

PENGUKURAN PARTIKEL UDARA AMBIEN (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) DI SEKITAR CALON LOKASI PLTN SEMENANJUNG LEMAHABANG

AgusGindo S., Budi Hari H.
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

ABSTRAK

PENGUKURAN PARTIKEL UDARA AMBIEN (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) DI SEKITAR CALON LOKASI PLTN SEMENANJUNG LEMAHABANG. Telah dilakukan analisis partikel udara ambien (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) di sekitar lokasi calon PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) Semenanjung Lemahabang. Pengukuran dilakukan pada bulan Mei 2007 dengan tujuan menyediakan informasi tentang konsentrasi partikel udara ambien (TSP, PM₁₀ dan PM_{2,5}) dan distribusi diameter partikelnya. Lokasi pengukuran di tiga daerah yaitu : 1) Desa Balong, 2) Bayuran dan 3) Bondo. Konsentrasi TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5} dengan lama sampling 24 jam, di semua lokasi yang diukur di daerah calon PLTN melebihi baku mutu udara ambien nasional yang ditetapkan pemerintah. Seluruh lokasi pengukuran untuk TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5} termasuk kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) sedang.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF AMBIENT AIR PARTICLE (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) AROUND CANDIDATE LOCATION OF PLTN SEMENANJUNG LEMAHABANG. Measurement analysis of ambient air particle (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) around location candidate of PLTN (Power Station of Nuclear Energy) Semenanjung Lemahabang has been carried out. The measurement was conducted in May 2007 with a purpose to providing information about concentration of ambient air particle (TSP, PM₁₀ and PM_{2,5}) and diameter distribution of its air particle. The measurement was conducted in three locations i.e. 1). Balong vilage 2). Bayuran 3). Bondo. Concentration of TSP, PM₁₀, and PM_{2,5} per 24 hours in all measured locations in area candidate of PLTN exceed quality standard of national ambient air is specified by government. All measurement locations for the TSP, PM₁₀, and PM_{2,5} was include category of ISPU (Standard Index of Air Pollution) moderat.

PENDAHULUAN

Republik Indonesia berencana akan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan diharapkan akan beroperasi pada tahun 2016. Calon lokasi PLTN kemungkinan berada di Kabupaten Jepara, pantai utara Semarang, tepatnya di semenanjung Lemahabang, kecamatan Bangsri. Lokasi tersebut sebagian besar masih berupa kebun kelapa yang terletak di tepi pantai, kebun karet, coklat dan tumbuhan liar. Guna mendukung rencana pembangunan PLTN dalam memenuhi kebutuhan listrik yang cukup tinggi, diperlukan kajian yang komprehensif terhadap lingkungan di sekitar lokasi. Hal ini sesuai dengan Undang-Undang RI No. 23 tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup dan program yang dicanangkan oleh Menteri Lingkungan Hidup, agar setiap pembangunan selalu memperhatikan kelestarian lingkungan di sekitar proyek, baik sebelum, pada saat, maupun sesudah adanya proyek [1].

Salah satu bahan pencemar udara adalah debu yang mempunyai diameter 0,1 sampai 100 μm dan menjadi perhatian bersama khususnya debu yang dihasilkan

oleh pengolahan bahan padat dari industri. Partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10 μm yang biasanya disebut dengan PM₁₀ (*particulate matter*) dan kurang dari 2,5 μm di dalam rumah (PM_{2,5}) diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernafasan, karena partikel padat PM₁₀ dan PM_{2,5} dapat mengendap pada saluran pernafasan daerah bronki dan alveoli [2]. Partikel debu yang berdiameter kurang dari 10 μm (PM₁₀) sangat memprihatinkan, karena memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menembus ke dalam paru. Rambut di dalam hidung dapat menyaring debu yang berukuran lebih besar dari 10 μm . PM₁₀ diperkirakan berada antara 50 dan 60 % dari partikel melayang yang mempunyai diameter hingga 45 μm (*total suspended particulate*, [3]. Partikel yang lebih besar dari 10 μm , seperti TSP, tidak terhirup ke dalam paru. Partikel dibawah 2,5 μm (PM_{2,5}) tidak disaring dalam sistem pernafasan bagian atas dan menempel pada gelembung paru, sehingga dapat menurunkan pertukaran gas. Berdasarkan

Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional untuk PM_{10} adalah sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam), untuk $PM_{2,5}$ adalah sebesar $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam), sedang untuk TSP adalah $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam) [4].

Calon lokasi PLTN keberadaannya berdekatan dengan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) di Tanjung Jati B yang berjarak ± 5 km di sebelah barat daya Semenanjung Lemahabang. Berdasarkan data arah angin dominan di Semenanjung Lemahabang angin bertiup dari arah Utara ke Selatan atau Timur Laut ke arah Barat Daya sedangkan letak PLTU diantara arah Selatan dan Barat Daya, dengan demikian dalam jangka waktu tidak terlalu lama akan terjadi pertukaran partikel udara dari kedua pembangkit tersebut [5]. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis karakteristik partikel udara ambien, khususnya konsentrasi TSP, PM_{10} , $PM_{2,5}$ dan distribusi diameter partikel di daerah sekitar calon lokasi PLTN sebelum dibangun, sekaligus mengetahui perbedaan dengan partikel udara yang ada di daerah sekitar PLTU Tanjung Jati B.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menyediakan data dan informasi tentang keberadaan partikel udara ambien (TSP, PM_{10} dan $PM_{2,5}$) dan distribusi diameter partikelnya. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2003 di tiga lokasi yaitu : 1) Balong, 2) Bayuran, 3) Bondo. (Gambar 1).

Partikel udara

Perubahan lingkungan hidup pada umumnya disebabkan oleh pencemaran udara dimana masuknya zat pencemar (berbentuk gas dan partikel kecil yang dinamakan aerosol) ke dalam udara [6]. Aerosol didefinisikan sebagai partikel cair maupun padat yang tersuspensi di dalam gas [7]. Ukuran partikel aerosol antara $0,001$ dan $100 \mu\text{m}$.

Karakteristik partikulat debu termasuk diantaranya ukuran, distribusi ukuran, bentuk kepadatan, kelengketan, sifat korosif, reaktivitas dan toksisitas. Salah satu karakteristik yang paling penting dari suspensi partikel debu adalah distribusi ukuran partikel aerosol. Ukuran partikel merupakan parameter terpenting untuk memberi ciri perilaku aerosol.

Semua sifat aerosol sangat bergantung pada ukuran partikel. Partikel yang berdiameter kurang dari $2,5 \mu\text{m}$ umumnya dianggap halus dan yang lebih besar dari $2,5 \mu\text{m}$ dianggap kasar.

Aerosol dapat digolongkan menjadi aerosol primer dan sekunder. Aerosol primer adalah aerosol yang dipancarkan langsung dari berbagai sumber, seperti debu yang terbawa oleh udara sebagai akibat adanya angin atau partikel asap yang dipancarkan dari cerobong. Aerosol sekunder merujuk pada partikel yang dihasilkan di dalam atmosfer yang mengalami reaksi kimia dari komponen gas. Beberapa bahan partikulat udara dan ukuran jenis partikel dirinci pada Gambar 2. [8]

Impaktor Bertingkat (Cascade Impactor)

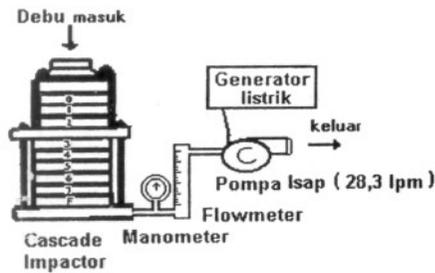
Impaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah impaktor bertingkat buatan Andersen, USA yang terdiri dari 9 tingkat dan mampu menentukan diameter partikel aerosol lebih kecil dari $0,43$ sampai $10 \mu\text{m}$. Impaktor bertingkat Andersen yang terdiri dari 8 tingkat (tingkat 0 hingga 7) masing-masing dipasang foil milar dan satu tingkat paling bawah dipasang filter. Koleksi karakteristik impaktor adalah koleksi dengan efisiensi 50 % yang artinya 50 % partikel dengan diameter tertentu mengendap pada pelat impaksi dan selebihnya lolos. Diameter tersebut dinamakan diameter pangkas pada efisiensi 50% . Pada impaktor bertingkat, partikel yang lolos dari tingkat pertama akan masuk ke impaktor tingkat berikutnya. Tiap tingkat impaktor mempunyai ukuran diameter pangkas yang berbeda. Diameter pangkas pada suatu tingkat lebih besar dibandingkan diameter pangkas pada tingkat berikutnya. Pada tiap tingkat dipasang foil milar yang berfungsi untuk mengendapkan partikel aerosol dan pada tingkat terakhir dipasang filter (Gambar 3). [9]

METODE

Pengukuran Konsentrasi Partikel Udara

Metode baku pengukuran konsentrasi partikel udara $PM_{10}/PM_{2,5}$ menggunakan pencuplik udara yang

dilengkapi impaktor bertingkat Andersen untuk memisahkan udara berdiameter lebih kecil dari 10 μ m dan 2,5 μ m [9]. Partikel yang lolos dari impaktor akan mengendap pada filter selulosa berdiameter 8,1 cm, beratnya ditimbang menggunakan timbangan elektronik orde μ g. Impaktor dihubungkan dengan *flowmeter*, manometer dan pompa isap. Pengukuran TSP sama dengan PM₁₀/PM_{2,5} perbedaannya hanya pada pompa dan jenis filternya. TSP menggunakan pompa *air sampler* dengan laju alir 35 liter permenit, filter menggunakan *fibre glass* diameter 47mm dan waktu sampling 60 menit sedangkan waktu sampling PM₁₀/PM_{2,5} 180 menit. Bagan alir impaktor bertingkat seperti Gambar 4.



Gambar 4. Sampling udara PM₁₀/PM_{2,5} dengan impaktor bertingkat

Konsentrasi partikel udara (C) dihitung menggunakan persamaan :

$$[C] = \frac{M_t - M_0}{T \cdot V} \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- M_t = berat filter ditambah udara (μ g)
- M₀ = berat filter bersih (μ g)
- T = lama pencuplikan (jam)
- V = laju pencuplikan udara (m³/jam)

Konsentrasi yang diperoleh dari persamaan (1) dikonversikan ke persamaan model konversi *Canter* untuk mendapatkan konsentrasi udara dengan waktu pencuplikan 24 jam [4]. Persamaan konversi *Canter* sebagai berikut :

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- C₁ = Konsentrasi udara rata-rata dengan lama pencuplikan contoh t₁ (μ g/m³)

C₂ = konsentrasi udara rata-rata hasil pengukuran dengan lama pencuplikan contoh t₂ (dalam hal ini

$$C_2 = [C] \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

t₁ = lama pencuplikan contoh 1 (24 jam)

t₂ = lama pencuplikan contoh 2 dari hasil pengukuran contoh udara (jam)

p = faktor konversi dengan nilai antara 0,17 dan 0,2

Tingkat bahaya partikel udara di suatu tempat dapat diketahui dengan cara membandingkan besarnya nilai konsentrasi partikel dengan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Kategori ISPU untuk parameter partikulat udara serta efeknya terhadap kesehatan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Analisis Distribusi Diameter Partikel Udara.

Analisis distribusi diameter partikel udara ditentukan dengan jalan menghitung selisih penimbangan berat filter setelah dan sebelum pengukuran pada setiap tingkat dari 9 tingkat *cascade impactor*, kemudian dibuat persentase berat setiap tingkat terhadap berat total seluruh tingkat. Persentase berat tersebut digunakan untuk menentukan persentase kumulatif. Data persentase kumulatif dari penentuan distribusi diameter partikel udara didistribusikan dengan kertas grafik *log-probability* dan diplot regresi linier terhadap diameter partikel sebagai fungsi dari persentase kumulatif. Grafik *log-probability* dibuat dengan program Sigma Plot 5.0.

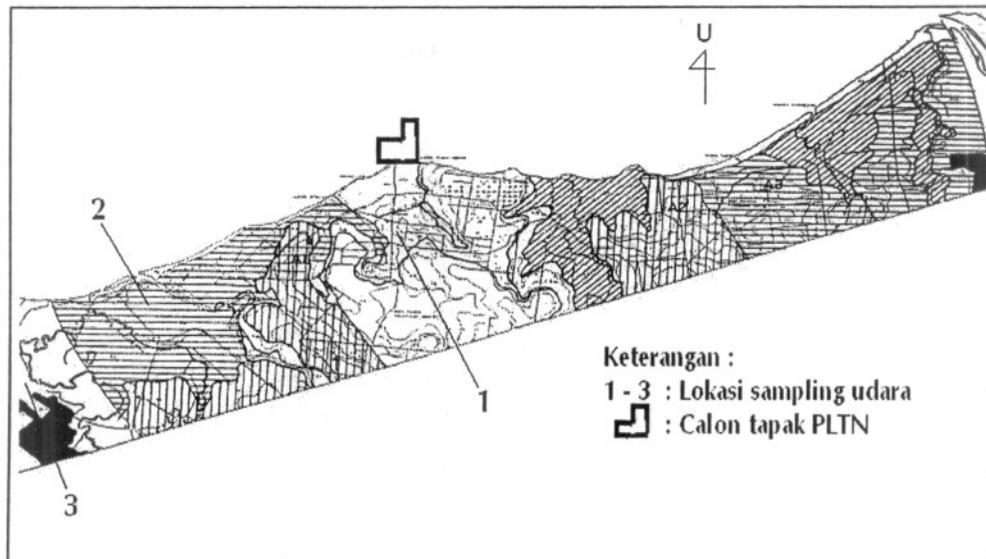
Regresi linier dari grafik tersebut dapat digunakan untuk menentukan diameter aerodinamis median massa (MMAD = *Mass Median Aerodynamic Diameter*) dengan cara menarik garis lurus pada persen kumulatif tepat pada posisi 50 %.

Standar deviasi geometri (σ) ditentukan menggunakan persamaan berikut [9] :

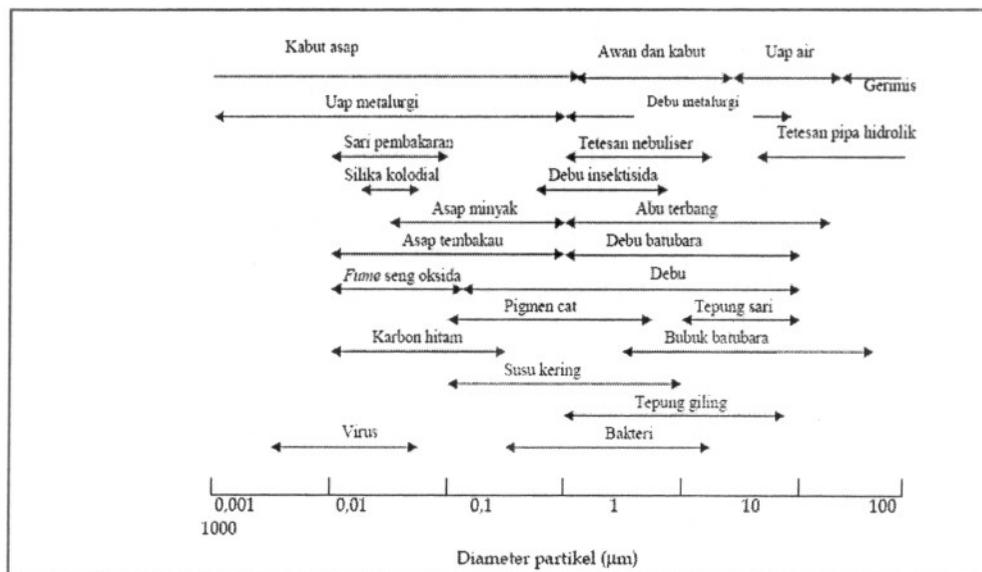
$$\sigma = \sqrt{\frac{D_p \ 84,13 \ \%}{D_p \ 15,87 \ \%}} \dots\dots(3)$$

Keterangan :

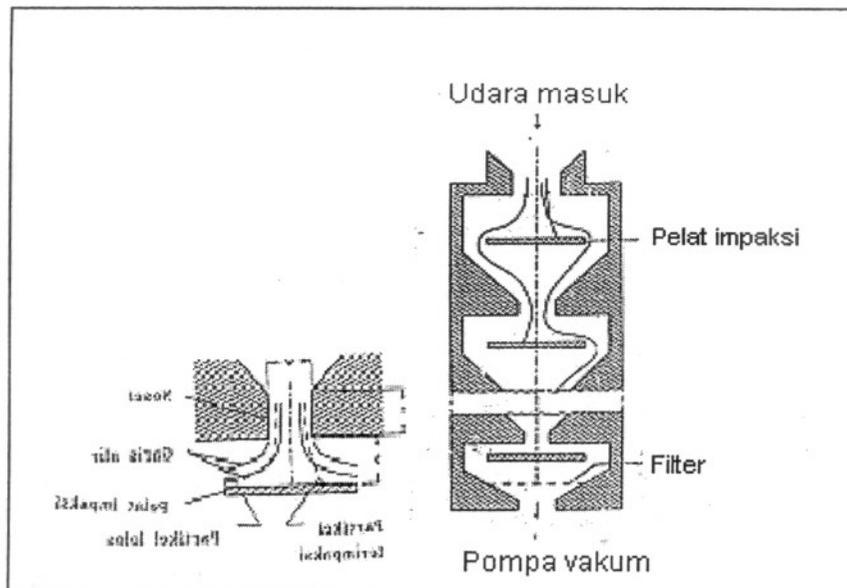
- D_p 84,13 % = diameter aerodinamis pada persen kumulatif 84,13 %
- D_p 15,87 % = diameter aerodinamis pada persen kumulatif 15,87 %



Gambar 1. Lokasi pencuplikan partikel udara



Gambar 2. Ukuran jenis-jenis partikel [11,12,13,14]



Gambar 3. Penampang impaktor bertingkat [9]

Tabel 1. Kategori ISPU untuk partikulat udara ambien berdasarkan standar *National Ambient Air Quality Standards* dan BAPEDAL selama 24 jam [10].

ISPU	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kategori
0-50	0-75	0-15	0-50	Baik
51-100	76-260	16-65	51-150	Sedang
101-200	261-375	66-150	151-350	Tidak Sehat
201-300	376-625	151-250	351-420	Sangat Tidak Sehat
> 300	> 625	> 251	> 421	Berbahaya

Tabel 2. Kategori ISPU terhadap efek kesehatan masyarakat [10]

Kategori ISPU	Efek
Baik	Tidak ada efek
Sedang	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran udara dimana-mana
Sangat tidak sehat	Sensitivitas meningkat pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi TSP, PM₁₀, PM_{2,5} di calon lokasi PLTN semenanjung Lemahabang ditunjukkan pada Tabel 3. Seluruh lokasi pengukuran distribusi diameter partikel udara termasuk Bimodal yang berarti mempunyai ukuran diameter median massa (MMAD) yang berbeda dan mempunyai dua puncak frekuensi (Gambar 5). Hal ini menunjukkan partikel udara beragam di lokasi yang diukur. Diameter partikel udara di Desa Balong dominan pada 0,04 dan 2,40 μm . Bila

partikel udara tersebut terdeposisi di saluran pernapasan, maka dapat diperkirakan akan terdeposisi di paru yakni di bronki sekunder dan bronkiololes. Di desa Bayuran dominan pada 0,09 dan 2,37 μm , sedangkan di Desa Bondo dominan pada 0,07 dan 2,60 μm kemungkinan terdeposisi di bronki sekunder dan bronkiololes (Gambar 6). Distribusi diameter di sekitar lokasi calon PLTN semenanjung Lemahabang lebih menyebar bila dibandingkan di daerah Cilegon seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. Distribusi diameter partikel udara di sekitar calon lokasi PLTN Lemahabang

ada yang berbentuk partikel halus ($< 2,5 \mu\text{m}$) dan partikel kasar ($> 2,5 \mu\text{m}$), sedangkan distribusi diameter di daerah Cilegon kecenderungannya dominan partikel halus dan monomodal.

Hasil pengukuran konsentrasi TSP, PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ per 24 jam di semua lokasi telah melebihi baku mutu udara ambien nasional berdasarkan PP No. 41 tahun 1999 yaitu masing-masing sebesar 230, 150, dan $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hal ini mungkin disebabkan pada saat pengukuran kecepatan angin kencang dan lokasinya berdekatan dengan pantai Utara laut Jawa.

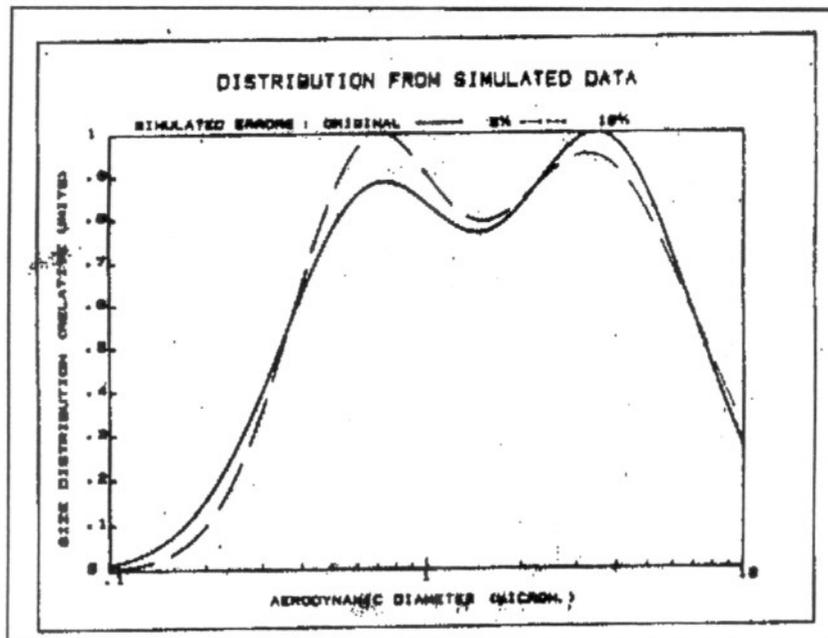
Hasil pengukuran TSP untuk semua lokasi masih termasuk kategori ISPU sedang. Hasil pengukuran PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ termasuk kategori ISPU tidak sehat. Konsentrasi PM_{10} tertinggi terletak di lokasi desa Bayuran, sedangkan

konsentrasi tertinggi untuk $\text{PM}_{2,5}$ terletak di lokasi desa Bondo. Kedua lokasi tersebut terletak di sebelah Timur dan Barat PLTU Tanjung Jati B. Hal ini kemungkinan juga disebabkan jumlah penduduk dekat lokasi PLTU lebih padat dibandingkan dengan yang lain, sehingga emisi gas dari rumah penduduknya lebih banyak dibandingkan lokasi lainnya.

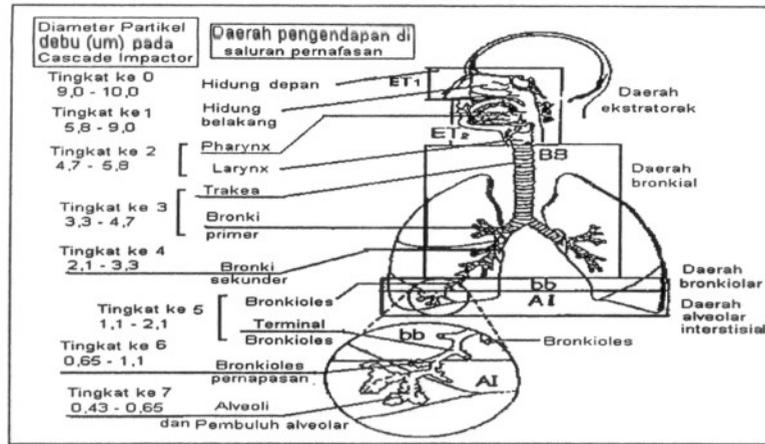
Hasil pengukuran konsentrasi TSP sekitar lokasi calon PLTN bila dibandingkan dengan TSP udara ambien di Jakarta, Bogor, Bekasi dan Tangerang pada tahun 2002 dan 2003 (Tabel 6) tidak berbeda jauh [11], kecuali pengukuran konsentrasi TSP pada tahun 2002 di Bekasi dan Tangerang yang sangat jauh dari baku mutu udara ambien nasional [4] akan tetapi konsentrasi TSP di Bekasi dan Tangerang tersebut lebih baik pada tahun 2003.

Tabel 3. Hasil pengukuran diameter dan konsentrasi TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ di lokasi calon PLTN, Semenanjung Lemahabang.

No.	Titik Lokasi	MMAD (μm)	σ (μm)	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) per 24 jam		
				TSP	PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$
1.	Desa Balong, Kec. Bangsri	0,04 2,40	2,04 2,57	232,45	330,31	107,52
2.	Desa Bayuran, Kec. Bangsri	0,09 2,37	1,89 2,37	241,07	337,77	111,23
3.	Desa Bondo, Kec. Bangsri	0,07 2,60	2,07 2,49	238,54	316,39	120,85



Gambar 5. Grafik distribusi partikel udara bimodal [12]



Gambar 6. Daerah deposisi partikel udara pada saluran pernafasan [12]

Tabel 4. Hasil pengukuran diameter dan konsentrasi partikel udara di Cilegon, Banten [12]

No.	Lokasi	MMAD (µm)	σg (µm)	Konsentrasi per 24 jam (µg/m ³)		
				TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}
1.	Desa Cilodan, Kecamatan Ciwandan	1,65 6,20	2,07 1,56	1056,66	943,60	442,74
2.	Desa Randakari Kecamatan Ciwandan	3,15	2,14	917,39	856,84	344,02
3.	Perumahan Bukit Palm Indah Cilegon	2,40	2,38	894,72	851,78	465,26

Tabel 6. Konsentrasi TSP di Jakarta, Bogor, Bekasi dan Tangerang tahun 2002 dan 2003 [12]

No.	Lokasi	Konsentrasi TSP (µg/Nm ³)	
		Sept-Okt. 2002	Sept-Okt. 2003
1	Jakarta Pusat	192,13	161,13
2	Jakarta Utara	217,97	201,76
3	Jakarta Timur	276,60	310,38
4	Jakarta Barat	108,94	159,49
5	Jakarta Selatan	159,64	249,83
6	Bekasi	622,00	170,71
7	Bogor	166,07	105,41
8	Tangerang	250,59	130,90

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap partikel udara di sekitar calon PLTN Lemahabang, maka distribusi diameter partikel udara termasuk Bimodal. Konsentrasi TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5} per 24 jam di seluruh lokasi melebihi baku mutu udara ambien nasional yang ditetapkan pemerintah. Semua lokasi pengukuran untuk TSP, PM₁₀, dan PM_{2,5} termasuk kategori ISPU sedang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Gatot Suharyono (PTKMR-BATAN) yang telah membantu penelitian ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. TAUFIQ, Segera, Nuklir untuk Listrik Indonesia, Majalah Proyeksi, Edisi XX, Tahun 2, www.batan.go.id/fnews/html.php?id=20060423231606&db=info_media, 2006.
2. BUNAWAS, RUSLANTO, O.P., SURTIPANTI dan YUMIARTI, Partikel debu anorganik : Komposisi, diameter, pengendapan di saluran pernapasan dan efek terhadap kesehatan., Prosiding Seminar Nasional Kimia Anorganik, Yogyakarta, 1999.
3. UNEP/WHO, Measurement of suspended particulate matter in ambient air, Global Environment Monitoring System/ Air Methodology Reviews Handbook Series, Vol.3, WHO/EOS/94.3, NEP/GEMS/94. A.4, Nairobi, Kenya, 1994.
4. PERATURAN PEMERINTAH, Pengendalian Pencemaran Udara, PP RI No. 41/1999, Jakarta, 1999.
5. NEWJEC, Inc, Topical Report on Demography (Step-1), INPB-REP-601, 1992.
6. SOEDOMO, M., Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 1999.
7. HINDS, W.C., Aerosol Technology : Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, John Wiley & Sons Inc., New York, 1999.
8. SAMUEL, J.W., Aerosol in Fundamental of Air Pollution, Addition Willey, New York, USA, 347-363, 1973.
9. ANDERSEN SAMPLER INC., Operating Manual for Andersen Low Pressure Impactor, Atlanta, Ga, 30336, 1982.
10. BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN, Catatan kursus Pengelolaan Kualitas Udara, Jakarta, 1999.
11. CRHRE-UI and ASSISTANT DEPUTY of VEHICLE EMISSION-MOE, TSP and Noise Roadside Monitoring in Jabotabek Areas, Final Report, Jakarta-Indonesia, 2003.
12. GATOT SUHARIYONO, SYARBAINI, dan KUSDIANA, Perkiraan Deposisi Partikel Udara (PM₁₀/PM_{2,5} dan TSP) pada Saluran Pernapasan Penduduk Cilegon, Banten Menggunakan Perangkat Lunak LUDEP, Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir XV, Pusat Pengembangan Teknologi Informasi dan Komputasi, BATAN, Jakarta, 2004.