan dengan *Impact Factor* dari jurnal tersebut. Studi akan diranking atas hasil pengkalian antara *Impact Factor (IF)*, Kuartil, SJR dan indeks h5. Dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{“Rank} = (\#r \text{ studi} * 25\%) (IF) (SJR) (h5 \text{ indeks)”}$$

Setelah pengurutan, hanya dua belas jurnal pertama dalam daftar yang harus disimpan, disusun dalam urutan menurun berdasarkan rumus perankingan.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Tahun Publikasi	2000 – 2021	Pre 2000
Bahasa	Bahasa Inggris	Selain bahasa Inggris
Sumber Informasi	Google Scholar	Selain Google Scholar
Kriteria tambahan	Terindeks dalam JCR atau SJR	Tidak terindeks dalam JCR atau JSR

Tabel 2. Penelusuran Tesaurus terhadap Kata Kunci

<i>Personal Sampling Nanoparticle</i>		
<i>Nanoparticle</i>	<i>Personal</i>	<i>Sampling</i>
<i>Nanoparticle*</i>	<i>Personal</i>	<i>Sampling</i>
<i>Nanomaterial</i>	<i>Breathing Zone</i>	
<i>Ultrafine Particle</i>		

Tanda bintang (*) di akhir setiap kata digunakan untuk menggeneralisasi simbol apa pun (baik itu huruf, angka, atau karakter khusus) setelah huruf terakhir. Hal ini dapat membuat pencarian lebih efisien. Misalnya pada kata “*nanoparticle**”, dapat merujuk pada kata *nanoparticle* maupun *nanoparticles*. Maka, dalam pencarian pertama dapat menggunakan struktur:

“*Nanoparticle* OR Nanomaterial OR Ultrafine Particle AND Personal OR Breathing Zone AND Sampling*”

Penelitian dilakukan dalam rentang tahun 2000 – 2021. Pencarian artikel hanya akan menggunakan Google Scholar saja. Setelah hasil penelusuran awal muncul, maka akan dilakukan tinjauan kualitatif terhadap judul dan abstrak setiap artikel tentang metode *personal sampling* nanopartikel. Dengan mengikuti pola di atas, maka dalam pencarian *Systematic Literature review* terkait, dapat menggunakan sintaks seperti berikut ini:

Tabel 3 Sintaks Pencarian Awal untuk Systematic Literature Review pada Metode *Personal Sampling* Nanopartikel

Sumber Data	Sintaks
Google Scholar	<i>Filter Paralel: Tahun 2000 – 2021</i> <i>Anywhere in the article: review, nanoparticle*, OR</i>

nanomaterial, OR Ultrafine Particle, Personal, OR Breathing Zone, Sampling

Pada tahap *conducting*, akan dilakukan identifikasi studi, pemilihan studi, hingga uji kualitas studi dengan menggunakan protokol yang telah ditentukan pada tahapan *planning*.

Tabel 5 menunjukkan hasil pencarian studi dengan menggunakan sintak yang telah ditentukan sebelumnya pada *google scholar*. Dari pencari awal, ditemukan sebanyak 17.100 studi terkait. Dilanjutkan dengan analisis judul terhadap semua studi, maka ditemukan sebanyak 47 studi yang relevan. Setelah itu, dilakukan analisis abstrak secara mendalam, sehingga dirumuskan terdapat sebanyak 24 studi artikel yang akan masuk ke dalam tahapan selanjutnya.

Setelah dilakukan pemilihan studi, sebanyak 24 studi telah dipilih, lalu diidentifikasi berdasarkan jurnal terbitannya. Hanya jurnal yang telah terindeks dalam JCR atau SJR yang akan dipilih. Tabel 5 menunjukkan daftar studi pilihan. Dari studi yang lolos filter abstrak, jumlah yang telah terindeks dalam JCR atau SJR adalah sebanyak 18 studi. 18 studi ini akan dilakukan uji kualitas serta perankingan. Tabel 5 menunjukkan proses perankingan studi yang telah dipilih pada tahapan sebelumnya.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan *report* studi yang akan dilakukan kajian. Tabel 6 menunjukkan studi pilihan yang telah dilakukan uji kualitas. Terdapat sebanyak 18 studi yang akan dilakukan tinjauan sistematis.

HASIL

Berdasarkan tinjauan pustaka sistematis terhadap studi terpilih, ditemukan sebanyak 13 jenis instrumen atau metode yang dapat digunakan sebagai metode pengambilan sampel nanopartikel.

Metode atau instrumen yang telah diidentifikasi kemudian dikerucutkan menjadi metode atau instrumen pengukuran

sampel pada *personal breathing zone*. Pengidentifikasi ini dirumuskan berdasarkan mobilitas (stasioner atau

portabel) instrumen. Dalam Tabel 7. metode diidentifikasi berdasarkan ukuran sampel, *direct/indirect reading*, dan *metric*.

Tabel 4 Hasil Pencarian Melalui Google Scholar

Sintaks	Hasil		
	Penelusuran Awal	Analisis Judul	Analisis Abstrak
Filter Paralel: (Tahun 2000-2021) <i>Anywhere in the article: nanoparticle*, OR Nanomaterial, OR Ultrafine Particle, Personal, OR Breathing Zone, Sampling</i>	17,100	47	24

Tabel 5 Ranking Jurnal Berdasarkan Impact Factor (IF)

No.	Nama Jurnal	Jumlah Studi	JCR		SJR	h5	Ranking	
			IF	Q				
1	<i>Science of the Total Environment</i>		3	7.137	Q1	1,795	244	2,344,397.45
2	<i>TrAC - Trends in Analytical Chemistry</i>		1	10.564	Q1	2,283	167	1,006,910.30
3	<i>Journal of Environmental Management</i>		1	6.243	Q1	1,441	179	402,578.29
4	<i>Particle and Fiber Toxicology</i>		1	7.732	Q1	1,748	98	331,130.63
5	<i>Journal of Nanoparticle Research</i>		5	2.120	Q2	453	121	145,254.45
6	<i>Journal of Aerosol Science</i>		1	2.883	Q1	852	110	67,548.69
7	<i>Aerosol Science and Technology</i>		1	2.528	Q1	876	109	60,345.89
8	<i>Aerosol and Air Quality Research</i>		1	3.337	Q2	866	55	39,735.33
9	<i>Inhalation Toxicology</i>		1	1.912	Q2	660	87	27,446.76
10	<i>Journal of Occupational and Environmental Hygiene</i>		1	1.534	Q3	498	57	10,886.03
11	<i>International Journal of Occupational and Environmental Health</i>		1	1.167	Q3	346	52	5,249.17
12	<i>Journal of Physics: Conference Series</i>		1	0.550	Q4	210	85	2,454.38

Tabel 6. Daftar Studi Pilihan

No.	Judul	Nama Penulis	Metode Penelitian	Tahun
1	<i>A miniature disk electrostatic aerosol classifier (mini-disk EAC) for personal nanoparticle sizers</i>	Li, Lin; Chen, Da Ren; Qi, Chaolog; Kulkarni, Pramod S.	Eksperimen	2010
2	<i>A review of selected engineered nanoparticles in the atmosphere: Sources, transformations, and techniques for sampling and analysis</i>	Majestic, Brian J.; Erdakos, Garnet B.; Lewandowski, Michael; Oliver, Karen D.; Willis, Robert D.; Kleindienst, Tadeusz E.; Bhawe, Prakash V.	SLR	2010
3	<i>A strategy for assessing workplace exposures to nanomaterials</i>	Ramachandran, Gurumurthy; Ostraat, Michele; Evans, Douglas E.; Methner, Mark M.; O'Shaughnessy, Patrick; D'Arcy, James; Geraci, Charles L.; Stevenson, Edward; Maynard, Andrew; Rickabaugh, Keith	SLR	2011

4	<i>Design and experimental evaluation of a new nanoparticle thermophoretic personal sampler</i>	Azong-Wara, Nkwenti; Asbach, Christof; Stahlmecke, Burkhard; Fissan, Heinz; Kaminski, Heinz; Plitzko, Sabine; Bathen, Dieter; Kuhlbusch, Thomas A.J.	Eksperimen	2013
5	<i>Development of a personal sampler for evaluating exposure to ultrafine particles</i>	Furuuchi, Masami; Choosong, Thitiworn; Hata, Mitsuhiro; Otani, Yoshio; Tekasakul, Perapong; Takizawa, Masami; Nagura, Mizuki	Eksperimen	2009
6	<i>Development of a transfer function for a personal, thermophoretic nanoparticle sampler</i>	Leith, David; Miller-Lionberg, Dan Casuccio, Gary; Lersch, Traci; Lentz, Hank; Marchese, Anthony; Volckens, John	Eksperimen	2014
7	<i>Direct-reading methods for analysis of volatile organic compounds and nanoparticles in workplace air</i>	Duarte, Kátia; Justino, Celine I.L.; Freitas, Ana Cristina; Duarte, Armando C.; Rocha-Santos, Teresa A.P.	Eksperimen	2014
8	<i>Emission measurement and safety assessment for the production process of silicon nanoparticles in a pilot-scale facility</i>	Wang, Jing; Asbach, Christof; Fissan, Heinz; Hülser, Tim; Kaminski, Heinz; Kuhlbusch, Thomas A.J.; Pui, David Y.H.	Eksperimen	2012
9	<i>Exposure monitoring of graphene nanoplatelets manufacturing workplaces</i>	Lee, Ji Hyun; Han, Jong Hun; Kim, Jae Hyun; Kim, Boowook; Bello, Dhimiter; Kim, Jin Kwon; Lee, Gun Ho; Sohn, Eun Kyung; Lee, Kyungmin; Ahn, Kangho; Faustman, Elaine M.; Yu, Il Je	Eksperimen	2016
10	<i>From workplace air measurement results toward estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects</i>	Brouwer, Derk; Van Duuren-Stuurman, Birgit; Berges, Markus; Jankowska, Elzbieta; Bard, Delphine; Mark, Dave	SLR	2009
11	<i>Inter-comparison of personal monitors for nanoparticles exposure at workplaces and in the environment</i>	Todea, Ana Maria; Beckmann, Stefanie; Kaminski, Heinz; Bard, Delphine; Bau, Sébastien; Clavaguera, Simon; Dahmann, Dirk; Dozol, Héléne; Dziurawicz, Nico; Elihn, Karine; Fierz, Martin; Lidén, Göran; Meyer-Plath, Asmus; Monz, Christian; Neumann, Volker; Pelzer, Johannes; Simonow, Barbara Katrin; Thali, Patrick; Tuinman, Ilse; van der Vleuten, Arjan; Vroomen, Huub; Asbach, Christof	Eksperimen	2017
12	<i>Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review</i>	Kuhlbusch, Thomas A.J.; Asbach, Christof; Fissan, Heinz; Göhler, Daniel; Stintz, Michael	SLR	2011
13	<i>NanoScan SMPS-A novel, portable nanoparticle sizing and counting instrument</i>	Tritscher, Torsten; Beeston, Michael; Zerrath, Axel F.; Elzey, Sherrie; Krinke, Thomas J.; Filimundi, Eric; Bischof, Oliver F.	Eksperimen	2013
14	<i>Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns</i>	Buonanno, G.; Stabile, L.; Morawska, L.	Eksperimen	2014
15	<i>Review of measurement techniques and methods for assessing personal exposure to airborne nanomaterials in</i>	Asbach, Christof; Alexander, Carla; Clavaguera, Simon; Dahmann, Dirk; Dozol, Héléne; Faure, Bertrand; Fierz, Martin; Fontana, Luca; Iavicoli, Ivo;	SLR	2017

	<i>workplaces</i>	Kaminski, Heinz; MacCalman, Laura Meyer-Plath, Asmus; Simonow, Barbara; van Tongeren, Martie; Todea, Ana Maria		
16	<i>Sampling and single particle analysis for the chemical characterization of fine atmospheric particulates: A review</i>	Elmes, Michele; Gasparon, Massimo	SLR	2017
17	<i>Size distributions of aerosols in an indoor environment with engineered nanoparticle synthesis reactors operating under different scenarios</i>	Sahu, Manoranjan; Biswas, Pratim	Eksperimen	2010
18	<i>Workplace air measurements and likelihood of exposure to manufactured nano-objects, agglomerates, and aggregates</i>	Brouwer, Derk H.; Van Duuren-Stuurman, Birgit; Berges, Markus; Bard, Delphine; Jankowska, Elzbieta; Moehlmann, Carsten; Pelzer, Johannes; Mark, Dave	Eksperimen	2013

Tabel 7. Metode Pengukuran Nanopartikel di Tempat Kerja

<i>Sampling Method</i>	<i>Sample Size</i>	<i>DR / IR*</i>	<i>Metric</i>	<i>Mobility**</i>
Condensation particle counter (CPC)	10 – 1000 nm	DR	Number	<i>P</i>
Electrical low-pressure impactor (ELPI)	28 – 10 ⁴ nm	DR	Surface, number	<i>S</i>
Fast Mobility Particle Sizer Spectrometers (FMPS) / Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS)	20 – 500 nm	DR	Number	<i>S</i>
Mini-DiSC	10 – 50 nm	IR	Number	<i>P</i>
MOUDI	10, 18, 32, 56, 100 nm	IR	Mass, number, surface area, volume	<i>P</i>
Nanobadge	10 – 4000 nm	IR	Mass	<i>P</i>
Nanoparticle Respiratory Deposition (NRD)	<300 nm	IR	Mass	<i>P</i>
Nanoparticle surface area monitor (NSAM)	<1 µm	DR	Surface	<i>S</i>
NanoTracer	20 – 120 nm	IR	Number	<i>P</i>
Optical Particle Counter (OPC)	2 nm – 1 µm	DR	Surface, number	<i>P</i>
Partector	10 – 10000 nm	IR	Number	<i>S</i>
Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)	2 – 100 nm	DR	Mass, number	<i>S</i>
Thermal precipitator sampler (TPS)	Up to 300 nm	IR	Size, chemical analysis	<i>P</i>

*DR = *Direct Reading*; IR = *Indirect Reading*

**P = *Portable*; S = *Stationary*

Pada Tabel 7, DR diidentifikasi sebagai metode *direct-reading*, sedangkan IR merupakan metode *indirect-reading*. Daya mobilitas (*mobility*) suatu metode atau instrumen diidentifikasi menjadi *portable* (dapat menempel pada pekerja) dan *stationary* (hanya dapat mengukur di satu tempat dalam satu waktu).

Dari Tabel 7 dapat diidentifikasi bahwa metode personal sampling masih didominasi metode *indirect reading*. Terdapat sebanyak 6 jenis *direct reading methods*, sedangkan untuk *indirect reading methods* terdapat sebanyak 7 metode. Dari semua instrumen pengukuran *direct-reading*, dipilih instrumen yang bersifat portabel sebagai personal sampling

methods, dengan rincian pada Tabel 8. Dari Tabel 7 diketahui bahwa CPC dapat mengukur nanopartikel jenis *Silica nanoparticles; iron nanoparticles; silver nanoparticles; Single-walled carbon nanotubes* (SWCNTs). Sedangkan untuk OPC, dapat mengukur *silver nanoparticles; Single-walled carbon nanotubes* (SWCNTs). Sama halnya dengan *direct-reading methods*, untuk *indirect-reading* juga mempertimbangkan sifat portabel suatu instrumen. Instrumen yang memenuhi persyaratan tersebut adalah: mini-DiSC, MOUDI, nanobadge, *Nanoparticle Respiratory Deposition* (NRD), nanotracer, partector, dan *Thermal Precipitator Sampler* (TPS).

Tabel 8. Direct Reading Personal Sampling Methods

No	Metode	Jenis Nanopartikel
1	<i>Condensation particle counter</i> (CPC)	<i>Silica NPs; iron NPs; silver NPs; Single-walled carbon nanotubes</i> (SWCNTs)
2	<i>Optical Particle Counter</i> (OPC)	<i>Silver NPs; Single-walled carbon nanotubes</i> (SWCNTs)

PEMBAHASAN

Kriteria pemilihan instrumen

Merujuk pada European Agency for Safety and Health at Work. (2009), berikut ini adalah beberapa acuan dalam pemilihan metode atau instrumen dalam pengambilan sampel nanopartikel pada *breathing zone* pekerja:

Waktu / Durasi

Penentuan metode pengambilan sampel berbasis waktu disini bertujuan untuk menyesuaikan dengan lama kerja individu. Jika waktu kerja singkat, maka diharapkan metode atau instrumen yang digunakan adalah metode dengan estimasi waktu pengoperasian sesingkat mungkin.

Kemudahan Penggunaan dan Ketersediaan

Diupayakan agar metode atau instrumen dapat digunakan oleh semua kalangan tanpa memerlukan keahlian atau pelatihan khusus. Hal ini dapat memengaruhi efektivitas pemakaian. Diharapkan juga kemudahan pemakaian ini diperhatikan hingga proses analisis (HSE report 2004).

Ukuran nanopartikel yang dikehendaki

Sering kali bahwa ukuran nanopartikel yang ada di tempat kerja masih belum diketahui, oleh karena itu dibutuhkan instrumen yang dapat digunakan untuk menjangkau nanopartikel yang lebih variatif (Methner, 2009). Sifat fisik atau kimia yang terkait dengan nanopartikel yang menjadi dasar pendeteksian nanopartikel pada media tersebut. Kisaran sifat nanopartikel relevansi potensial untuk penilaian risiko menyoroti kebutuhan utama untuk metode yang sangat sensitif. Dimensi khas nanopartikel berada di bawah batas difraksi cahaya tampak, sehingga berada di luar jangkauan untuk mikroskop optik.

Metode Analisis Lanjutan

Hal ini terkait penentuan kemampuan *direct reading* atau *indirect reading* suatu metode. Seperti yang telah dijelaskan, bahwa metode *direct reading sampling* tidak perlu melakukan manipulasi sampel terlebih dahulu. Metode ini dapat menggambarkan karakteristik sampel dalam satu waktu. Namun, informasi yang diberikan hanya sebatas *number concentration, mass concentration, surface area, dan composition*. Berbeda apabila melakukan analisis dengan menggunakan alat karakterisasi khusus yang dapat menggambarkan Sifat organoleptis, persen transmitan, porositas, dan karakteristik lainnya. Number concentration, size distribution and surface area concentration pada perhitungan menggunakan metode *direct reading* cenderung bersifat lebih umum dan tidak membedakan antara nanopartikel dan partikel lain yang berdiameter <100 nm (Kuhlbusch, 2010).

Analisis tambahan penting untuk dipertimbangkan, namun teknik ini memakan waktu dan mahal. Namun, pengukuran seperti yang dijelaskan di atas akan diperlukan jika nanopartikel tunggal dalam matriks kompleks ingin dideteksi dan dijelaskan dapat dilacak ke produk atau memiliki toksisitas tinggi sehingga bahkan partikel tunggal dapat menyebabkan efek kesehatan (misalnya asbestos).

Jenis Nanopartikel yang akan diuji

Nanopartikel dapat dikelompokkan menjadi *silica nanoparticles*, *iron nanoparticles*, *silver nanoparticle*, dan *Single-walled carbon nanotubes* (SWCNTs). Tidak semua metode atau instrumen memiliki kemampuan dalam mengukur setiap jenis nanopartikel.

Eliminasi “background noise”

Salah satu tantangan dalam pengukuran nanopartikel di tempat kerja adalah adanya “background noise”, yaitu partikel-partikel yang secara alami sudah ada di lingkungan kerja (EU-OSHA, 2009) ataupun nanopartikel yang ada atas aktivitas di luar lingkungan kerja. *Background noise* ini dapat berupa: nanopartikel atas aktivitas kendaraan di sekitar lingkungan kerja; aktivitas pembakaran; hingga nanopartikel yang berasal dari asap rokok.

Salah satu upaya dalam mengakali hal ini adalah dengan melakukan pemantauan atau pengukuran tersendiri di luar proses pengukuran nanopartikel pada *breathing zone* pekerja. Ditulis untuk membahas hasil penelitian, kesamaan dan perbedaan dengan penelitian lain yang telah dilakukan serta kemungkinan pengembangan dari penelitian yang dilakukan. Diskusi harus mengeksplorasi pentingnya hasil pekerjaan, bukan mengulanginya. Hindari kutipan dan diskusi literatur yang diterbitkan secara luas. Buat diskusi sesuai dengan hasil, tetapi jangan ulangi hasilnya. Seringkali harus dimulai dengan ringkasan singkat

dari temuan ilmiah utama (bukan hasil eksperimen).

Gambaran Perkembangan Nanoteknologi di Indonesia

Haryono (2009), menyebutkan bahwa *trend* pemanfaatan nanopartikel berdasarkan jenis industrinya di Asia Pasifik masih seputar industri kimia, kesehatan dan ilmu hayati, barang kebutuhan sehari-hari, serta otomotif dan transportasi. Sedangkan di Indonesia, konsentrasi pemanfaatannya terdapat pada industri nano-farmasi dan kesehatan, energi, nanobioteknologi, nanomaterial, dan nanoelektronik dan *device*. Seiring dengan berjalannya waktu, *trend* ini sedikit berbeda. Perkembangan industri cenderung terletak pada industri logam, mesin, dan elektronik; industri makanan; industri kimia dan farmasi; Industri Kendaraan Bermotor & Alat Transportasi Lain; dan Industri Mineral Nonlogam (Kementerian Perindustrian, 2020). Beranjak dari hal ini, dapat dilakukan pemetaan risiko paparan nanopartikel (Tabel 9).

Dari Tabel 9. Dapat dirumuskan bahwa instrumen direct-reading methods nanopartikel pada Personal Breathing Zone di tempat kerja adalah *Condensation Particle Counter (CPC)*.

Condensation Particle Counter (CPC)

Instrumen ini dapat mengukur *number concentration* partikel dengan ukuran 10 – 1000 nm dengan rentang konsentrasi 0 – 100000 particles/cm³, dioperasikan dengan menggunakan baterai. Sistem kerja dari instrumen ini adalah dengan menarik udara ke dalam tabung saturator, dicampur dengan uap alkohol isopropil hingga menjadi jenuh. Butanol adalah cairan yang paling umum digunakan, karena dapat dengan mudah diuapkan dan mengembun ke permukaan partikel (hampir tidak tergantung pada komposisi partikel) (Asbach et al., 2017). Kemudian aerosol dilewatkan ke dalam tabung kondensor di mana partikel tumbuh sedemikian rupa sehingga terdeteksi oleh fotodetektor saat

melewati sinar laser (Ramachandran et al., 2011).



Gambar 1. Condensation particle counter (CPC)

CPC cukup fleksibel dan cocok digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pengukuran aerosol, pengujian filter dan udara, studi dampak kesehatan partikulat udara terhadap kesehatan, studi yang berkaitan dengan inhalasi dan paparan,

studi atmosfer dan iklim (Wardoyo, 2016). Gambar 1 merupakan contoh salah satu tipe *Condensation particle counter* (CPC). Dimana cara kerjanya meliputi: sampel aerosol ditarik terus menerus melalui saturator dipanaskan di mana butanol diuapkan dan berdifusi ke dalam aliran sampel. Sampel aerosol dan uap butanol masuk ke kondensator yang didinginkan di mana uap butanol menjadi jenuh dan siap untuk mengembun. Proses kondensasi akan terjadi, sehingga ukuran partikel akan membesar. Pompa vakum eksternal diperlukan untuk menarik sampel aerosol ke dalam CPC (TSI, 2015).

Tabel 9. Gambaran Industri dan Risiko Paparan Nanopartikel di Indonesia

Jenis Industri	Risiko Paparan Nanopartikel	Metode atau Instrumen Pengukuran
Industri logam, mesin, dan elektronik	TiO ₂ , CuO, ZnO, Al ₂ O ₃ , CNT	<i>Condensation particle counter</i> (CPC); <i>Optical Particle Counter</i> (OPC); Nanobadge; NanoTracer; Partector; <i>Thermal precipitator sampler</i> (TPS)
Industri makanan	<i>Silver nanoparticles</i> , ZnO, TiO ₂	<i>Condensation particle counter</i> (CPC); <i>Optical Particle Counter</i> (OPC); Nanobadge; NanoTracer; Partector
Industri kimia dan farmasi	TiO ₂ , Zn, ZnO, Mg	<i>Condensation particle counter</i> (CPC); <i>Optical Particle Counter</i> (OPC); Nanobadge; NanoTracer; Partector
Industri Kendaraan Bermotor & Alat Transportasi Lain	Fe, TiO ₂	<i>Condensation particle counter</i> (CPC); <i>Optical Particle Counter</i> (OPC); Nanobadge; <i>Nanoparticle Respiratory Deposition</i> (NRD); NanoTracer; Partector
Industri Mineral Nonlogam	<i>Silica nanoparticles</i>	<i>Condensation particle counter</i> (CPC); Mini-DiSC; MOUDI (nano); Nanobadge; NanoTracer; Partector

Instrumen ini cukup *userfriendly*, dengan ukuran yang minimalis

memudahkan penggunaannya, namun pengukuran dengan menggunakan metode

ini harus hati-hati dikarenakan pengoperasiannya menggunakan cairan, berupa alkohol, oleh karena itu pada saat pengukuran nanopartikel diharapkan untuk tidak memiringkan alat (Duarte, K., et al, 2014). Kelemahan dari instrumen ini adalah mampu menghitung semua partikel dalam aerosol tetapi tidak spesifik ukuran, dan efisiensi penghitungan menurun dengan ukuran partikel, diperlukan juga perawatan cukup intens (diperlukan pengisian ulang cairan kondensasi secara berkala) (Chiu, 2012).

KESIMPULAN

Dalam pemilihan metode atau instrumen dalam pengukuran nanopartikel pada *Personal Breathing Zone* (PBZ) membutuhkan beberapa pertimbangan, yaitu: spesifikasi pengukuran; tingkat sensitivitas instrumen; *userfriendly*, berat instrumen, dan tujuan dari pengukuran. *Condensation Particle Counter* (CPC) merupakan instrumen *direct-reading methods* untuk pengukuran nanopartikel pada tingkat *Personal Breathing Zone* (PBZ) di tempat kerja yang sesuai dengan perkembangan industri di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tinjauan sistematis ini dilakukan sebagai upaya untuk mengembangkan upaya perlindungan pekerja atas pajanan nanopartikel di tempat kerja, khususnya bagi pekerja di Indonesia. Penulis berterima kasih kepada Bapak Doni Hikmat Ramdhan, SKM., M.KKK, PhD, Ibu Laksita Ri Hastiti, SKM, M.KKK, Bapak Hanafi Basumi, CIH, CRSO, Ibu Elsy As Safira, SKM., M.KKK, CIH yang sangat berperan penting dalam memberikan pandangan dan masukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Albanese, A., Tang, P.S., & Chan, W. C.W. (2012). The effect of

nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 14, 1-16.

Asbach, C. et al. (2017). Intercomparison of a Personal CPC and Different Conventional CPCs. *Aerosol and Air Quality Research*, 17, 1132–1141.

_____. (2017). Review of measurement techniques and methods for assessing personal exposure to airborne nanomaterials in workplaces. *Science of the Total Environment*, 603-034, 793-806.

Azong-Wara, N. et al. (2013). Design and experimental evaluation of a new nanoparticle thermophoretic personal sampler. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(4).

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17 (4), 133–149.

Bakshi, S., He, Z.L., & Harris, W.G. (2014). Natural nanoparticles: implication for environment and human health. *Environmental Science and Technology*: 10.1080/10643389.2014.921975.

Bau, S. et al. (2015). A laboratory study of the performance of the handheld diffusion size classifier (DiSCmini) for various aerosols in the 15–400 nm range. *Environmental Science Processes & Impacts*.

Brouwer, D. et al. (2009). From workplace air measurement results toward estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(8), 1867-1881.

- _____. (2013). Workplace air measurements and likelihood of exposure to manufactured nano-objects, agglomerates, and aggregates. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(11).
- Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. (2014). Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns. *Science of the Total Environment*, 468-469, 903-907.
- Cena, L.G., Anthony, R.T., & Peters, T.M. (2011). A personal nanoparticle respiratory deposition (NRD) sampler. *Environmental Science & Technology*, 45, 6483-6490.
- Chiu, Y., Leong, K., & Chang, L. (2012). CPC and SMPS Systems of Monitoring Airborne Nanoparticles-Theory and Experiment. *Applied Mechanics and Materials*, 101-102, 60-66.
- Duarte, K. et al. (2014). Direct-reading methods for analysis of volatile organic compounds and nanoparticles in workplace air. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 53, 21-32.
- Elmes, M & Gasparon, M. 2017. Sampling and single particle analysis for the chemical characterization of fine atmospheric particulates: A review. *Journal of Environmental Management*, 202, 137-150.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2009). Literature Review: workplace exposure to nanoparticles.
- Faure, B. et al. (2017). Assessment of personal exposure to airborne nanomaterials: Evaluation of a novel sampler. *Journal of Physics: Conference Series*, 838.
- Fierro, M. (2000). Particulate matter. Diakses dari file:///L:/Air_updates/particulate_mattersingspace.htm.
- Fierz, M. et al. (2011). Design, Calibration, and Field Performance of a Miniature Diffusion Size Classifier. *Aerosol Science and Technology*, 45(1), 1-10.
- Furuuchi, M. et al. (2010). Development of a personal sampler for evaluating exposure to ultrafine particles. *Aerosol and Air Quality Research*, 10(1), 30-37.
- Haryanto, A. et al. (2008). Kondisi terkini penerapan nanoteknologi pada industri di Indonesia. Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2008.
- Hernández, R., Fernández, F., & Baptista, P. (2014). Metodologia de la investigacion, 6th Editio. Mexico: MacGraw-Hill/Interamericana.
- Hubbs, A.F. et al. (2013). Nanotechnology: toxicologic pathology, toxicol. *Forest Pathology*, 41 (2), 395-409.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). Rencana strategis kementerian perindustrian tahun 2020-2024.
- Kitchenham, B. (2006). Procedure for performing systematic review. Australia: NICTA Technical Report.
- Kuhlbusch, T.A.J. et al. (2011). Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 8, 1-18.
- Lee, J.H. et al. (2016). Exposure monitoring of graphene nanoplatelets manufacturing workplaces. *Inhalation Toxicology*, 28(6), 281-291.
- Leith, D. et al. Development of a transfer function for a personal, thermophoretic nanoparticle sampler. *Aerosol Science and Technology*, 48(1), 81-89.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (2014). Peneliti LIPI Kembangkan Alat Penghasil Nanopartikel. Diakses dari

- <http://lipi.go.id/berita/single/Peneliti-LIPI-Kembangkan-Alat-Penghasil-Nanopartikel/9497>.
- Lespes, G., Faucher, S., & Slaveykova, V. (2020). Natural nanoparticles, anthropogenic nanoparticles, where is the frontier? *Frontier in Environmental Science*, 8(71), 1-5.
- Li, L. et al. (2009). A miniature disk electrostatic aerosol classifier (mini-disk EAC) for personal nanoparticle sizers. *Journal of Aerosol Science*, 40(11), 982-992.
- Majestic, B.J. et al. (2010). A review of selected engineered nanoparticles in the atmosphere: Sources, transformations, and techniques for sampling and analysis. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 16(4), 488-507.
- Modena, M. et al. (2019). Nanoparticles characterization: what to measure? *Advanced Materials*, 1901556, 1-26. DOI: 10.1002/adma.201901556.
- MSP Corporation. (2017). Models 100 and 110—MOUDI™ Impactors. MSP Corporation.
- _____. (2017). Models 100, 110, 115 and 116—MOUDI™ Impactors. MSP Corporation.
- Nanoindex. (2016). Assessment of personal exposure to airborne nanomaterials a guidance document. Diakses dari: <https://nanopartikel.info/wpcontent/uploads/2020/10/NanoIndEx-GuidanceDocument-2016.pdf>.
- NIOSH. (2021). Health effect of occupational exposure to silver nanomaterials. <https://doi.org/10.26616/NIOSHUB2021112>.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). (2017). Strategies, techniques and sampling protocols for determining the concentrations of manufactured nanomaterials in air at the workplace. *Series on the safety of manufactured nanomaterials*, 82.
- Peters, T.M. et al. (2016). Assessing and managing exposures to nanomaterials in the workplace. *Assessing Nanoparticle Risks to Human Health*, 21-44. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-35323-6.00002-5>.
- Prasetiowati, A.L., Prasetya, A.T., & Wardani, S. (2018). Sintesis nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (averrhoa bilimbi l.) Sebagai antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7, 2.
- Ramachandran, G. et al. (2011). A strategy for assessing workplace exposures to nanomaterials. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8(11), 673-685.
- Sahu, M. & Biswas, P. (2010). Size distributions of aerosols in an indoor environment with engineered nanoparticle synthesis reactors operating under different scenarios. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(3), 1055-1064.
- Schulte, P. A. et al. (2009). Issues in the development of epidemiologic studies of workers exposed to engineered nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 15, 3.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risk (SCENIHR). (2006). The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies.
- Stebounova, L. et al. (2018). Particle concentration in occupational settings measured with a

- nanoparticle respiratory deposition (NRD) sampler. *Annals of Work Exposure and Health*, 10, 1-12.
- Todea, A.M. et al. (2017). Inter-comparison of personal monitors for nanoparticles exposure at workplaces and in the environment. *Science of the Total Environment*, 605-606, 929-945.
- Torres-Carrion, P.V., Rodriguez, G.R., & González, C.S.G. (2018). Metodology for systematic literature review applied to engineering and education. Diakses dari <https://www.researchgate.net/publication/323277902>.
- Tritscher, T. et al. (2013). NanoScan SMPS-A novel, portable nanoparticle sizing and counting instrument. *Journal of Physics: Conference Series*, 429(1).
- TSI. (2013). Optical particle sizer spectrometer (OPC) model 3330. TSI Incorporated.
- _____. (2015). Condensation Particle Counter (CPC) model 3772/3771. TSI Incorporated.
- Vance, M.E. et al. (2015). Nanotechnology in the real world: redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6, 1769-1780.
- Viitanen, A.K. et al. (2017). Workplace Measurements of Ultrafine Particles—A Literature Review. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(7), 749–758.
- Wang, J. et al. (2012). Emission measurement and safety assessment for the production process of silicon nanoparticles in a pilot-scale facility. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(4).
- Wardoyo, A.Y.P. (2016). Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampak kesehatan. Malang: UB Press.
- Wiesner, M. R. et al. (2006). Assessing the Risks of Manufactured Nanomaterials. *Environmental Science & Technology*, 40(14), 4336–4345.
- Yu, I.J., Ichihara, G., & Ahn, K. (2014). Nanoparticle exposure assessment: methods, sampling techniques, and data analysis. Woodhead Publishing Limited.