

KAJIAN METODE PERHITUNGAN KOMPUTER SIGMAPLOT DAN *IMPACTOR DATA PROCESSING* DALAM PENENTUAN DISTRIBUSI DIAMETER DAN KONSENTRASI PARTIKEL UDARA DI PENAMBANGAN EMAS, SUMATRA UTARA

Gatot Suhariyono*

ABSTRAK

KAJIAN METODE PERHITUNGAN KOMPUTER SIGMAPLOT DAN *IMPACTOR DATA PROCESSING* DALAM PENENTUAN DISTRIBUSI DIAMETER DAN KONSENTRASI PARTIKEL UDARA DI PENAMBANGAN EMAS, SUMATRA UTARA. Kajian metode perhitungan komputer sigmaplot dan impactor data processing dalam penentuan distribusi diameter dan konsentrasi partikel udara di penambangan emas, Sumatra Utara telah dilakukan. Karakteristik distribusi diameter partikel udara halus sangat penting untuk diketahui, terutama yang berhubungan dengan pencemaran udara yang dapat mengganggu kesehatan pekerja dan masyarakat yang ada di sekitar lokasi pencemar atau di luar lokasi pencemar menjadi terganggu. Salah satunya adalah kegiatan penambangan emas yang berpotensi menimbulkan pencemaran udara yang pada gilirannya menurunkan kualitas hidup pekerja dan masyarakat di sekitar kawasan industri tersebut. Di dalam makalah ini akan diterangkan metode perhitungan distribusi diameter dan konsentrasi partikel udara dengan menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* dan perangkat lunak *Impactor Data Processing* dari USA. Tujuan dari makalah ini adalah memberi masukan ke pengguna *cascade impactor* tentang operasional perangkat lunak *Impactor Data Processing* dan mengetahui perbedaannya, bila dibandingkan dengan operasional perangkat lunak *Sigma Plot*.

Kata-kata kunci: Tambang emas, partikel udara, *Sigma Plot*, *cascade impactor*, *Impactor Data Processing*.

ABSTRACT

COMPUTER CALCULATION METHODS ASSESSMENT OF SIGMAPLOT AND IMPACTOR DATA PROCESSING IN DETERMINATION OF AIR PARTICLES DIAMETER DISTRIBUTION AND CONCENTRATION AT GOLD MINING, NORTH SUMATRA. Computer calculation methods assessment of Sigmaplot and Impactor Data Processing in determination of air particles diameter distribution and concentration in gold mining, North Sumatra has been conducted. Distribution characteristic of fine air particle diameter is very important to be known, especially connection with air pollution which can disturb the health of workers and society in around air pollution location or outside air pollution location. One of air pollutions is activities of gold mining which have potency to generate the air pollution that in turn degrade the life quality of the workers and society of around the industrial area. In this paper will be explained calculation method of air particles diameter distribution and concentration by using Sigma Plot software and software of Impactor Data Processing from USA. The aim of this paper is give the input to cascade impactor user about software operational of Impactor Data Processing and to know its difference, when compared with operational of Sigma Plot software.

Keywords: Gold Mining, air particles, Sigma Plot, Cascade Impactor, *Impactor Data Processing*.

* Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN, e-mail: g_suhariyono@batan.go.id

PENDAHULUAN

Karakteristik distribusi diameter partikel udara halus sangat penting untuk diketahui, terutama yang berhubungan dengan pencemaran udara atau yang umumnya dikenal dengan istilah polusi udara. Polusi udara dapat mengakibatkan kesehatan pekerja dan masyarakat yang ada di sekitar lokasi pencemar atau di luar lokasi pencemar menjadi terganggu. Dampak negatif pada kesehatan manusia yang timbul akibat pencemaran partikel udara antara lain bisa berupa gangguan organ pernapasan (seperti bronkhitis, emphisema, kanker paru-paru dan lain-lain), dan gangguan panca indra (penciuman dan penglihatan) [1, 2].

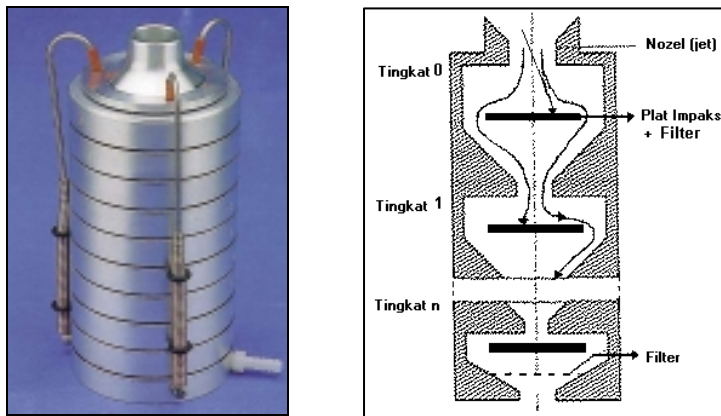
Keberadaan tambang emas di suatu wilayah tertentu dapat meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar tambang, juga pada akhirnya dapat menambah devisa negara. Penanam modal asing juga tidak ketinggalan ikut berlomba mengambil keuntungan dari tambang emas tersebut. Kondisi ini merupakan suatu potensi yang perlu untuk dipertahankan bahkan dapat terus ditingkatkan di masa yang akan datang. Akan tetapi dampak negatif dari kegiatan penambangan emas terhadap kesehatan perlu dipertimbangkan, karena berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, misalnya asap dan debu dari kegiatan penambangan tersebut dapat mencemari udara yang pada gilirannya menurunkan kualitas hidup pekerja dan masyarakat di sekitar kawasan industri tersebut [3, 4].

PTKMR-BATAN mempunyai alat pengukur distribusi diameter partikel udara yaitu *cascade impactor* (*impactor* bertingkat) Andersen. Alat ini juga bisa digunakan untuk mengukur konsentrasi PM_{10} (*particulate matter*) dan $PM_{2.5}$. Partikel PM_{10} dengan diameter kurang dari $10\ \mu m$ dan $PM_{2.5}$ dengan diameter kurang dari $2,5\ \mu m$. Partikel-partikel tersebut diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan, karena partikel padat PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dapat mengendap pada saluran pernapasan daerah bronkus dan alveolus [4, 5, 6]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional selama 24 jam untuk PM_{10} sebesar $150\ \mu g/m^3$, untuk $PM_{2.5}$ yaitu $65\ \mu g/m^3$ [7].

Dalam rangka mengantisipasi PP RI No. 41 / 1999 dan mengetahui sejauh mana tingkat bahaya partikel udara terhadap kesehatan masyarakat di sekitar calon tapak tambang emas, maka dilakukan pengukuran diameter partikel udara pada daerah yang telah ditetapkan sebagai calon tapak tambang emas, Sumatera Utara dan di daerah sekitarnya pada bulan Agustus 2003. Di dalam makalah ini akan diterangkan metode perhitungan distribusi diameter dan konsentrasi partikel udara dengan menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* dan perangkat lunak *Impactor data processing* dari USA. Tujuan dari makalah ini adalah memberi masukan ke pengguna *cascade impactor* tentang operasional perangkat lunak *Impactor data processing* dan mengetahui perbedaannya, bila dibandingkan dengan operasional perangkat lunak *Sigma Plot*.

TATA KERJA

Prinsip kerja *cascade impactor* Andersen dalam pengukuran distribusi diameter partikel udara yaitu memisahkan diameter partikel udara mulai dari lebih kecil dari 0,4 μm sampai lebih kecil dari 10 μm yaitu 9 μm , 5,8 μm , 4,7 μm , 3,3 μm ; 2,1 μm , 1,1 μm , 0,7 μm , dan 0,4 μm dengan komposisi *impactor* terdiri dari *stage orifice* masing-masing 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan F (Gambar 1.) [8]. Sembilan *stage orifice* tersebut dan sembilan plat wadah filter dari *impactor* sebelum digunakan, dicuci dengan deterjen dan alkohol teknis 70 % supaya bersih, lalu dikeringkan.



Gambar 1. *Cascade impactor* dan skema aliran partikel udara di dalamnya.

Delapan filter mylar dan sebuah filter whatman sebelum digunakan disimpan 24 jam dalam desikator, agar terhindar dari pengaruh penambahan berat kelembaban udara. Kemudian ditimbang dengan neraca analitik dan ditutup rapat dengan *seal*. *Impaktor* dihubungkan dengan flowmeter dan pompa isap. Laju alir udara yang masuk diatur ke *impaktor* bertingkat sebesar 28,3 lpm (liter per menit). Pengukuran partikel udara dilakukan di empat lokasi yaitu di pusat kegiatan penambangan dan di lokasi pada radius 1, 2 dan 3 km dari pusat kegiatan penambangan masing-masing selama kurang lebih 3 jam, kecuali pada lokasi 2 km selama kurang lebih 2 jam, karena kondisi hujan. *Impactor* ditempatkan pada lokasi yang telah ditentukan dengan ketinggian 1,5 meter di atas permukaan tanah. Setelah pengambilan sampel, keseluruhan filter whatman dan filter mylar di-*seal* di dalam wadah *compact disk* (CD) dan dikondisikan 24 jam di desikator. Pada satu lokasi, setiap satu set plat impaksi di dalam wadah CD diberi label yang meliputi : lokasi pencuplikan, dan tanggal mengambil contoh. Keseluruhan filter setelah dikondisikan di desikator, lalu ditimbang. Selisih berat filter sesudah dan sebelum pengukuran dicatat dan dibuat persentase berat setiap tingkat terhadap berat total seluruh tingkat. Pada saat pengukuran udara, kondisi lingkungan yaitu kelembaban relatif, suhu udara, tekanan udara, arah angin, dan kecepatan angin sesaat dicatat setiap jam.

PENENTUAN DISTRIBUSI DIAMETER DAN KONSENTRASI PARTIKEL UDARA

Metode perhitungan dengan perangkat lunak Sigma Plot

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 dihitung dengan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menentukan persentase kumulatif.

Data-data persentase kumulatif dari penentuan distribusi diameter partikel udara didistribusikan dengan grafik *log-probability* dan diplot regresi linier terhadap diameter partikel sebagai fungsi dari persentase kumulatif. Grafik *log-probability* dibuat dengan program Sigma Plot. Sumbu-Y vertikal menggunakan skala *log*, sedangkan sumbu-X horisontal menggunakan skala *probability*. 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 di posisi 50 %. Standar deviasi geometri (σ_g) ditentukan menggunakan persamaan berikut [8] :

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_p \text{ 84,13 \%}}{D_p \text{ 15,87 \%}}} \quad (1)$$

Keterangan:

$D_p \text{ 84,13 \%}$ = diameter aerodinamis yang ditentukan dari persen kumulatif 84,13 % di grafik.

$D_p \text{ 15,87 \%}$ = diameter aerodinamis yang ditentukan dari persen kumulatif 15,87 % di grafik.

Data-data distribusi diameter partikel udara (MMAD dan σ_g) digunakan untuk menentukan tingkat deposisi partikel udara pada saluran pernapasan.

Konsentrasi partikel udara PM_{10} atau $PM_{2,5}$ (C) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$[C] = \frac{M_t - M_0}{T \cdot V} \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (2)$$

Keterangan:

M_t = berat filter ditambah udara (μg)

M_0 = berat filter bersih (μg)

T = lama pencuplikan (jam)

V = laju pencuplikan udara (m^3/jam)

Konsentrasi yang diperoleh dari persamaan (2) dikonversikan ke persamaan model konversi Canter untuk mendapatkan konsentrasi udara dengan waktu pencuplikan 24 jam, sehingga sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999. Persamaan konversi Canter tersebut adalah sebagai berikut [9]:

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \quad (3)$$

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 makalah 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 $p = 0,186$ diperoleh dari PP No. 41 / 1999 yaitu $C_1 = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t_1 = 1$ hari, $C_2 = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $t_2 = 365$ hari.

Metode perhitungan dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Perangkat lunak *Impactor Data Processing* dikembangkan oleh Julio M. Fernández Díaz, Spanyol pada tahun 2006 [10]. Distribusi diameter partikel (PSD = Particle Size Distribution) dikembangkan berdasarkan jumlah dari distribusi log-normal. Masing-masing log-normal bergantung pada tiga parameter yaitu A_j (= total massa atau banyaknya partikel), D_{pgj} (= diameter geometri rata-rata), dan σ_{gj} (= standar deviasi geometri dari mode j). PSD tersebut dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(\log D_p) = \sum_j^m \frac{A_j}{\sqrt{2\pi} \log \sigma_{gj}} \exp \left(- \frac{\log^2(D_p/D_{pgj})}{2 \log^2 \sigma_{gj}} \right) \quad (4)$$

Input dari perangkat lunak ini adalah tempat dan waktu pengukuran, berat partikel tiap tingkat dari *cascade impactor*, pilihan pengukuran konsentrasi massa atau konsentrasi jumlah partikel, pilihan jenis partikel aerodinamis atau geometris, berat jenis (g/cm^3), pilihan banyaknya log-normal (1, 2, 3, dan 4), pilihan banyaknya ulangan fitting (100, 200, ..., 20.000), dan pilihan jangkauan perhitungan (random atau lainnya). Contoh tampilan perangkat lunak *Impactor Data Processing* ini dapat dilihat di Gambar 2.



2a. Tampilan input berat partikel tiap tingkat

2b. Tampilan *Particle Size Distribution (PSD)*

Gambar 2. Contoh tampilan perangkat lunak *Impactor Data Processing*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi cuaca rata-rata pada saat pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi partikel udara di daerah penambangan emas, Sumatra Utara ditunjukkan di Tabel 1. Arah angin cenderung rata-rata ke arah Barat dan dengan kecepatan angin 1,15 m/s. Hasil pengukuran distribusi partikel di pusat kegiatan penambangan ditampilkan di Tabel 2 dari hasil perhitungan dengan menggunakan Microsoft Excel. Grafik *log-probability* dibuat dari data Tabel 2 dengan program Sigma Plot, dan diplot regresi liniernya terhadap diameter partikel sebagai fungsi dari persentase kumulatif (lihat Gambar 3a). MMAD diketahui dengan jalan menarik garis lurus pada Sumbu Y di titik 50 % kumulatifnya. Sedangkan standar deviasinya diketahui dari persamaan 1 pada titik 15,87 % dan 84,13 % kumulatif. MMAD dan standar deviasi diketahui dari grafik tersebut pada Gambar 4a yaitu masing-masing 2,86 μm dan 2,71 μm . Sedangkan hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 1 km dari Pusat Penambangan Emas dapat diketahui dari Tabel 3 dan Gambar 3b. MMAD dan standar deviasi diketahui dari grafik tersebut pada Gambar 4b yaitu masing-masing 3,28 μm dan 2,41 μm . Hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 2 km dari Pusat Penambangan Emas dapat diketahui dari Tabel 4 dan Gambar 4. Dari grafik di dalam Gambar 4a dapat diketahui bahwa terjadi kecenderungan data tersebut termasuk bimodal yaitu mempunyai dua puncak MMAD pada 50 % kumulatifnya (lihat Gambar 4b). Dengan demikian pada Tabel 4 dibuat perhitungan dengan 2 macam MMAD (Gambar 4c dan Gambar 4d). MMAD dan standar deviasi yang ke satu masing-

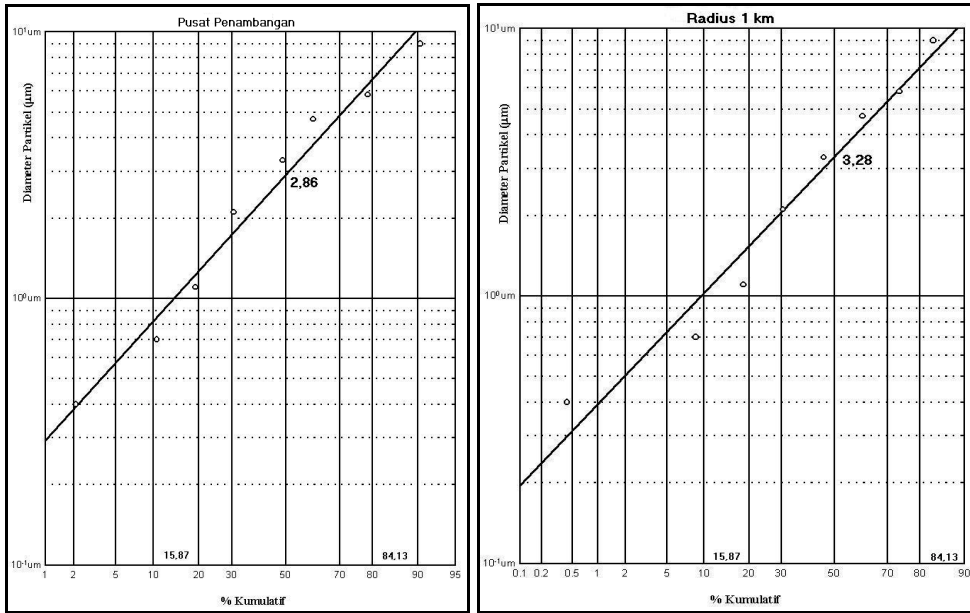
masing adalah 8,88 μm dan 1,82 μm , sedangkan MMAD dan standar deviasinya yang ke dua masing-masing adalah 1,80 μm dan 1,90 μm . Hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 3 km dari Pusat Penambangan Emas dapat diketahui dari Tabel 5 dan Gambar 5a. Dari Gambar 6a tersebut terlihat ada keunikan yang terjadi yaitu adanya 3 MMAD. Oleh karena itu di dalam Tabel 5 tersebut dilakukan perhitungan dengan 3 MMAD. MMAD dan standar deviasi yang ke satu masing-masing adalah 5,50 μm dan 1,11 μm (Gambar 5b). MMAD dan standar deviasi yang ke dua masing-masing adalah 2,17 μm dan 1,36 μm (Gambar 5c), sedangkan MMAD dan standar deviasi yang ke tiga masing-masing adalah 0,52 μm dan 1,20 μm (Gambar 5d). Secara keseluruhan hasil pengukuran konsentrasi PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ (per 24 jam) dan distribusi diameter partikel udara dengan menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* ditampilkan di Tabel 6.

Tabel 1. Kondisi cuaca rata-rata pada saat pengukuran

Lokasi	Suhu (°C)	RH (%)	P (mmHg)	Kec. Angin (m/s)	Arah angin ke	Lama cuplik (menit)	Kondisi
Pusat kegiatan penambangan	29,00	61,00	740,00	0,53	Barat	180	cerah
Radius 1 km	35,30	60,60	745,56	1,98	Barat	180	cerah
Radius 2 km	34,05	46,50	760,00	0,94	Timur	120	cerah
Radius 3 km	30,15	52,50	761,00	1,16	Barat	180	cerah

Tabel 2. Hasil pengukuran distribusi diameter di Pusat Penambangan Emas

Tingkat	Diameter (μm)	Δ Berat (g)	% Koleksi	% Kumulatif
0	9	0,00009	10,227	89,773
1	5,8	0,00011	12,500	77,273
2	4,7	0,00011	12,500	64,773
3	3,3	0,00011	12,500	52,273
4	2,1	0,00017	19,318	32,955
5	1,1	0,00011	12,500	20,455
6	0,7	0,00008	9,091	11,364
7	0,4	0,00008	9,091	2,273
F	< 0,4	0,00002	2,273	0,000
T o t a l		0,00088	100,00	



3a. Di Pusat Penambangan

3b. Di lokasi 1 km dari Pusat Penambangan

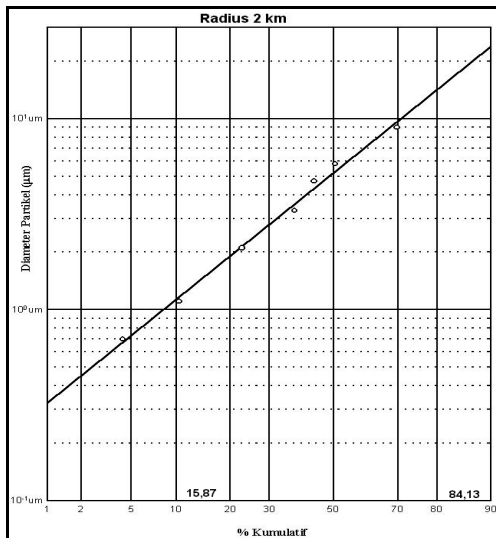
Gambar 3. Grafik log - probability untuk menentukan MMAD dan standar deviasinya (σ)

Tabel 3. Hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 1 km dari Pusat Penambangan Emas

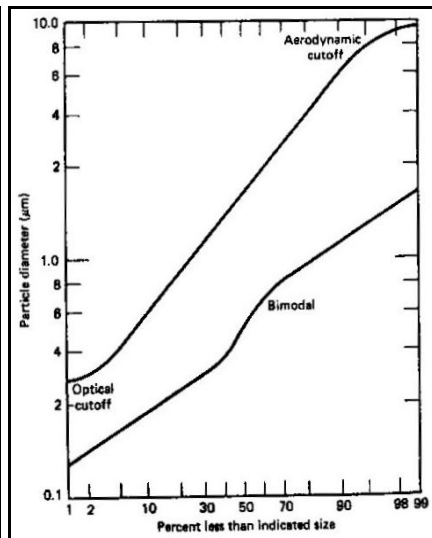
Tingkat	Diameter (μm)	Δ Berat (g)	% koleksi	% kumulatif
0	9	0,00038	16,450	83,550
1	5,8	0,00022	9,524	74,030
2	4,7	0,00030	12,987	61,040
3	3,3	0,00035	15,152	45,890
4	2,1	0,00035	15,152	30,740
5	1,1	0,00028	12,121	18,610
6	0,7	0,00023	9,957	8,660
7	0,4	0,00019	8,225	0,430
F	< 0.4	0,00001	0,433	0,000
Total		0,00231	100,000	

Tabel 4. Hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 2 km dari Pusat Penambangan Emas

Tingkat	ϕ (μm)	Δ Berat (g)	% Koleksi	% Kumulatif	MMAD ke 1			MMAD ke 2		
					Δ Berat (g)	% Koleksi	% Kum.	Δ Berat (g)	% Koleksi	% Kum.
0	9	0,00049	30,247	69,75	0,00049	48,515	51,49			
1	5,8	0,00031	19,136	50,62	0,00031	30,693	20,79			
2	4,7	0,00011	6,792	43,83	0,00011	10,891	9,90			
3	3,3	0,00010	6,173	37,65	0,00010	9,901	-	0,00010	14,085	85,92
4	2,1	0,00024	14,815	22,84	-	-	-	0,00024	33,803	52,11
5	1,1	0,00020	12,346	10,49	-	-	-	0,00020	28,169	23,94
6	0,7	0,00010	6,173	4,32	-	-	-	0,00010	14,085	9,86
7	0,4	0,00007	4,321	-	-	-	-	0,00007	9,859	-
F	<0,4	0,00000	-	-	-	-	-	0,00000	-	-
Total		0,00162	100,00		0,00101	100,00		0,00071	100,00	

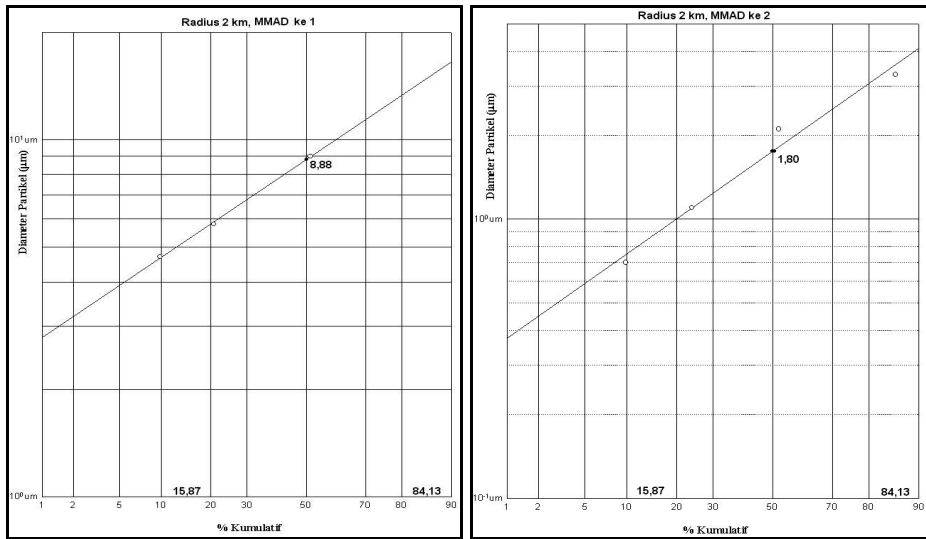


4a. Data secara keseluruhan



4b. Grafik bimodal

Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing* ditampilkan di Tabel 7 dan Gambar 6. Banyaknya log-normal menentukan banyaknya puncak pulsa yang ditampilkan di grafik konsentrasi ($dM/d\log D_p$) sebagai fungsi dari distribusi diameter. Dari Gambar 6 (baik Gambar 6a, 6b, 6c, dan 6d) dapat diketahui bahwa kurva yang mendekati distribusi normal Gaussian adalah kurva dari Gambar 6a. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa MMAD dari hasil perhitungan dengan perangkat lunak ini adalah $3,508 \mu\text{m}$ dengan σ_g yaitu $2,805 \mu\text{m}$. Hasil perhitungan ini sama dengan hasil perhitungan dengan menggunakan Sigma Plot yaitu monomodal (satu puncak MMAD), dan nilai dari hasil MMAD-nya tidak jauh berbeda.



4c. MMAD ke 1

4d. MMAD ke 2

Gambar 4. Grafik log-probability dari pengukuran di lokasi 2 km dari pusat penambangan

Tabel 5. Hasil pengukuran distribusi diameter di lokasi 3 km dari Pusat Penambangan Emas

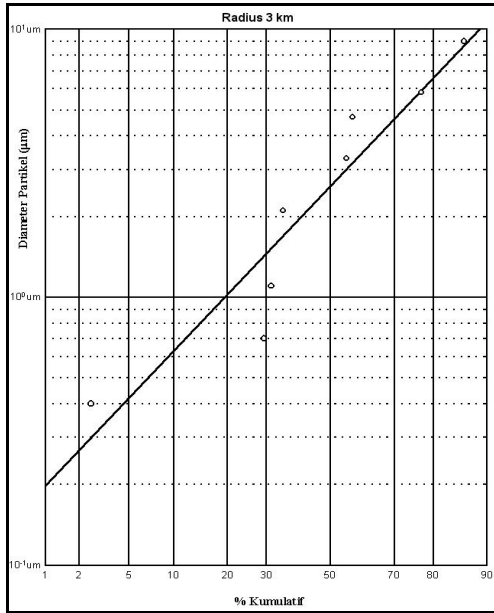
φ (µm)	Δ Berat (g)	% Kol.	% Kum	MMA D ke 1	MM AD ke 2	MM AD ke 3	Δ Berat (g)	% Kol.	% Kum.	Δ Berat (g)	% Kol.	% Kum.
				Δ Berat (g)	% Kol.	% Kum						
9	0,00027	13,706	86,29		-							
5,8	0,00018	9,137	77,16	0,00018	29,508	70,49						
4,7	0,00039	19,797	57,36	0,00039	63,934	6,56						
3,3	0,00004	2,030	55,33	0,00004	6,557	-	0,00004	7,273	92,73			
2,1	0,00040	20,304	35,03		-	-	0,00040	72,727	20,00			
1,1	0,00007	3,553	31,47		-	-	0,00007	12,727	7,27			
0,7	0,00004	2,030	29,44		-	-	0,00004	7,273	-	0,00004	6,451	93,55
0,4	0,00053	26,904	2,54		-	-		-	-	0,00053	85,484	8,06
< 0,4	0,00005	2,538	0,00		-	-		-	-	0,00005	8,065	-
Total	0,00197	100,00		0,00061	100,00		0,00055	100,00		0,00062	100,00	

Tabel 6. Hasil pengukuran konsentrasi (per 24 jam) dan distribusi diameter partikel udara dengan menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot*

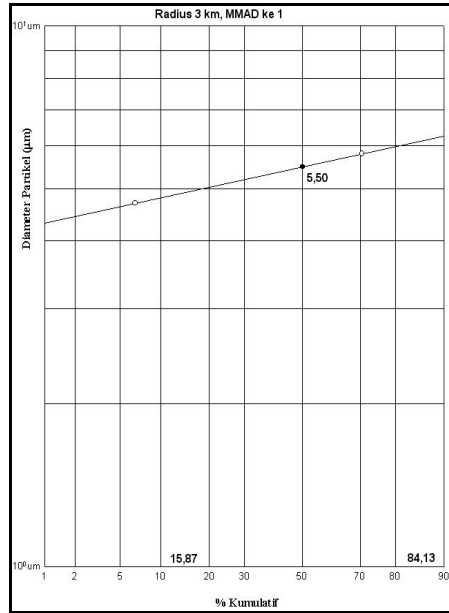
No.	Lokasi	Diameter Partikel		PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		MMAD (μm)	σ		
1	Pusat kegiatan penambangan	2,86	2,71	112,682	55,025
2	Radius 1 km	3,28	2,41	273,213	117,047
3	Radius 2 km	8,88	1,82	213,944	81,130
		1,80	1,90		
4	Radius 3 km	0,52	1,20	233,788	127,927
		2,17	1,36		
		5,50	1,11		

Tabel 7. Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

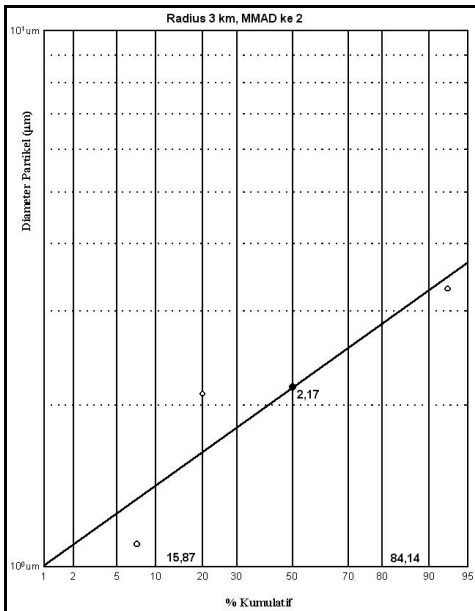
Banyak log-normal	Diameter Partikel		Konsentrasi Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi Total		Kesalahan Relatif	
	MMAD (μm)	σ (μm)		Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partikel (p/m^3)	Massa	Jumlah Partikel
1	3,508	2,805	184,50	185	853000	0,254	0,230
2	1,392	2,159	93,45	185	853000	0,217	0,229
	6,944	1,695	85,31				
3	0,016	1,259	6,21	185	853000	0,204	0,229
	1,566	2,310	107,30				
	6,613	1,925	84,55				
4	0,023	3,765	0,00	185	853000	0,230	0,229
	0,047	3,475	0,00				
	1,763	1,259	29,23				
	4,578	2,353	144,60				



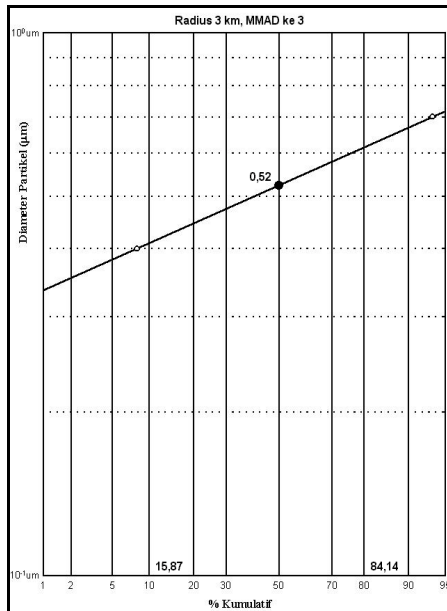
5a. Data secara keseluruhan



5b. MMAD ke 1

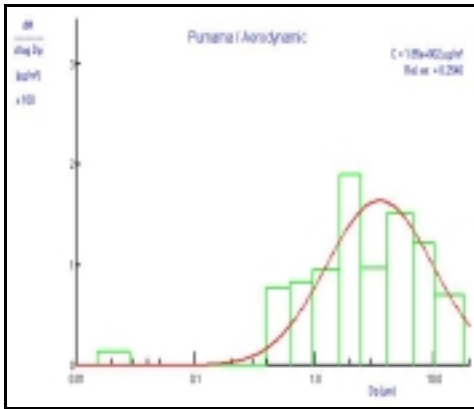


5c. MMAD ke 2

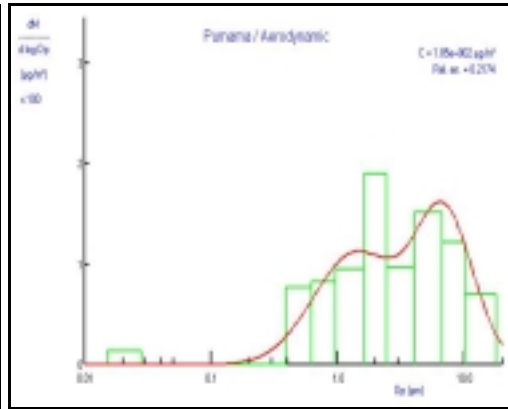


5d. MMAD ke 3

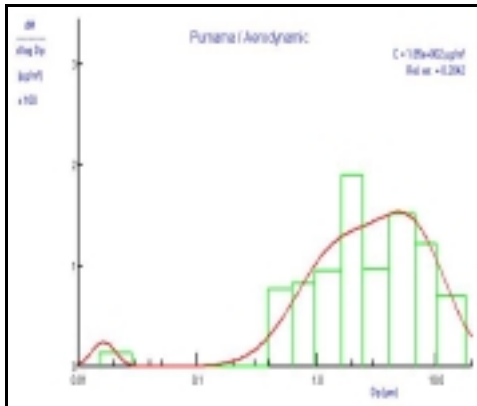
Gambar 5. Grafik log-probability dari pengukuran di lokasi 3 km dari pusat penambangan.



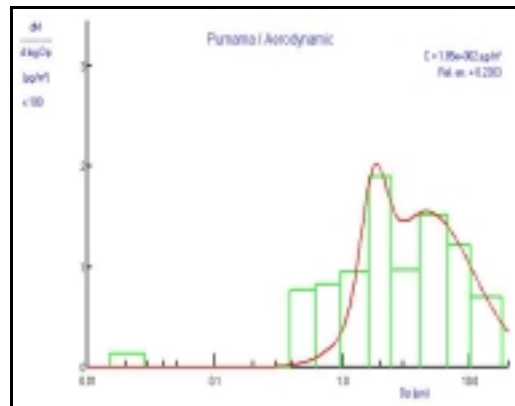
6a. Log-normal sebanyak 1



6b. Log-normal sebanyak 2



6c. Log-normal sebanyak 3



6d. Log-normal sebanyak 4

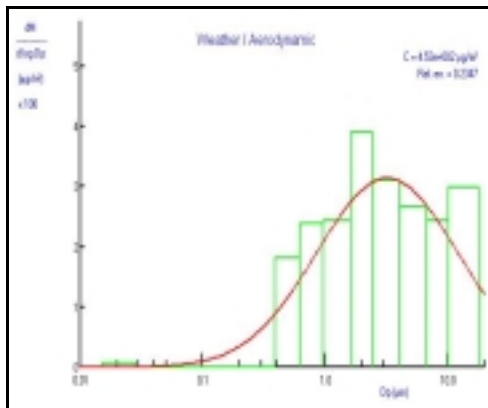
Gambar 6. Hasil pengukuran distribusi diameter di Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 1 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing* ditampilkan di Tabel 8 dan Gambar 7. Dari Gambar 7 (baik Gambar 7a, 7b, 7c, dan 7d) dapat diketahui bahwa kurva yang mendekati distribusi normal Gaussian adalah kurva dari Gambar 8a. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa MMAD-nya adalah 3,203 μm dengan standar deviasi 3,767 μm . Hasil perhitungan ini sama dengan hasil perhitungan dengan menggunakan Sigma Plot yaitu monomodal, dan nilai dari hasil MMAD-nya tidak berbeda.

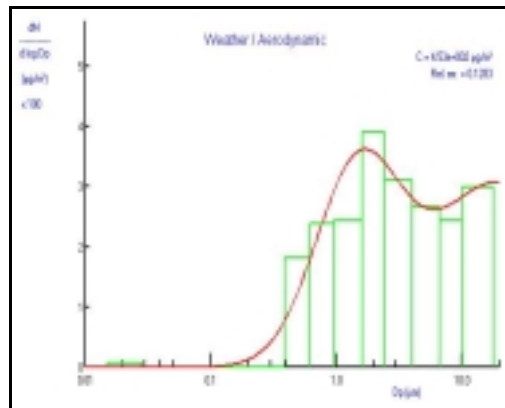
Tabel 8. Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 1 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Banyak log-normal	Diameter Partikel		Konsentrasi Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi Total		Kesalahan Relatif	
	MMAD (μm)	σg (μm)		Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partikel (p/m^3)	Massa	Jumlah Partikel
1	3,203	3,767	453,50	453	427000	0,235	0,230
2	1,490	2,197	277,80	453	427000	0,128	0,228
	19,231	3,402	407,60				
3	0,016	1,259	3,10	453	427000	0,125	0,228
	1,566	2,282	306,30				
	17,100	2,710	323,00				
4	0,017	1,259	2,74	453	427000	0,128	0,228
	0,043	3,049	0,00				
	1,662	2,347	331,10				
	16,107	2,267	259,50				

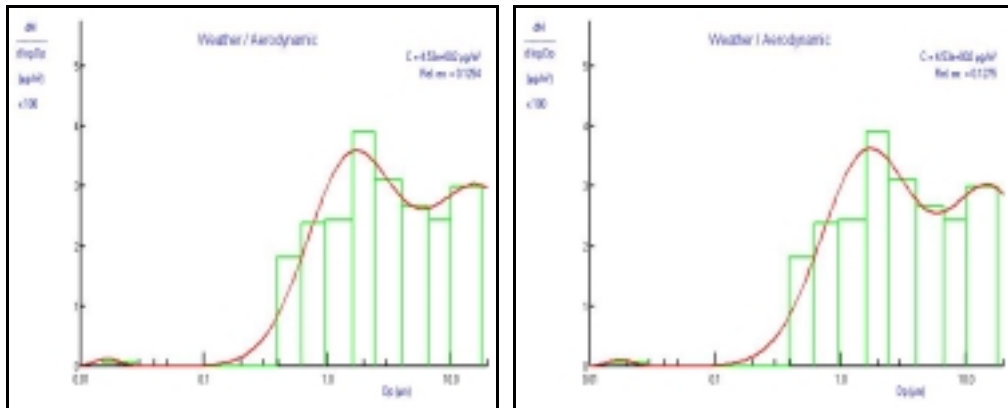
Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 2 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing* ditampilkan di Tabel 9 dan Gambar 8. Dari Gambar 8 (baik Gambar 8a, 8b, 8c, dan 8d) dapat diketahui bahwa semua kurva mendekati distribusi normal Gaussian, tetapi jika diperhatikan lebih teliti sebagian besar terlihat 2 puncak pulsa yang menonjol (bimodal). Sedangkan bila diperhatikan pada Tabel 9, maka log normal sebanyak 2 terdapat konsentrasi massa yang tidak bernilai nol. Pada log-normal sebanyak dua dan tiga terdapat nilai konsentrasi massanya nol. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa MMAD ke 1 adalah 1,479 μm dengan σg sebesar 1,816 μm dan MMAD ke 2 adalah 11,092 dengan σg sebesar 1,452. Hasil perhitungan ini sama dengan hasil perhitungan dengan menggunakan Sigma Plot yaitu bimodal, dan nilai dari hasil MMAD-nya tidak terlalu jauh berbeda.



7a. Log-normal sebanyak 1



7b. Log-normal sebanyak 2



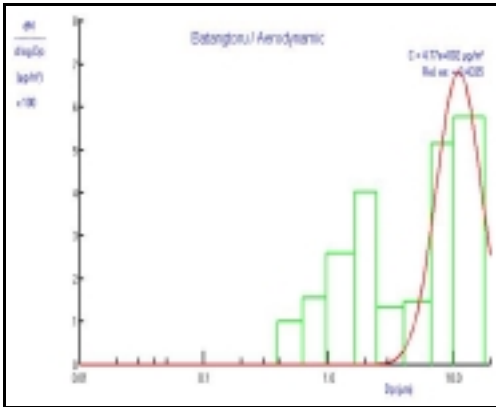
7c. Log-normal sebanyak 3

7d. Log-normal sebanyak 4

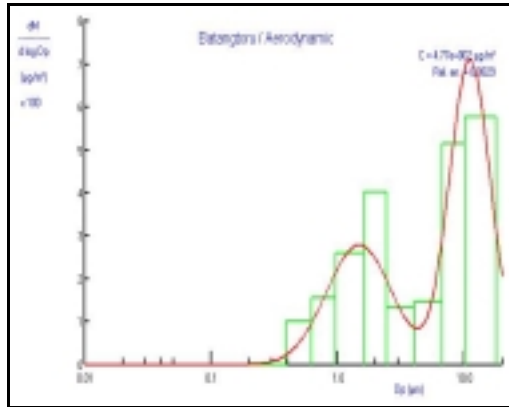
Gambar 7. Distribusi diameter di lokasi 1 km dari Pusat Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Tabel 9. Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 2 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

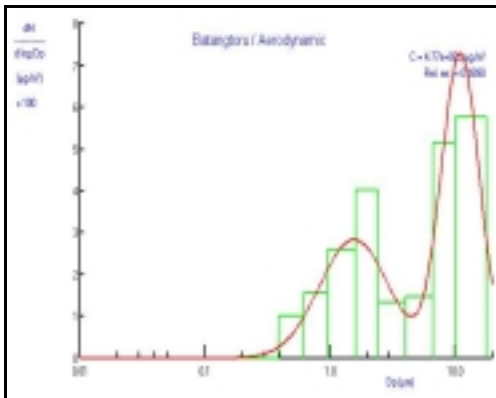
Banyak log-normal	Diameter Partikel		Konsentrasi Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi Total		Kesalahan Relatif	
	MMAD (μm)	σ_g (μm)		Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partikel (p/m^3)	Massa	Jumlah Partikel
1	11,143	1,515	308,60	477	529	0,434	0,223
2	1,479	1,816	181,30	477	529	0,083	0,223
	11,092	1,452	288,60				
3	0,075	1,851	0,00	477	529	0,089	0,223
	1,566	1,896	198,00				
	11,066	1,419	277,70				
4	0,021	2,098	0,00	477	529	0,099	0,223
	0,076	1,260	0,00				
	1,772	1,399	163,50				
	11,298	1,524	307,60				



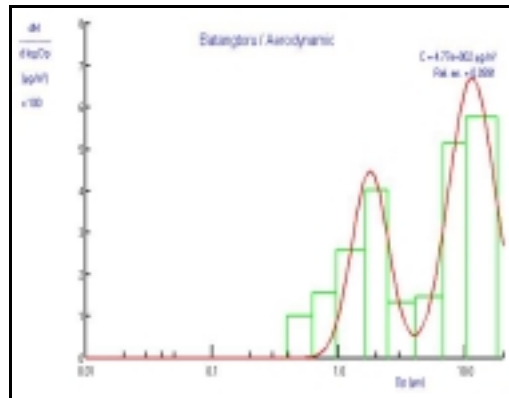
8a. Log-normal sebanyak 1



8b. Log-normal sebanyak 2



8c. Log-normal sebanyak 3



8d. Log-normal sebanyak 4

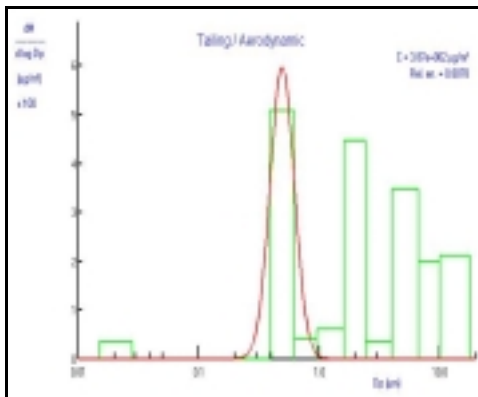
Gambar 8. Distribusi diameter di lokasi 2 km dari Pusat Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 3 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing* ditampilkan di Tabel 10 dan Gambar 9. Dari Gambar 9 (baik Gambar 9a, 9b, 9c, dan 9d) dapat diketahui bahwa kurva mendekati distribusi normal Gaussian adalah 9a dan 9d, begitu juga jika diperhatikan lebih teliti dari Tabel 10, konsentrasi massa dari log normal sebanyak 1 dan 4 tidak ada yang nol. Mengingat diameter partikel udara di alam bebas random, maka log-normal yang terbaik diambil sebanyak 4. Dengan demikian dapat disimpulkan MMAD ke 1 adalah 0,492 μm dan σ sebesar 1,259 μm . MMAD ke 2 adalah 1,987 dan σ sebesar 1,259. MMAD ke 3 adalah 5,961 μm dan σ sebesar

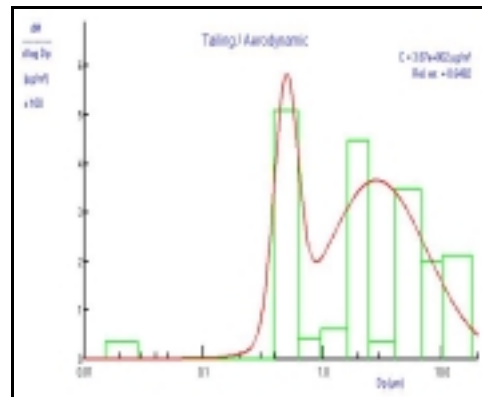
1,259 μm . MMAD ke 4 adalah 16,107 dan σ_g sebesar 1,259. Hasil perhitungan ini berbeda dengan hasil perhitungan dengan menggunakan Sigma Plot yaitu MMAD ada 3 dari Sigma Plot, dan MMAD ada 4 dari perangkat lunak *Impactor Data Processing*, sedangkan nilai dari 3 MMAD-nya tidak jauh berbeda.

Tabel 10. Hasil pengukuran distribusi diameter dan konsentrasi di lokasi 3 km dari Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

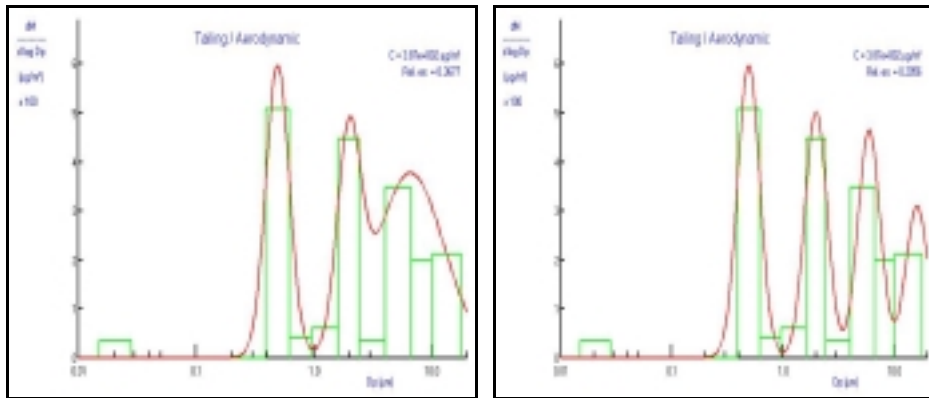
Banyak log-normal	Diameter Partikel		Konsentrasi Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi Total		Kesalahan Relatif	
	MMAD (μm)	σ_g (μm)		Massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partikel (p/m^3)	Massa	Jumlah Partikel
1	0,494	1,259	150,00	387	2130000	0,809	0,230
2	0,492	1,259	128,20	387	2130000	0,648	0,229
	2,828	2,639	386,70				
3	0,492	1,259	150,00	387	2130000	0,368	0,229
	1,988	1,259	105,20				
	6,613	1,938	271,80				
4	0,492	1,259	150,00	387	2130000	0,206	0,230
	1,987	1,259	126,40				
	5,961	1,259	116,80				
	16,107	1,259	78,06				



9a. Log-normal sebanyak 1



9b. Log-normal sebanyak 2



9c. Log-normal sebanyak 3

9d. Log-normal sebanyak 4

Gambar 9. Distribusi diameter di lokasi 3 km dari Pusat Pusat Penambangan Emas dengan perangkat lunak *Impactor Data Processing*

Konsentrasi PM_{10} / $PM_{2,5}$ di pusat penambangan lebih rendah daripada batas konsentrasi yang ditetapkan pemerintah (PP 41/1999). Hal ini kemungkinan disebabkan pada saat pengukuran di lokasi pengukuran dikelilingi pohon-pohon tinggi, pegunungan dan tempat tinggal sementara yang sebagian besar terbuat dari triplek dan kayu, sehingga partikel debu beterbangan yang terdeposisi di pohon-pohon tinggi daripada partikel debu yang terabsorpsi ke alat. Semakin banyak pohon, semakin baik untuk mengurangi polusi udara.

Distribusi diameter partikel di lokasi pengukuran pada radius 1 km dari pusat penambangan terlihat merata, berupa debu kasar. Partikel tersebut kemungkinan dapat terdeposisi di antara trakhea dan bronchus dari paru-paru. Hal ini dapat diperkirakan kemungkinan penduduk atau pekerja sekitar tersebut dapat terkena penyakit paru-paru ringan dan radang tenggorokan. Konsentrasi PM_{10} / $PM_{2,5}$ lebih besar daripada batas konsentrasi yang ditetapkan pemerintah (PP 41/1999). Hal ini kemungkinan disebabkan kecepatan angin rata-ratanya lebih tinggi pada saat pengukuran di lokasi pengukuran daripada kecepatan angin di lokasi pengukuran lainnya, akan tetapi juga sekitar lokasi pengukuran dikelilingi pohon-pohon yang tidak terlalu tinggi, sehingga partikel debu yang menempel di daun-daun beterbangan terabsorpsi ke alat.

Konsentrasi PM_{10} / $PM_{2,5}$ di lokasi pengukuran pada radius 2 km dari pusat penambangan lebih besar dari batas yang ditetapkan pemerintah (PP 41/1999). Hal ini kemungkinan disebabkan debu yang berasal dari jalan, tanah dan bahan bangunan. Di sekitar lokasi pengukuran sedang diadakan pembangunan rumah, juga lokasi pengukuran berada sekitar 10 meter dari jalan raya yang ramai lalu lintas.

Konsentrasi PM_{10} / $PM_{2,5}$ di radius 3 km dari pusat penambangan lebih besar daripada batas konsentrasi yang ditetapkan pemerintah (PP 41/1999). Hal ini kemungkinan disebabkan pada saat pengukuran di lokasi pengukuran kecepatan angin

rata-ratanya lebih tinggi daripada kecepatan angin di lokasi pengukuran pada radius 2 km dari pusat penambangan, sehingga partikel debu beterbangan yang terabsorpsi ke alat bersifat heterogen di areal lapangan yang luas, disamping itu dekat dengan jalan yang berjarak sekitar 20 m dari lokasi pengukuran.

KESIMPULAN

Perhitungan distribusi diameter dan konsentrasi dengan menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* dan *Impactor Data Processing* masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan perhitungan dengan *Sigma Plot* adalah dapat digunakan menghitung konsentrasi PM_{10} / $PM_{2,5}$, dan ukuran diameter partikel di tiap tingkat *cascade impactor* sesuai dengan ukuran diameter partikel di dalam perhitungan diameter di *Sigma Plot*. Sedangkan kelebihan perhitungan dengan *Impactor Data Processing* adalah lebih cepat dalam menganalisa distribusi diameter dan konsentrasinya, dapat ditampilkan grafik puncak MMAD-nya dan dapat diketahui sesuai atau tidaknya dengan distribusi normal Gaussian, juga dapat diketahui konsentrasi massa per volume dan konsentrasi jumlah partikel per volumenya. Kelebihan dari perhitungan distribusi diameter dan konsentrasi dengan menggunakan perangkat lunak *Impactor Data Processing* adalah merupakan kekurangan dari perhitungan dengan perangkat lunak *Sigma Plot*, begitu juga sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

1. CONNELL, D. W., dan MILLER, G. J., Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran, Universitas Indonesia Press, 1995.
2. SITEPOE, M., Usaha Mencegah Pencemaran Udara, PT Gramedia Widia Sarana, Jakarta, Indonesia, 1997.
3. WILSON, R., Particles in our air : Concentrations and health effects., Harvard University Press, Massachusetts, Cambridge, USA, 1996.
4. 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.
5. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME / WORLD HEALTH ORGANIZATION, Measurement of suspended particulate matter in ambient air,

- GEMS (Global Environment Monitoring System) / Air Methodology Reviews Handbook Series, Vol. 3, WHO/EOS / 94.3, UNEP / GEMS / 94. A.4, UNEP / WHO, Nairobi, Kenya, 1994.
6. LUNDGREN, D.A., HLAING, D.N., RICH, T.A, and MARPLE, V.A., PM_{10} / $PM_{2.5}$ / PM_1 Data from a Trichofamous sampler, *Aerosol Science and Technology*. **25** (1996) 353-357
 7. BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, PP RI No. 41 / 1999, Jakarta, 1999.
 8. ANDERSEN SAMPLER Inc., Operating Manual for Andersen Low Pressure Impactor, Atlanta, 30336, 1982.
 9. BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN, Catatan kursus Pengelolaan Kualitas Udara, Jakarta, 1999.
 10. FERNANDEZ-DIAZ, J.M., RODRIGUEZ-BARANA, M.A., and ARGANZA, B., A Complete Computer Program to Fit the Data from an Impactor to a Sum of Log-Normals, 7th International Aerosol Conference, Minesota, USA, 2006.

DISKUSI

RULIYANTI PARDEWI

1. Kegiatan penggunaan computer sigmaplot dan impactor Data Processing untuk mengetahui konsentrasi partikel udara yang berhubungan dengan pencemaran udara bukan Tusi PTKMR ? tetapi sudah dimanfaatkan di luar BATAN, apakah hasilnya sudah disertifikasi ?
2. Bagaimana melakukan validasinya ?

GATOT SUHARIYONO

1. Sudah terakreditasi di KAN (Komite Akreditasi Nasional)
2. Validasinya dengan alat pengukur diameter partikel digital (light house) dan menurut KAN perlu diuji validasinya tiap 3 bulan sekali.

HARI HADI SANTOSA

1. Metode validasi yang dilakukan dari hasil pengukuran bagaimana ?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan angin dan temperatur lingkungan

GATOT SUHARIYONO

1. Di impactor ini validasi dengan alat pengukur diameter partikel digital (light house) dan menurut KAN perlu diuji tiap 3 bulan sekali.
2. Kecepatan angin dan temperatur sangat berpengaruh pada perhitungan/analisa distribusi diameter partikel udara dan konsentrasinya. Kecepatan angin tinggi, konsentrasi partikel udara bisa kecil atau jika besar, banyak partikel halus karena partikel udara yang terabsorpsi difilter sedikit, sedang diameter partikelnya partikel kecil/halus. Suhu tinggi, konsentrasi partikel udaranya tinggi dan diameter partikel udara merata ke partikel halus dan besar.

FARIDUZZAMAN

1. Kurang mengerti cara kerja cascade impactor, apakah menggunakan menggunakan teknik nuklir
2. Apakah metode ini digunakan pula oleh Kementrian lingkungan hidup untuk polusi udara.

GATOT SUHARIYONO

1. Tidak menggunakan teknik nuklir, tapi alat ini bisa digunakan mengukur diameter partikel udara dan konsentrasi udara yang mengandung radioaktif atau tidak
2. Setahu saya yang punya alat cascade impactor hanya PTKMR-BATAN, jadi metode ini hanya digunakan di laboratorium Aerosol, PTKMR-BATAN untuk ukur polusi udara baik distribusi diameter dan konsentrasinya, sedang metode polusi udara yang dipakai di Mentri Lingkungan Hidup sudah digital tapi hanya untuk diameter partikel tertentu dan penentuan $PM_{10}/PM_{2,5}$ digital saja.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Nama : Ir Gatot Suhariyono
2. Tempat/Tanggal Lahir : Pasuruan, 4 Juli 1967
3. Instansi : PTKMR-BATAN
4. Pekerjaan / Jabatan : PNS/Peneliti Madya
5. Riwayat Pendidikan : S1, Teknik Nuklir 1986 – 1992, UGM
S2, Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
– IPB Bogor
6. Pengalaman Kerja : PNS, PTKMR BATAN (1993 – sekarang)
7. Organisasi Profesional :
8. Publikasi (Makalah) :