

ANALISIS UNSUR DALAM PARTIKEL UDARA DI DAERAH PEMUKIMAN CILEGON MENGGUNAKAN SPEKTROMETRI PENDAR SINAR-X (XRF)

Gatot Suhariyono¹, Syarbaini¹, Yulizon Menry² dan Yurfida¹

1. P3KRBiN- BATAN

2. P3TIR- BATAN

ABSTRAK

ANALISIS UNSUR-UNSUR DALAM PARTIKEL UDARA DI DAERAH PEMUKIMAN CILEGON MENGGUNAKAN SPEKTROMETRI PENDAR SINAR-X (XRF). Analisis unsur-unsur dalam partikel udara PM_{10} (particulate matter berdiameter kurang dari $10 \mu m$) dan $PM_{2.5}$ (berdiameter kurang dari $2,5 \mu m$) di daerah pemukiman Cilegon dengan menggunakan Spektrometri Pendar Sinar-X (XRF) telah dilakukan. Tujuan penelitian ini untuk membantu masyarakat sekitar pabrik di kota Cilegon dengan menyediakan informasi tentang kandungan dan konsentrasi unsur-unsur di dalam partikel udara PM_{10} dan $PM_{2.5}$, serta dibandingkan dengan nilai ambang batas (NAB) di udara (menurut SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997). Penelitian ini dilakukan P3KRBiN-BATAN bekerja sama dengan BAPEDAL, Banten dalam menganalisis unsur-unsur di kecamatan Ciwandan (desa Randakari dan desa Cilodan) dan kecamatan Cilegon (Perumahan Bukit Palm Indah) pada September 2003. Konsentrasi unsur Cu, Fe, Pb, Cr, Mn, Co, dan Sr dari hasil pengukuran melebihi NAB di udara. Sedangkan konsentrasi unsur-unsur Ni, Mo, dan Bi berada di bawah NAB. Konsentrasi unsur Zn di desa Cilodan dan desa Randakari melebihi NAB, sedangkan di Bukit Palm berlaku sebaliknya. Konsentrasi unsur V di desa Randakari melebihi NAB dan di Bukit Palm tidak terdeteksi, sedangkan di desa Cilodan di bawah NAB. Unsur-unsur yang terdeteksi secara kualitatif adalah Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Br, dan Cd, sedangkan unsur yang tidak terdeteksi adalah K dan As.

ABSTRACT

ELEMENTS ANALYSIS OF AIR PARTICULATE IN SETTLEMENT AREA OF CILEGON BY USING X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY (XRF). Elements analysis of PM_{10} air particulate (particulate matter which has diameter less than $10 \mu m$) and $PM_{2.5}$ (the diameter less than $2.5 \mu m$) in settlement areas of Cilegon by using X-ray fluorescence spectrometry (XRF) has been carried out. The aim of this research was to assist society around factory in Cilegon city by providing information about elements content and concentration in air particulate of PM_{10} and $PM_{2.5}$, as well as compared to threshold limit value (TLV) on the air (according to SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997). This research was conducted by P3KRBiN-BATAN cooperate with BAPEDAL, Banten in elements analysis in district of Ciwandan (village of Randakari and Cilodan) and district of Cilegon (housing of Bukit Palm Indah) in September, 2003. Elements concentrations of Cu, Fe, Pb, Cr, Mn, Co, and Sr from the measurement result were exceed TLV on the air. While elements concentrations of Ni, Mo, and Bi were under TLV. Element concentrations of Zn in village of Cilodan and Randakari were exceeding TLV, while the concentration in housing of Bukit Palm was on the contrary. Element concentration of V in village of Randakari was exceeding TLV and the concentration in housing of Bukit Palm was not detected, while the concentration in village of Cilodan was under TLV. Elements which were detected qualitative were Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Br, and Cd, while elements which were not detected were K and As.

PENDAHULUAN

Udara yang bersih adalah udara yang tidak mengandung uap atau gas dari bahan-bahan kimia yang beracun. Di samping itu, udara yang bersih adalah udara yang segar dan nyaman bagi

mahluk hidup, cukup kandungan oksigen, tidak berbau dan tidak berwarna [1]. Menurut Undang-Undang RI No 23 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup, unsur-unsur dalam logam dan non logam termasuk salah satu komponen bahan

beracun dan berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia, serta kelangsungan makhluk hidup lainnya [2]. Beberapa unsur dalam logam dan non logam tersebut antara lain V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Pb, Bi, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, Br, Y, Cd, Ba, dan Zr.

Kota Cilegon termasuk salah satu kota di wilayah propinsi Banten yang secara resmi berdiri pada tanggal 17 oktober 2000 menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2000 tentang pembentukan propinsi Banten. Berdasarkan administrasi pemerintahan, kota Cilegon memiliki luas \pm 17.550 Ha terbagi atas 8 Kecamatan (Cilegon, Cibeber, Ciwandan, Pulomerak, Purwakarta, Jombang, Ciwandan dan Citangkil), 41 Desa dan 2 Kelurahan [3]. Batas kota Cilegon adalah kecamatan Bojonegara, kabupaten Serang (sebelah utara), selat Sunda (sebelah barat), kecamatan Kramatwatu, kabupaten Serang (sebelah timur), kecamatan Anyer dan kecamatan Mancak, kabupaten Serang (sebelah selatan) [4].

Berdasarkan data dari Bappeda Cilegon tahun 2001, luas wilayah kecamatan Ciwandan paling luas (42,64 %) dari empat kecamatan terbesar (Pulomerak (33,32 %), Cilegon (9,99 %), dan Cibeber (14,05 %)) di kota Cilegon [4]. Kota Cilegon banyak dikelilingi industri yang produksinya potensial mencemari lingkungan sekitarnya. Salah satu dampak negatifnya adalah pencemaran partikel udara yang berdiameter kurang dari 10 μ m (PM₁₀ (*particulate matter*)) dan partikel yang berdiameter kurang dari 2,5 μ m (PM_{2,5}) yang dapat berakibat infeksi pada saluran pernafasan atas (ISPA). [5, 6, 7 dan 8]. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis unsur-unsur logam berat dan non logam yang terkandung di dalam partikel udara PM₁₀ dan PM_{2,5}, khususnya di kecamatan Ciwandan (desa Randakari dan desa Cilodan) dan kecamatan Cilegon (Perumahan Bukit Palm Indah) di kota Cilegon. Penelitian ini dilakukan P3KRBiN-BATAN bekerja sama dengan BAPEDAL Banten pada bulan September 2003 dengan tujuan membantu masyarakat sekitar pabrik di kota Cilegon dengan menyediakan informasi tentang keberadaan unsur-unsur logam berat dan non logam di dalam partikel udara PM₁₀ dan PM_{2,5}, secara kuantitatif dan kualitatif dengan spektrometri pendar sinar-x serta membandingkan dengan nilai ambang batas logam berat dan non logam di udara (SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997).

TINJAUAN PUSTAKA

Toksisitas Unsur-Unsur

Pada tubuh manusia, Pb dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan gangguan sistem urinaria, syaraf, reproduksi dan jantung. [9]. Kelebihan unsur Zn akan menyebabkan iritasi pada *gastrointestinal* dan *cyanosis* yang dapat menyebabkan kerusakan kulit. Kandungan Cu berlebih menyebabkan gangguan pada hati, ginjal, jantung, dan otak [1]. Toksisitas Ni dapat menyebabkan dermatitis, tumor ganas paru-paru dan kematian. Toksisitas Cr dapat menyebabkan "borok *chrom*" yang biasanya semakin lama semakin dalam. Toksisitas Fe ditandai sakit perut, diare, atau muntah yang berwarna kecoklatan atau warna darah. Penderita terlihat lemah, gelisah dan sakit perut terjadi pendarahan pada *gastro-intestinal* yang menyebabkan kematian. Debu yang mengandung Mn cukup banyak dapat menyebabkan *insomnia*, nyeri otot, kejang-kejang, sempoyongan apabila jalan, kaku anggota badan, kadang-kadang tertawa atau menangis diluar kesadaran dan impotensi [10, 11, 12]. Toksisitas kalsium (Ca) : pengapuran pembuluh darah, penyakit jantung dan urat darah (*cardiovascular*), penyakit jantung *ischemic* dan *stroke*, tekanan darah tinggi, asam perut rendah, sakit otot / tulang sendi, depresi, kelelahan, *glaucoma*, *osteoporosis*, *osteoarthritis*, terjadi pengerasan kapur, kulit kering, sembelit (*constipation*), peningkatan resiko terhadap ginjal (*hypercalcaemia*), sehingga terjadi radang air kencing [13, 14]. Toksisitas titanium (Ti) : ketidak aktifan organisme jaringan, dan *prosthesis* (sakit gigi) [15]. Toksisitas Vanadium (V) menyebabkan gangguan saluran pernapasan dan juga berakibat pada *cancerogenic* [15]. Kelebihan Cobalt (Co) di lingkungan menyebabkan alergi pada pernapasan (*bronchial asthma*) dan kulit (*dermatitis*) [15]. Keracunan cadmium (Cd) menimbulkan gangguan pernapasan (bisa menjadi emfisema), muntah, pusing, sakit pinggang (kasus *itai-itai* di Jepang, 1965), nefrotoksisitas (toksik ginjal), gangguan kardiovaskuler dan hipertensi [12]. Toksisitas molybdenum (Mo) menyebabkan sindrom berupa nyeri tulang [1]. Toksisitas Arsen (As) menyebabkan pembuluh darah mengalami hemolisis, dan sakit ginjal akut, serta pada anak-anak menurunkan ketajaman pendengaran [16]. Kelebihan Stronsium (Sr) mengakibatkan diare, kebusukan gigi, rakhitis, dan kejang-kejang pada perut [17]. Toksisitas Bi menyebabkan jalan sempoyongan, daya ingat rendah, suara terjadi getaran, serta gangguan pendengaran dan

pandangan.[18]. Toksisitas Kalium (K) adalah denyut jantung tidak teratur, tekanan darah rendah, penyakit ginjal, infeksi pada kencing, penyebab berbagai kanker, siklus menstruasi tidak lancar, kejang otot (kram), bisul, sakit punggung, memperlemah sistem kekebalan, impotensi, sulit tidur (*insomnia*), dan sifat lekas marah [19].

Partikel udara yang mengandung unsur non logam berat (Si, P, S, Cl, dan Br) masing-masing menimbulkan efek toksisitas yang berbeda-beda. Silikosis adalah penyakit yang disebabkan oleh debu silika bebas (SiO_2) terutama dominan mengandung unsur Si yang terhirup waktu bernafas dan tertimbun di paru-paru [10, 20, 21, 22]. Gejala tingkat pertama berupa sesak napas ketika bekerja, batuk kering, dan tidak berdehak. Tingkat kedua, batuk dan sesak makin berat sehingga mengganggu untuk bekerja. Tingkat ketiga, sesak mengakibatkan cacat total dan mengakibatkan kegagalan jantung. Tidak satupun obat khusus untuk silikosis. Toksisitas phosphor (P) yang dikuatirkan adalah osteoporosis, radang sendi, encok, masalah gigi (gigi lepas, gigi busuk), letusan kulit, resiko terkena kanker lebih tinggi, dan batu ginjal [23]. Phosphor putih sangat beracun, sedang P merah tidak beracun. Toksisitas sulphur (S) : radang usus yang kronik, penurunan syaraf, sakit asma, dan peradangan vaskuler (pembuluh darah), rambut jadi merah, iritasi kulit, dan muka seperti terbakar [24, 25]. Keberadaan klor (Cl) dan bromium (Br) yang berlebih di lingkungan dapat mempercepat pemecahan ozon lebih besar, sehingga suhu udara menjadi lebih tinggi [12].

Hubungan antara intensitas pendar sinar-x dengan konsentrasi unsur dalam contoh dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$I_i = S_i \cdot C_i \cdot T_i (c_1, c_2, \dots, c_n) \cdot H_i (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

I_i adalah intensitas unsur i dalam contoh (cacah/det), S_i : sensitifitas spektrometer untuk unsur i (cacah/det)/(g/cm²), C_i : konsentrasi unsur i , sedangkan T_i dan H_i adalah faktor *self-absorption* dan *enhancement*. Pada kondisi contoh dalam bentuk tipis (ketebalan < 1 mm), besaran kedua faktor T_i dan H_i adalah konstan dan dianggap sama dengan 1, sehingga persamaan diatas menjadi:

$$I_i = S_i \cdot C_i \cdot (\rho d)_i$$

ρd adalah densitas permukaan contoh (g/cm²), ρ : densitas (g/cm³) dan d : tebal (cm).

Berdasarkan rumus diatas, hubungan intensitas dan konsentrasi suatu unsur menjadi linear, nilai

slope pada kurva kalibrasi dan nilai sensitifitas menjadi tidak tergantung kepada matrik contoh, sehingga proses kuantifikasi dapat dilakukan dengan metode perbandingan langsung. Sebagai standar digunakan *internal standar* yang ditambahkan ke dalam contoh. Nilai sensitifitas masing-masing unsur pada setiap contoh adalah konstan [26].

BAHAN DAN METODE

Bahan

Filter *paper Whatman 41 Ashless England* dan filter *mylar* buatan Taiyo berdiameter 8,1 cm, kertas label, wadah *compact disk* (CD) untuk wadah filter, HNO_3 , NH_4OH , larutan APDC 1%, kertas saring *millipore* diameter 2,2 cm dengan diameter pori-pori 0,4 μm , larutan standar yang mengandung unsur-unsur yaitu V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Pb, Bi dengan konsentrasi masing-masing 10 ppm. Pelat logam murni seperti Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, W, Pt dan Pb untuk kalibrasi spektrometri pendar sinar-x. *Standard Internal Se* dengan konsentrasi 10 ppm. Plastik *mylar* untuk penutup sampel dalam filter, nitrogen cair untuk pendingin detektor, air demineralisasi, sumber pengekstasi spektrometri pendar sinar-x : ⁵⁵Fe dan ²⁴¹Am.

Alat

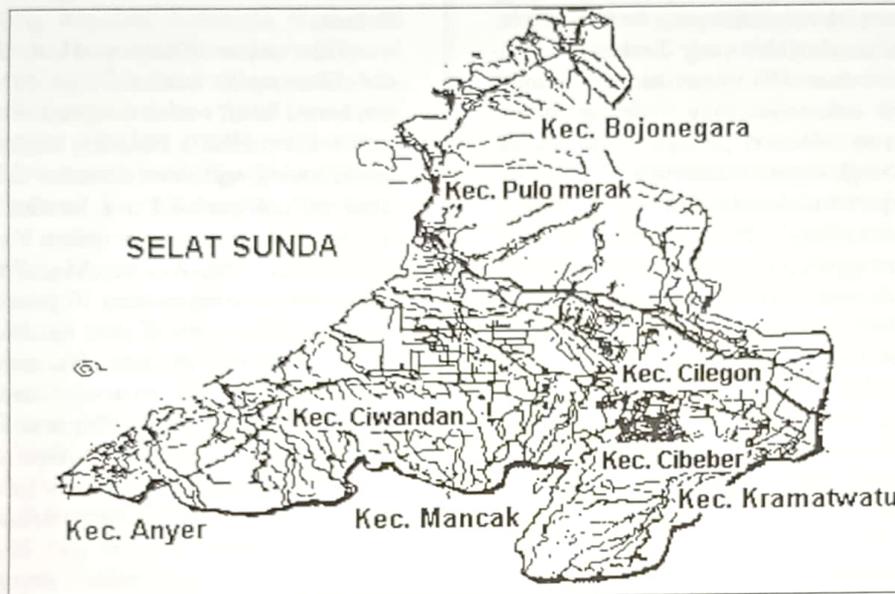
Cascade impactor 9 tingkat dengan diameter pori mulai dari di bawah 0,4 μm sampai 9,0 μm , buatan Andersen-USA, tripot, pompa isap vakum SIBATA, buatan Hitachi Ltd., serta *flowmeter*, generator listrik (*genset*) 2500 watt, buatan Honda, dan perangkat Spektrometri Pendar Sinar-X (XRF), buatan Ortec USA model 659.

Tata Kerja

Penelitian ini dilakukan P3KRBiN-BATAN bekerja sama dengan BAPEDAL Banten di kecamatan Ciwandan (Kampung Serang Hilir, di desa Randakari dan Kampung Gunung Sugih, desa Cilodan) dan kecamatan Cilegon (Perumahan Bukit Palm Indah) di kota Cilegon pada bulan September 2003 (Gambar 1.). Pengambilan sampel dilakukan selama sekitar 180 menit tiap pencuplikan dengan menggunakan alat *cascade impactor* yang dihubungkan dengan pompa vakum dengan laju alir 28,3 liter per menit. *Cascade impactor* terdiri dari 9 tingkat yang tiap tingkatnya berbeda ukuran diameternya dimulai dari di bawah 0,4 sampai 10 μm . Penentuan kandungan dan

konsentrasi logam berat di dalam partikel udara dilakukan dengan mengukur sampel pada filter *whatman* dan filter *mylar* yang terdeposisi di alat *cascade impactor* dengan menggunakan alat Spektrometer Pendar Sinar-X. Contoh debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang ada di filter didestruksi, diatur pH larutan sebesar 2, tambahkan 10 ppm Se sebagai internal standar, kemudian tambahkan 5 ml larutan 2 % APDC, aduk larutan selama

30 menit dengan *magnetik stirrer*, saring endapan yang terbentuk dengan filter millipore. Filter yang berisi endapan kemudian dicacah dengan spektrometer XRF menggunakan sumber ^{241}Am dan ^{55}Fe . Data spektrum dianalisis menggunakan paket program AXIL (*Analysis of X-Ray Spectra by Iterative Least-squares fitting*). Preparasi standar dan blanko dilakukan dengan cara yang sama.



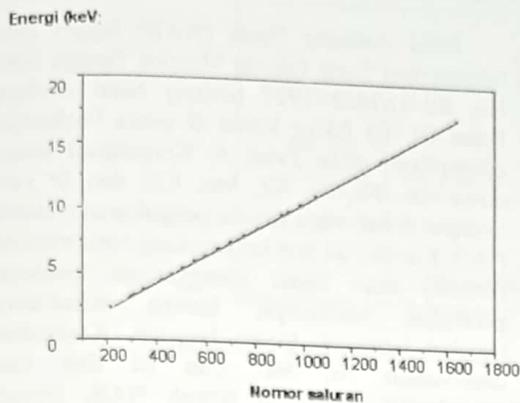
Gambar 1. Peta wilayah kota Cilegon [4]

HASIL DAN PEMBAHASAN

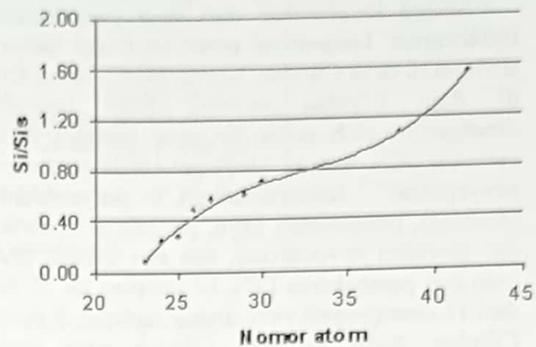
Kalibrasi energi dapat dilihat pada Gambar 2. Dari hasil resolusi detektor Si(Li) spektrometer pendar sinar-x diperoleh FWHM sebesar 199,48 keV pada energi 5,9 keV ($\text{Mn-K}\alpha$). Nilai ini cukup memenuhi syarat untuk pelaksanaan pencacahan dalam penelitian ini. Hasil pengukuran sensitifitas sistem menggunakan sumber pengekstiasi ^{241}Am yaitu plot antara sensitifitas (*Si/Sis*) dengan nomor atom unsur dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa makin besar nomor atom, makin tinggi sensitifitasnya. Hal ini menunjukkan bahwa unsur dengan nomor atom yang mendekati nomor atom sumber pengekstiasi mempunyai sensitifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan unsur dengan nomor atom yang menjauhi nomor atom sumber pengekstiasi.

Kandungan dan konsentrasi unsur-unsur yang dikandung partikel udara ditampilkan pada Tabel 1 (kuantitatif) dan Tabel 2 (kualitatif).

Hasil pengukuran kandungan unsur-unsur di kota Cilegon dengan XRF terdeteksi 12 unsur yaitu V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Pb, Bi secara kuantitatif. Sedangkan hasil pengukuran unsur-unsur secara kualitatif yang terdeteksi adalah Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Br, Cd dan unsur yang tidak terdeteksi adalah K dan As. Unsur-unsur logam Fe, Ni, Zn, dan Co terdapat di tiga tempat pengukuran yaitu di desa Randakari, desa Cilodan dan Perumahan Bukit Palm Indah. Dari ke empat unsur tersebut, konsentrasi unsur Fe dan Zn tertinggi terdapat di desa Randakari. Hal ini membuktikan bahwa di desa Randakari telah tercemar unsur Fe dan Zn dari pabrik baja, mengingat arah angin menuju ke barat (Tabel 3). Sedangkan di sekitar perumahan Bukit Palm lebih banyak dikelilingi pegunungan, sehingga konsentrasi unsur-unsur Fe dan Zn di tempat tersebut kecil. Unsur Pb tertinggi terdapat di perumahan Bukit Palm, kemungkinan karena lokasi pengukuran tersebut dekat dengan pinggir jalan.



Gambar 2. Kalibrasi Energi Spektrometri Pendar Sinar-x



Gambar 3. Sensitifitas dengan sumber pegeksitasi ²⁴¹Am

Tabel 1.

Unsur	Konsentrasi (ppm)		
	Desa Cilodan	Desa Randakari	Bukit Palm
V	0,10	1,12	ttd
Cr	55,71	ttd	ttd
Mn	ttd	1,65	ttd
Fe	7,29	9,15	3,20
Co	0,61	1,21	1,82
Ni	0,02	0,27	0,18
Cu	0,75	ttd	ttd
Zn	7,42	24,92	0,13
Sr	0,10	ttd	ttd
Mo	ttd	ttd	0,92
Pb	1,67	ttd	2,16
Bi	1,11	ttd	ttd

Tabel 2.

Unsur	Konsentrasi (ppm)		
	Desa Cilodan	Desa Randakari	Bukit Palm
Si	x	x	x
P	ttd	ttd	x
S	x	x	x
Cl	ttd	x	x
K	ttd	ttd	ttd
Ca	x	ttd	x
As	ttd	ttd	ttd
Ti	x	ttd	ttd
Br	ttd	x	x
Cd	ttd	x	ttd

Keterangan : ttd = tidak terdeteksi, x = terdeteksi

Tabel 3. Data cuaca rata-rata dan batas lokasi pengukuran konsentrasi partikel udara

No	Lokasi	Suhu (°C)	RH (%)	Tekanan (mmHg)	Arah Angiu.	Lama cuplik (menit)	Kecepatan Angin (m/s)	Batas Lokasi
1.	Kampung G. Sugih Desa Cilodan, Kecamatan Ciwandan	34,6 sampai 36,3	28 sampai 30	767 sampai 1022	Ke Timur	160	1,62 sampai 2,05	Utara: Laut Selatan: Perkampungan Barat: Pabrik kayu Timur: Pabrik kimia
2.	Kampung Serang Hilir Desa Randakari Kecamatan Ciwandan	33,6 sampai 34,9	40 sampai 48	766 sampai 1021	Ke Barat	180	1,17 sampai 2,38	Utara: Pabrik gula dan Laut Selatan: Perkampungan Barat: Pabrik kimia Timur: Pabrik baja
3.	Perumahan Bukit Palm Indah Cilegon	32,2 sampai 34,6	35 sampai 55	765 sampai 767	Ke Utara	180	1,62 sampai 2,05	Utara: Kawasan industri Selatan: Laut ke Merak Barat: Laut ke Anyer Timur: Kawasan industri

Secara keseluruhan dari hasil pengukuran unsur-unsur, konsentrasi unsur Cr tinggi hanya terdapat di desa Cilodan. Kemungkinan unsur Cr di desa Cilodan tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh unsur Cr yang terdapat dari industri. Cr banyak terdapat pada industri penyepuhan (*electroplating*), penyamakan (*tanning*), pengawetan kayu, pengelasan, pabrik cat, produksi *ferrochrome*, dan abu terbang (*fly ash*) dari pembakaran [27]. Di samping itu 75 % dari 14 unsur logam yang diukur terdapat di desa Cilodan. Suhu di desa Cilodan pada saat pengukuran lebih tinggi daripada suhu di desa Randakari dan Perumahan Bukit Palm. Semakin tinggi suhu udara, maka semakin rendah kelembaban udaranya, juga semakin banyak partikel udara yang beterbangan. Oleh karena itu, unsur-unsur di dalam partikel udara di desa Cilodan semakin banyak yang terdeteksi dibandingkan dua desa lainnya.

Kandungan unsur-unsur non logam (Si, S, P, Cl, dan Br) yang dikandung partikel udara terdeteksi secara kualitatif dan konsentrasinya sangat kecil. Kandungan unsur-unsur Si dan S di dalam partikel udara terdapat di semua tempat pengukuran. Di perumahan Bukit Palm terdapat semua unsur non logam yang diukur (Si, S, P, Cl, dan Br), walaupun konsentrasinya sangat kecil. Hal ini berarti ada kontribusi unsur-unsur tersebut dari kawasan industri di sekitarnya ke perumahan Bukit Palm. Akan tetapi lokasi perumahan tersebut diapit oleh laut yang terletak di selatan dan barat perumahan, juga berada di daerah pegunungan, sehingga konsentrasi unsur-unsur tersebut sangat kecil.

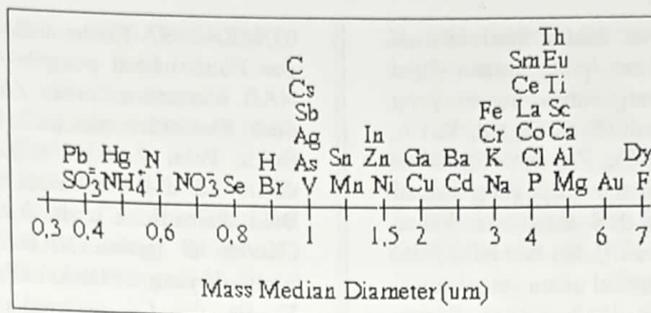
Nilai Ambang Batas (NAB) logam berat berdasarkan Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) faktor kimia di udara lingkungan ditampilkan pada Tabel 4. Konsentrasi unsur-unsur Cu, Fe, Pb, Cr, Mn, Co, dan Sr yang terdapat di beberapa tempat pengukuran melebihi NAB. Kondisi ini bila berlangsung terus menerus (kronik) akan dapat mengganggu kesehatan penduduk sekitarnya, karena unsur-unsur tersebut termasuk logam beracun. Konsentrasi unsur-unsur Ni, Mo, dan Bi dari hasil pengukuran berada di bawah NAB. Dengan demikian pencemaran di daerah sekitar pengukuran terhadap unsur-unsur tersebut tidak berbahaya. Konsentrasi unsur Zn di desa Cilodan dan desa Randakari melebihi NAB, sedangkan di Bukit Palm berlaku sebaliknya. Konsentrasi unsur V di desa Randakari melebihi NAB dan di Bukit Palm tidak terdeteksi, sedangkan di desa Cilodan di bawah NAB.

Unsur-unsur yang muncul dari hasil pengukuran mempunyai *mass median diameter* (MMD) minimal 0,4 sampai 5 μm (Gambar 4) [12]. Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut dapat masuk ke saluran pernafasan bawah mulai dari pharynx, larynx sampai ke daerah alveolar interstitial (Gambar 5). Unsur yang perlu diperhatikan adalah unsur Pb yang mempunyai MMD sebesar 0,4 μm dan dari hasil penelitian ini diperoleh konsentrasi yang melebihi NAB. Unsur Pb dapat masuk ke saluran alveolus di paru manusia, sehingga berbahaya bagi penduduk di sekitarnya. Unsur Pb terdapat di desa Cilodan dan di Bukit Palm Indah.

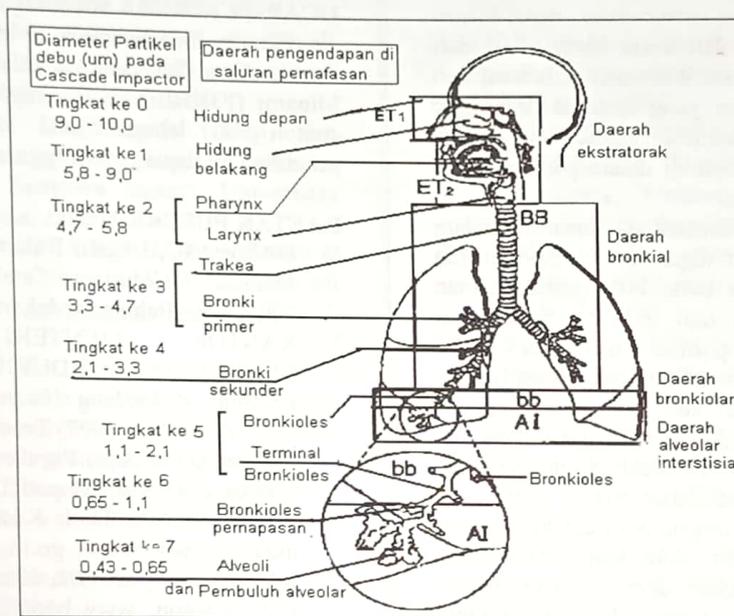
Tabel 4. Nilai Ambang Batas (NAB) unsur-unsur

Unsur	Berat Atom	NAB Konsentrasi		Unsur	Berat Atom	NAB Konsentrasi	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
Si	28	10.000	8,7500	Ni	58	1.000	0,4224
P	31	100	0,0790	Co	59	100	0,0415
S	32	5.200	3,9813	Cu	63	1.000	0,3889
Cl	35,5	3.000	2,0704	Zn	64	10.000	3,8281
K	39	100	0,0628	As	75	10	0,0032
Ca	40	2.000	1,2250	Br	80	700	0,2144
Ti	48	10.000	5,1042	Sr	88	0,5000	0,0001
V	51	500	0,2402	Mo	96	15.000	3,8281
Cr	52	500	0,2356	Cd	112	300	0,0656
Mn	55	200	0,0891	Pb	208	50	0,0059
Fe	56	1.000	0,4375	Bi	209	10.000	1,1722

Sumber : Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997



Gambar 4. Ukuran mass median diameter dari beberapa senyawa (µm) [12]



Gambar 5. Daerah deposisi partikel udara pada saluran pernafasan [28]

Unsur Ca, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Sr, dan Sn adalah unsur-unsur yang berasal dari proses abrasi tanah yang terbawa debu terbang ke udara [29]. Sedangkan menurut Kandungan logam berat dalam tanah secara alami dengan kisaran non pencemaran antara lain As (5 sampai 3.000 ppm, rerata 100 ppm), Co (1 sampai 40 ppm, rerata 8 ppm), Cu (2 sampai 300 ppm, rerata 20 ppm), Pb (2 sampai 200 ppm, rerata 10 ppm), Zn (10 sampai 300 ppm, rerata 50 ppm), Cd (0,05 sampai 0,7 ppm, rerata 0,06 ppm) dan Hg (0,01 sampai 0,3 ppm, rerata 0,03 ppm) [1]. Hara-hara makro di dalam tanah adalah unsur-unsur C, H, O, Ni, P, K, Ca, Mg dan S, sedangkan hara-hara mikro di dalam tanah adalah unsur-unsur B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, V dan Zn [30]. Dengan demikian hasil analisis kandungan unsur-unsur di dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dari tanah di kota Cilegon adalah P, S, Cl, Cd, V, Co, Mo, Ca, Mn, Fe, Ni, Sr, Cu, Zn, dan Pb. Sebagian unsur-

unsur dalam tanah tersebut terdapat juga dalam partikel debu di pinggir jalan yaitu Si (20,26 ppm), S (11,17 ppm), K (62,81 ppm), Ca (143,10 ppm), Ti (9,37 ppm), Cr (78,74 ppm), Mn (1,16 ppm), Fe (402,72 ppm), Ni (4,28 ppm), Cu (4,1 ppm), Zn (8,12 ppm), dan Pb (6,66 ppm) [31].

Kandungan unsur-unsur dari bahan bakar minyak mentah (untuk pabrik, kendaraan, pembangkit tenaga listrik, dan lain-lain) adalah As, Cd, Pb dan Hg [1]. Konsentrasi unsur-unsur tersebut antara lain Pb (0,001 sampai 0,31 ppm), As (0,0024 sampai 1,63 ppm), Cd (0,03 sampai 2,1 ppm) dan Hg (0,014 sampai 30 ppm). Pencemar dari bahan bakar bensin dan solar adalah CO, NO_x (NO, NO₂), SO₂, TSP, dan Pb [5]. Unsur Pb dari bahan bakar tersebut terdapat di dalam kandungan logam berat di pinggir jalan dengan konsentrasi Pb di pinggir jalan lebih tinggi daripada konsentrasi Pb pada bahan bakar [31].

Kandungan unsur di dalam hasil analisis partikel udara di lokasi pengukuran dapat disimpulkan mengandung unsur-unsur yang terdapat dalam debu tanah (P, S, Cl, Cd, V, Co, Mo, Ca, Mn, Fe, Ni, Sr, Cu, Zn, dan Pb), bahan bakar (Cd, dan Pb) dan unsur-unsur yang berasal dari unsur-unsur selain dari tanah dan bahan bakar (mungkin dari industri, dan lain lain) yaitu Si, Br, Cr, Bi, dan Ti. Partikel udara yang berasal dari industri tidak tertutup kemungkinan unsur-unsur tersebut terdapat dalam unsur-unsur dalam tanah dan bahan bakar. Akan tetapi untuk memudahkan analisis unsur-unsur, maka unsur-unsur yang berasal dari unsur-unsur selain dari tanah dan bahan bakar diasumsikan berasal dari industri. Unsur-unsur yang terdapat di pinggir jalan dijadikan kontrol untuk mendeteksi kandungan unsur-unsur di dalam partikel udara di lokasi pengukuran.

Hasil analisis konsentrasi unsur di dalam partikel udara dapat digunakan memperkirakan partikel udara yang berasal dari tanah, bahan bakar minyak atau dari industri. Konsentrasi unsur di dalam partikel udara di lokasi pengukuran yang melebihi konsentrasi unsur-unsur di pinggir jalan, kemungkinan berasal dari partikel udara tanah dan industri. Sebaliknya bila lebih rendah dari konsentrasi di pinggir jalan kemungkinan berasal dari salah satu jenis industri atau tanah, tergantung pada konsentrasi unsur dalam industri. Bila konsentrasi unsur tersebut lebih rendah dari rata-rata dalam industri, berarti unsur tersebut berasal dari debu tanah, dan bila sebaliknya berasal dari industri. Terkecuali unsur-unsur Si, Br, Cr, Bi, dan Ti hanya berasal dari industri. Unsur Pb bisa berasal dari partikel udara di industri, debu tanah dan bahan bakar. Bila konsentrasi unsur Pb di lokasi pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan unsur Pb di pinggir jalan, maka unsur Pb tersebut berasal dari bahan bakar (mengingat konsentrasi Pb kecil menurut Darmono, 1995). Bila lebih tinggi, maka unsur Pb di lokasi pengukuran tersebut bisa berasal dari industri atau debu tanah, tergantung konsentrasi unsur Pb dalam industri. Bila konsentrasi unsur Pb tersebut lebih rendah dari rata-rata dalam industri, berarti unsur Pb di rumah tersebut berasal dari debu tanah, dan bila sebaliknya berasal dari industri.

KESIMPULAN

Konsentrasi unsur Cu, Fe, Pb, Cr, Mn, Co, dan Sr yang terdapat di beberapa tempat pengukuran melebihi nilai ambang batas (NAB) udara menurut SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-

01/MEN/1997. Konsentrasi unsur-unsur Ni, Mo, dan Bi dari hasil pengukuran berada di bawah NAB. Konsentrasi unsur Zn di desa Cilodan dan desa Randakari melebihi NAB, sedangkan di Bukit Palm berlaku sebaliknya. Konsentrasi unsur V di desa Randakari melebihi NAB dan di Bukit Palm tidak terdeteksi, sedangkan di desa Cilodan di bawah NAB. Unsur-unsur secara kualitatif yang terdeteksi adalah Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Br, dan Cd, sedangkan unsur yang tidak terdeteksi adalah K dan As.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Asep Setiawan, Saudari Leli dan Bu Minarni (P3KRBiN) yang membantu preparasi contoh di laboratorium kimia, sehingga penelitian ini dapat terselenggara dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. DARMONO, Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup, Cetakan Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta, 1995.
2. KANTOR MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP / BAPEDAL, Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 23 tahun 1997, Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup/ Bapedal, 1997.
3. BAPPEDA BANTEN, Kota Cilegon, kota industri, www.banten.go.id, 2002.
4. BAPPEDA CILEGON, Kondisi Demografi Kota Cilegon, www.bappeda-cilegon.go.id, 2001.
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. BUNAWAS, RUSLANTO, O.P., SURTIPANTI dan YUMIARTI, Partikel debu anorganik: Komposisi, diameter, pengendapan di saluran pernafasan dan efek terhadap kesehatan., Prosiding Seminar Nasional Kimia Anorganik, Hotel Garuda, Yogyakarta, 1999.
7. LUNDGREN, D.A., HLAING, D.N., RICH, T.A, and MARPLE, V.A., PM₁₀ / PM_{2.5} / PM₁ Data from a Trichofamous sampler, Aerosol Science and Technology. 25: 353-357, 1996.

8. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Acut Respiratory Infection in Children Case Management in Small Hospital in Developing Countries, Ditjen PPM & PLP, Depkes RI, Jakarta, 1992.
9. FRIBERG, L., KJELLSTROM, T., AND NORDBERG, G., Pb, Zn, Cu, Hg. In Handbook on the Toxicology of Metal, Elsevier / North Holland Biomedical Press (1979)
10. SUMA'MUR, P.K., Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja, cetakan ke 4, Penerbit PT Gunung Agung, Jakarta, 105-150, 1984.
11. SOEDOMO, M., Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 1999.
12. DARMONO, Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa logam), Universitas Indonesia Press, Jakarta, 2001.
13. RONALD ROTH, DRI/RDA for Calcium & Magnesium + Vitamin A D K, Acu-Cell Nutrition, www.acu-cell.com/acn2.html, 2004.
14. ANONYMOUS, Metal in nutrition : Calcium - metals in health and disease, www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session2/group29/index.htm, 2003..
15. ANONYMOUS, about trace elements : Titanium Zinc Vanadium. Center For Biotic Medicine, www.microelementsru/english/21-23en.shtml, 2003.
16. ANONYMOUS, about trace elements : aluminum, arsenic, berillium, calcium, cadmium, Center For Biotic Medicine, [<http://www.microelements.ru/english/01-05en.shtml>], 2003.
17. RONALD ROTH, Strontium, Acu-Cell Nutrition, <http://www.acu-cell.com/sr.html>, 2004.
18. Dunne, L.J. Nutrition Almanac, 3rd ed. McGraw-Hill Publishing Company, 1990: pp.64-92.
19. RONALD ROTH, Zinc, Potassium, Acu-Cell Nutrition, <http://www.acu-cell.com/znk.html>, 2004.
20. SINTORINI, M.M., Hubungan antara Kadar Partikulat Melayang (PM₁₀) Udara Ambien dengan Kejadian Gejala Penyakit Saluran Pernapasan (Studi pada Pabrik Semen-X dan Penduduk Sekitarnya di Cileungsi, Bogor), Program Pascasarjana, Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Jakarta, 34 – 36, 1998.
21. HENDROMARTONO, S., Gangguan Saluran Napas Kecil Akibat Pengaruh Debu Semen, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya, 1995.
22. RONALD ROTH, Germanium Silicon/Silica, Acu-Cell Nutrition, www.acu-cell.com/gesi.html, 2003.
23. RONALD ROTH, Sodium Phosphorus, Acu-Cell Nutrition, www.acu-cell.com/pna.html, 2003.
24. RONALD ROTH, Selenium Sulfur, Acu-Cell Nutrition, www.acu-cell.com/ses.html, 2003.
25. MARCIA, B. K., Foods that Heal, Sulphur, sci. med. nutrition, bulmj@harrier.sasknet.sk.ca, 1996.
26. RENE E. VAN GRIEKEN, ANDRZEJ A. MARKOWICZ, Handbook of X-Ray Spectrometry, Method and Techniques, Marcel Dekker, New York, 1992.
27. MASSARO, E.J., Handbook of Human Toxicology, CRC press, Boca Raton, New York, p 129, 1997.
28. INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG, Kursus Monitoring Kualitas Udara Lingkungan Pabrik Semen, Tim Kualitas Udara Jurusan Teknik Lingkungan ITB, Gedung PUSDIKLAT Institut Semen dan Beton Indonesia, Gunung Putri, Bogor, 2000.
29. HARDJOWIGENO, SARWONO, Ilmu Tanah, PT Mediyatama Sarena Perkasa, Jakarta, 1989.
30. SAENI, M.S., Zat-zat Pencemar Udara, Bahan Pengajaran Kimia Lingkungan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat, Institut Pertanian Bogor, 131-133, 1989.
31. SUHAKIYONO, G. dan MENRY, Y., Analisis Logam Berat Dalam Debu Udara Daerah Pemukiman Penduduk Di Sekitar Pabrik Semen, Citeureup Bogor, Seminar Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA), Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR), BATAN, Jakarta, 2003.

TANYA JAWAB

Siti Darwati

- Metode penelitian dapat dilakukan dalam waktu berapa lama?
- Bagaimana teknik pengambilan sampel?
- Seberapa besar nilai keterpercayaan XRF pada penelitian ini?

- Apa yang dimaksud bercak krom?
- Bagaimana tindak lanjut hasil penelitian ini?

Gatot Suhariyono

- Dua hari: 1 hari preparasi laboratorium dan 1 hari selama 1 jam pengukuran dengan XRF.

- Dicuplik dengan alat cascade impagcor selama kurang lebih 3 jam di tempat pencuplikan.
- Kurang lebih 95%.
- Bercak (luka) yang disebabkan karena unsur krom (Cr) menyerang kulit sehingga gatal-gatal yang susah sembuhnya.
- Dilaporkan ke BAPEDAL Cilegon untuk ditindaklanjuti.