

ANALISIS LOGAM BERAT DALAM DEBU UDARA DAERAH PEMUKIMAN PENDUDUK DI SEKITAR PABRIK SEMEN CITEUREUP BOGOR

Gatot Suhariyono* dan Yulizon Menry**

* Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir, BATAN, Jakarta

** Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

ABSTRAK

ANALISIS LOGAM BERAT DALAM DEBU UDARA DAERAH PEMUKIMAN PENDUDUK DI SEKITAR PABRIK SEMEN CITEUREUP BOGOR. Telah dilakukan analisis logam berat daerah pemukiman penduduk akibat polusi debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di sekitar pabrik semen, Citeureup Bogor dengan menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X (XRF). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan dan konsentrasi logam berat (Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe dan Mn) di dalam debu PM_{10} (di luar rumah) dan $PM_{2,5}$ (di dalam rumah) sekitar pabrik semen Citeureup - Bogor untuk dibandingkan dengan nilai ambang batas kandungan logam berat di udara (SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997). Pengambilan debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dilakukan pada jarak 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 m dengan titik pusat di Plant satu pabrik semen di Citeureup - Bogor yaitu arah utara (di rumah-rumah Perumahan Gunung Putri, desa Gunung Putri, desa Kranggan, dan desa Bojong Nangka), arah selatan (desa Tarikolot dan desa Pasir Mukti), arah barat (*guest house*, desa Puspanegara, desa Puspasari, dan desa Citatah), dan arah barat laut (desa Puspanegara, desa Gunung Putri, desa Puspasari, dan desa Kranggan). Sebagian besar hasil konsentrasi logam berat dari partikel debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di rumah-rumah sekitar pabrik semen lebih besar daripada nilai ambang batas logam berat di udara.

ABSTRACT

HEAVY METAL ANALYSIS IN AIR PARTICULATE OF SOME HOUSING AREA AROUND THE CEMENT FACTORY CITEUREUP BOGOR. The analysis of heavy metal element in air particulate dust of PM_{10} and $PM_{2,5}$ of a housing area around the cement factory has been carried out. The aim of this investigation was to monitor the heavy metals (Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe and Mn) pollution content in air particulate of PM_{10} and $PM_{2,5}$ compared to the Government regulation. The air particulate dust of PM_{10} and $PM_{2,5}$ was taken in from four directions 500, 1000, 1500, 2000, 2500, and 3000 m from the center point (Plant one of the cement factory). The area at the north are Gunung Putri, Kranggan, Bojong Nangka villages, and Gunung Putri housing, at the south area are Tarikolot and Pasir Mukti villages, at the west area are guest house, Puspanegara, Puspasari, and Citatah villages, and at the northwest area are Puspanegara, Gunung Putri, Puspasari, and Kranggan villages. The result of heavy metal analysis in air particulate of PM_{10} and $PM_{2,5}$ in some housing area around the cement factory are greater than that of the Government regulation.

PENDAHULUAN

Pencemaran udara dapat diketahui dengan adanya perubahan fisik dan kimia udara. Salah satu parameter kimia adalah logam berat yang diperkirakan berasal dari cerobong industri dan proses produksi yang terdapat disekitarnya. Menurut Undang-Undang RI No 23 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, logam berat termasuk salah satu komponen bahan beracun dan berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia serta kelangsungan makhluk hidup lainnya [1]. Beberapa logam berat tersebut adalah Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe dan Mn.

Pada tubuh manusia, Pb dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan gangguan sistem urinaria, syaraf, reproduksi dan jantung. Unsur

Hg dalam tubuh dapat menyebabkan keracunan berupa pusing, mual, muntah dan sakit perut [2]. 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 [3]. 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 di luar kesadaran dan impotensi [4, 5, 6].

Pabrik semen di Citeureup – Bogor dikelilingi oleh penduduk yang sangat padat yakni 154.280 orang dengan luas 165,81 km² dan juga terdapat fasilitas umum seperti perkantoran dan pasar [7]. Aktivitas produksinya potensial mencemari lingkungan sekitarnya. Salah satu dampak negatifnya adalah pencemaran debu udara yang berdiameter kurang dari 10 µm di luar rumah (PM₁₀ (*particulate matter*)) dan yang kurang dari 2,5 µm di dalam rumah (PM_{2,5}) yang dapat berakibat infeksi pada saluran pernafasan atas (ISPA). [8, 9, 10 dan 11]. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis logam berat yang terkandung di dalam debu PM₁₀ dan PM_{2,5}, khususnya di rumah-rumah penduduk sekitar pabrik semen di Citeureup. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan membantu masyarakat sekitar pabrik semen Citeureup - Bogor dengan menyediakan informasi tentang kandungan dan konsentrasi logam berat (Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe dan Mn) di dalam debu PM₁₀ di luar rumah dan PM_{2,5} di dalam rumah dibandingkan dengan nilai ambang batas logam berat di udara (SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997).

Pengukuran debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan berdasarkan SK Menteri KLH No. 2/ Men KLH/1988 yang diukur pada radius berbeda-beda. Pengukuran debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan di rumah-rumah dengan empat arah mata angin dan pada jarak 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 m dengan titik pusat di Plant satu pabrik semen di Citeureup – Bogor. Arah utara (di rumah-rumah Perumahan Gunung Putri, desa Gunung Putri, desa Kranggan, dan desa Bojong Nangka), arah selatan (desa Tarikolot dan desa Pasir Mukti), arah barat (*guest house*, desa Puspanegara, desa Puspasari, dan desa Citatah), dan arah barat laut (desa Puspanegara, desa Gunung Putri, desa Puspasari, dan desa Kranggan). Pengukuran arah barat laut dilakukan tanpa jarak 3000 m, karena pada jarak tersebut tidak ada rumah penduduk.

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, HNO₃, NH₄OH, larutan APDC 1%, kertas saring *millipore* diameter 2,2 cm dengan diameter pori-pori 0,4 µm, larutan standar yang mengandung unsur-unsur yaitu Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe dan Mn dengan konsentrasi masing-masing 10 ppm per ml. *Standard Internal Co* sebanyak 20,03 ppm per 101 µl dan Br sebanyak 19,95 ppm per 148 µl. Bahan baku

semen berupa *clay* (tanah liat), semen, pasir sili-ka, *gypsum* masing-masing 0,05 g, serta pasir besi dan *limestone* (batu kapur) masing-masing 0,025 g. Plastik *mylar* untuk penutup sampel dalam filter, nitrogen cair untuk pendingin detektor, air demineralisasi, sumber pengekstasi untuk alat XRF : 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. beserta *flow-meter*, generator listrik (*jenset*) 2500 watt buatan Honda, dan perangkat Spektrometri Pendar Sinar-X (XRF) buatan Ortec USA model 659.

Tata kerja. Penentuan kandungan dan konsentrasi logam berat di dalam debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan dengan mengukur contoh pada filter Whatman dan filter *mylar* yang ada di *cascade impactor* dengan menggunakan alat Spektrometer Pendar Sinar-X. Contoh debu PM₁₀ dan PM_{2,5} yang ada di filter didestruksi secara kimia sebelum diukur dengan alat XRF. Pengukuran juga dilakukan terhadap bahan baku semen. Preparasi standar, blanko, bahan baku semen dan contoh dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Preparasi standar.

Ke dalam *beaker* ukur yang berisi larutan standar yang mengandung unsur-unsur Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe dan Mn ditepatkan volumenya menjadi 50 ml. Larutan *standard internal* terdiri dari unsur Co dan unsur Br ditambahkan ke dalam *beaker* gelas. pH larutan dijadikan 3,5 – 4 dengan menambahkan larutan HNO₃ atau NH₄OH. Larutan APDC 1% (sebagai pengomplek) kemudian ditambahkan sebanyak 10 ml. Larutan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Endapan yang terbentuk disaring dengan menggunakan kertas saring *millipore*. Endapan pada kertas saring *millipore* dibentuk seperti lingkaran berdiameter 2,2 cm. Kemudian endapan ditutup dengan plastik *mylar*. Untuk mencegah kontaminasi, endapan disimpan di dalam desikator sebelum dicacah. Sebagai cacah latar (*background*), air demineralisasi 50 ml dimasukkan ke beaker gelas 50 ml, selanjutnya diperlakukan sama seperti preparasi standar (15).

2. Preparasi contoh dan bahan baku semen.

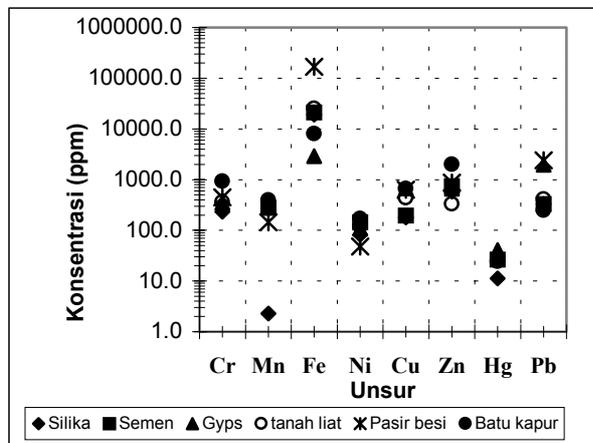
Contoh debu hasil pengukuran yang terabsorpsi di filter *mylar* dan *whatman* didestruksi menggunakan HNO₃ 65 % di corong gelas. Hasil destruksi ditampung di dalam beker gelas 100 ml dan dipanaskan sampai endapan dan larutan HNO₃ tinggal sedikit. Volume contoh di dalam beaker gelas ditambah dengan air demineralisasi menjadi 50 ml. Selanjutnya diperlakukan sama seperti preparasi standar.

Bahan baku semen berupa *clay* (tanah liat), semen, gypsum ditimbang masing-masing 0,05 g, serta pasir besi dan *limestone* (batu kapur) masing-masing 0,025 g, dimasukkan ke dalam labu tedlar. Kemudian ditambahkan 2 ml HNO₃ 65 % dan dipanaskan di dalam *heating mantle* selama 2 jam. Setelah mendidih ditambah 2,5 ml H₂O₂ (0,5 jam baru dimatikan), didinginkan dan disaring dijadikan 50 ml dengan ditambah air demineralisasi. Selanjutnya diperlakukan sama seperti preparasi standar.

Semua endapan yang telah disaring dengan kertas *millipore* (standar, blanko, contoh dan bahan baku semen) dicacah dengan Spektrometer Pendar Sinar-X selama 1 jam dengan sumber pengekstiasi yaitu ²⁴¹Am. Konsentrasi unsur dalam contoh (satuan ppm) dihitung dengan menggunakan metode internal standar. Data hasil pengukuran larutan standar digunakan untuk mendapatkan nilai sensitifitas masing-masing unsur sebagai salah satu parameter dalam perhitungan kuantitatif metoda internal standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

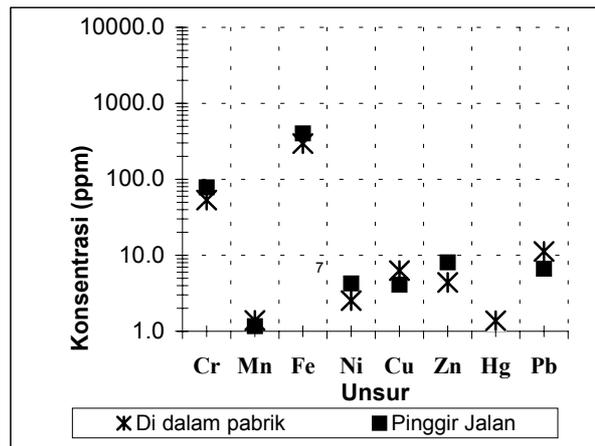
Kandungan dan konsentrasi logam berat yang dikandung bahan baku semen ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsentrasi logam berat dalam bahan baku semen.

Kandungan logam berat dalam semen dari pabrik semen, Citeureup - Bogor jenis *ordinary portland cement* adalah Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb. Kandungan dalam pasir silika adalah Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb. Kandungan dalam *gypsum* adalah Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb. Kandungan dalam tanah liat adalah Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb. Kandungan dalam pasir besi adalah Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb. Kandungan dalam batu kapur adalah Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb. Secara keseluruhan, hasil

analisis kandungan logam berat di dalam bahan baku semen yang terdeteksi dari pabrik semen ada 8 unsur yaitu Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb. Unsur Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb terdapat pada semua bahan baku semen, sedangkan Cr, Mn, dan Hg terdapat pada sebagian bahan baku semen. Menurut standar semen USA, semen jenis *ordinary portland cement* (BCS-CRM no. 372/1) dan jenis *white portland cement* (BCS-CRM no. 354) buatan *Bureau of Analyzed Samples Ltd.* mengandung logam berat Fe dan Mn. Berdasarkan laporan kerja pabrik semen Bogor (2000), komposisi bahan kimia bahan baku semen dari pabrik semen yang lebih banyak memproduksi *ordinary portland cement* yang mengandung senyawa logam berat yakni Fe₂O₃ [12]. Menurut Darmono (2001), pabrik semen di Eropa pada tahun 1979 mengeluarkan emisi logam berbahaya berupa unsur Pb dan Cd [6]. Karena keterbatasan alat, analisis logam berat Cd tersebut tidak dilakukan penulis. Dengan demikian beberapa hasil analisis kandungan logam berat di dalam bahan baku semen bersesuaian dengan sumber informasi tersebut.

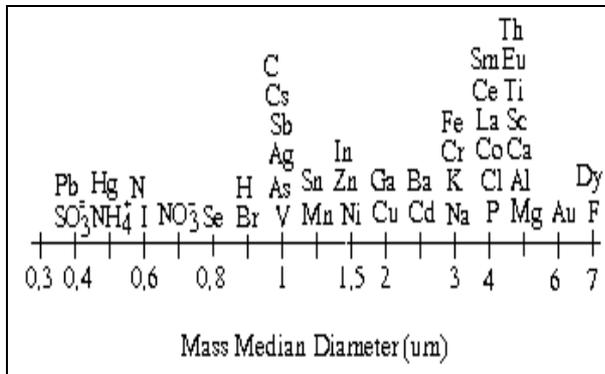


Gambar 2. Konsentrasi logam berat dalam pabrik semen dan pinggir jalan.

Konsentrasi logam berat di dalam pabrik semen dan di pinggir jalan diperlihatkan pada Gambar 2. Logam berat yang beterbangan di dalam pabrik semen adalah Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb. Menurut Darmono (2001), ke-8 unsur yang ada di dalam pabrik semen berdiameter MMD minimal 0,4 sampai 3 µm (Gambar 3).

Logam berat yang terdapat di pinggir jalan ± 400 m di utara pabrik semen hampir sama dengan logam berat yang ada di dalam pabrik semen dengan konsentrasi yang berbeda, kecuali Hg tidak terdapat di pinggir jalan. Dengan demikian sebagian logam berat kemungkinan berasal dari dalam pabrik yang dikeluarkan melalui cerobong mengalami deposisi di pinggir jalan. Hal ini terbukti dari konsentrasi beberapa logam berat di

pinggir jalan lebih rendah daripada konsentrasi logam berat di dalam pabrik semen. Sebagian logam berat mengalami peningkatan konsentrasi yang kemungkinan berasal dari debu tanah atau bahan bakar kendaraan bermotor.



Gambar 3. Ukuran Mass Median Diameter (µm).

Hardjowigeno (1989) menyatakan unsur-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 [13]. Sedangkan menurut Darmono (1995), kandungan logam berat dalam tanah secara alami dengan kisaran non pencemaran antara lain Cu (2 sampai 300 ppm, rata-rata 20 ppm), Pb (2 sampai 200 ppm, rata-rata 10 ppm), Zn (10 sampai 300 ppm, rata-rata 50 ppm), dan Hg (0,01 sampai 0,3 ppm, rata-rata 0,03 ppm) [3]. Saeni (1989) mengungkapkan 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 [14]. Dengan demikian hasil analisis kandungan logam berat di dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} yang mengandung partikel debu dari tanah adalah Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb. Logam berat dalam tanah tersebut terdapat juga dalam partikel debu di pinggir jalan ± 400 m di utara pabrik semen dengan konsentrasi yang lebih rendah dari konsentrasi yang disebutkan Darmono (1995), terkecuali unsur Hg yang tidak terdeteksi.

Kandungan unsur-unsur dari bahan bakar minyak mentah (untuk pabrik, kendaraan, pembangkit tenaga listrik, dan lain-lain) dan batubara berdasarkan informasi dari Darmono (1995) adalah As, Cd, Pb dan Hg [3]. Untuk minyak mentah, konsentrasi unsur-unsur tersebut antara lain Pb (0,001 sampai 0,31 ppm) dan Hg (0,014 sampai 30 ppm). Untuk batubara Pb (0,70 sampai 220 ppm), dan Hg (0,01 sampai 1,60 ppm). Soedomo (1999) menyatakan bahwa 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 dalam partikel debu di pinggir jalan

dengan konsentrasi Pb yang lebih tinggi dari konsentrasi yang disebutkan Darmono (1995).

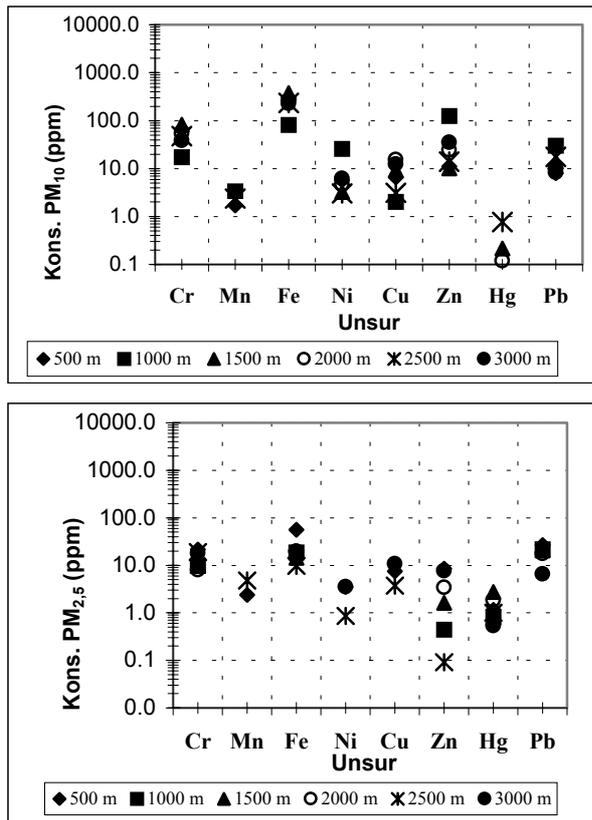
Kandungan logam berat di dalam hasil analisis partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di pinggir jalan sebelah utara pabrik semen dapat disimpulkan mengandung logam berat yang juga terdapat dalam debu bahan baku semen (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb), debu tanah (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb) dan Pb dari bahan bakar. Logam berat di pinggir jalan dijadikan kontrol untuk mendeteksi kandungan unsur-unsur di dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di rumah-rumah sekitar pabrik semen.

Konsentrasi logam berat dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di rumah-rumah sebelah utara pabrik semen dapat diperhatikan pada Gambar 4. Logam berat Mn sebagian besar tidak terdeteksi.

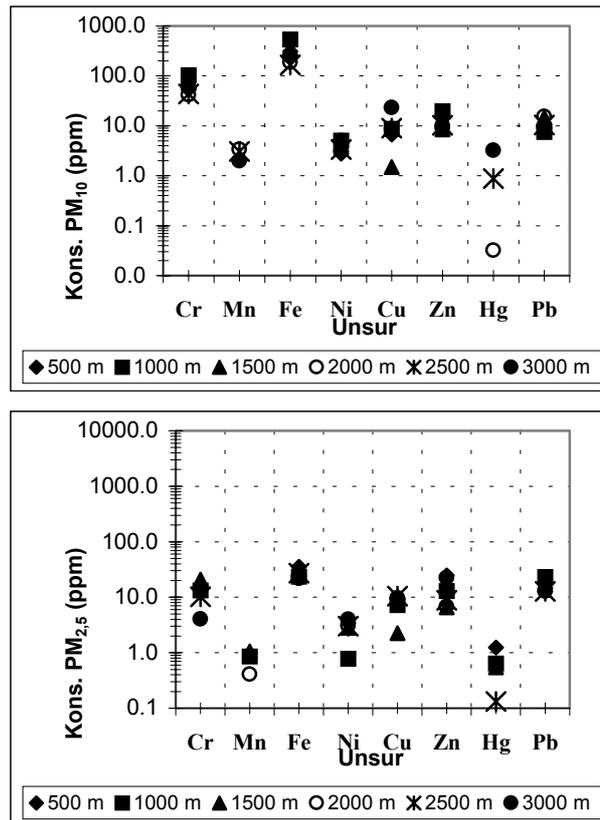
Konsentrasi unsur Mn tertinggi di rumah berjarak 2500 m sebelah utara pabrik semen. Logam berat Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb sebagian besar terdapat di rumah-rumah pada semua jarak pengukuran. Sebagian besar konsentrasi logam berat Cr, dan Fe di rumah-rumah rata-rata hampir sama atau lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi logam berat di pinggir jalan, sedangkan konsentrasi logam berat Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb lebih tinggi. Konsentrasi unsur Pb dalam partikel debu PM₁₀ tertinggi di rumah pada jarak 1000 m.

Konsentrasi logam berat di dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di rumah-rumah sebelah barat laut pabrik semen dapat diperhatikan pada Gambar 5. Logam berat Mn dan Hg sebagian besar tidak terdeteksi. Logam berat Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb sebagian besar terdapat di rumah-rumah pada semua jarak pengukuran. Sebagian besar konsentrasi logam berat Cr dan Fe rata-rata hampir sama atau lebih rendah, sedangkan konsentrasi logam berat Ni, Cu, Zn, dan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat di pinggir jalan. Konsentrasi unsur Pb dalam partikel debu PM₁₀ tertinggi di rumah pada jarak 1500 m.

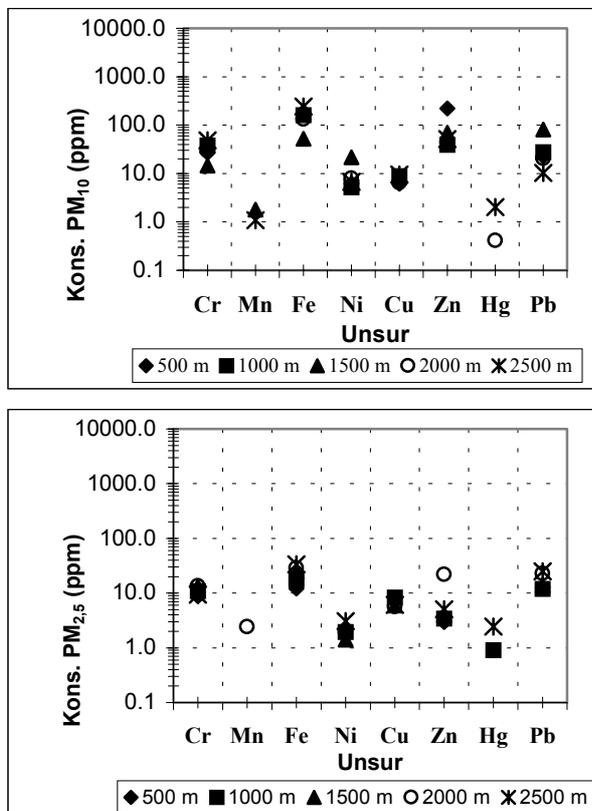
Konsentrasi logam berat di dalam partikel debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di rumah-rumah sebelah barat pabrik semen, Citeureup dapat diperhatikan pada Gambar 6. Logam berat Mn sebagian besar tidak terdeteksi. Logam berat Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb sebagian besar terdapat di rumah-rumah pada semua jarak pengukuran. Sebagian besar konsentrasi logam berat Cr, Ni, dan Fe rata-rata hampir sama atau lebih rendah, sedangkan konsentrasi logam berat Cu, Zn, Hg dan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan yang di pinggir jalan. Konsentrasi unsur Pb dalam partikel debu PM_{2,5} tertinggi di rumah pada jarak 1000 m. Konsentrasi unsur Pb lebih besar dibandingkan unsur Pb di pinggir jalan berdampak akan negatif terhadap kesehatan penghuni rumah tersebut.



Gambar 4. Konsentrasi logam berat di dalam debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di utara pabrik semen.



Gambar 6. Konsentrasi logam berat dalam debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di barat pabrik semen.



Gambar 5. Konsentrasi logam berat di dalam debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di barat laut pabrik.

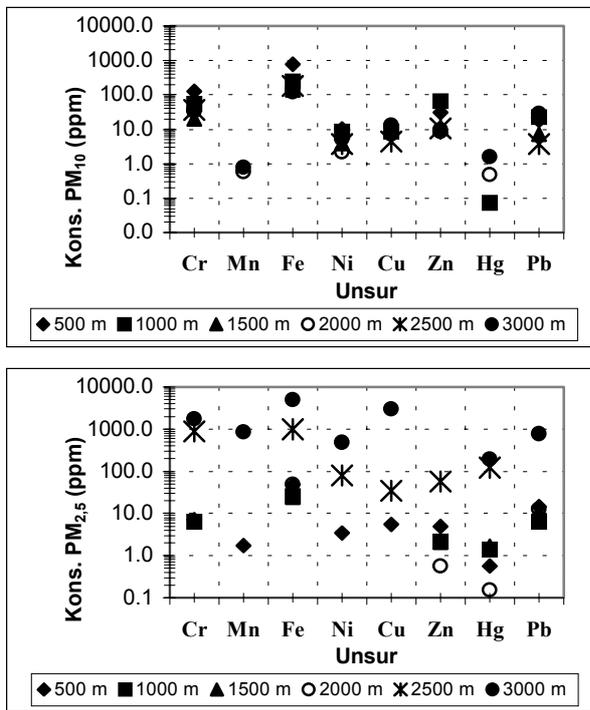
Konsentrasi logam berat di dalam partikel debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di rumah-rumah sebelah selatan pabrik semen ditunjukkan pada Gambar 7. Unsur Mn sebagian besar tidak terdeteksi. Logam berat Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb sebagian besar terdapat di rumah-rumah pada semua jarak pengukuran. Sebagian besar konsentrasi logam berat Cr dan Fe rata-rata hampir sama atau lebih rendah, sedangkan konsentrasi logam berat Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat di pinggir jalan. Konsentrasi unsur Pb dalam partikel debu $PM_{2,5}$ tertinggi di rumah pada jarak 3000 m.

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 kerja ditampilkan pada Tabel 1. NAB dari Surat Edaran tersebut bersatuan konsentrasi mg/m^3 . Akan tetapi karena hasil analisis partikel debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ bersatuan ppm, maka satuan mg/m^3 diubah menjadi satuan $\mu g/m^3$ dan ppm. Sebagian besar hasil analisis unsur-unsur dari partikel debu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di rumah-rumah sekitar pabrik semen lebih besar daripada NAB logam berat. Hal ini membuktikan bahwa logam berat tersebut dapat menyebabkan toksisitas karena melebihi kandungan normal maksimum dan dapat mengganggu kesehatan penghuni.

Tabel 1. Nilai Ambang Batas logam berat

Unsur	Berat Molekul	NAB Konsentrasi	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ppm
Mn	55	200	0,0891
Fe	56	1.000	0,4375
Ni	58	1.000	0,4224
Cu	63	1.000	0,3889
Zn	64	10.000	3,8281
Sr	88	0,5000	0,0001
Hg	202	100	0,0121
Pb	208	50	0,0059

Konsentrasi Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, dan Pb tertinggi terletak pada jarak 3000 m di dalam rumah sebelah selatan pabrik semen dengan pengukuran partikel debu $\text{PM}_{2,5}$. Kemungkinan ini terjadi karena pada saat pengukuran $\text{PM}_{2,5}$ mendapat kontribusi debu tanah dan debu bahan baku semen dari luar rumah, mengingat rumah tersebut terletak lebih dekat ke daerah penambangan bahan baku semen. Konsentrasi Zn tertinggi di luar rumah 500 m sebelah barat laut pabrik semen pada pengukuran debu PM_{10} .



Gambar 7. Konsentrasi logam berat dalam debu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ di selatan pabrik semen.

Hasil analisis konsentrasi logam berat di dalam debu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dapat digunakan memperkirakan partikel debu yang berasal dari bahan baku semen, tanah, atau bahan bakar

minyak (Tabel 2). Konsentrasi logam berat di dalam debu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ di rumah-rumah yang melebihi konsentrasi logam berat di pinggir jalan, kemungkinan berasal dari partikel debu bahan baku semen dan tanah, sebaliknya bila lebih rendah dari konsentrasi di pinggir jalan kemungkinan berasal dari salah satu jenis bahan baku semen atau tanah, tergantung pada konsentrasi unsur dalam pabrik semen. Bila konsentrasi unsur tersebut lebih rendah dari rata-rata dalam pabrik semen, berarti unsur tersebut berasal dari debu tanah, dan bila sebaliknya berasal dari bahan baku semen.

Terkecuali logam berat Cr yang hanya berasal dari debu bahan baku semen. Konsentrasi logam berat dalam partikel debu PM_{10} lebih besar daripada dalam $\text{PM}_{2,5}$, berarti kemungkinan logam berat dari luar rumah masuk ke dalam rumah lebih besar, kecuali bila unsur di dalam $\text{PM}_{2,5}$ tidak terdeteksi berarti kondisi fisik rumah tersebut telah melakukan penyaringan udara dengan baik. Sebaliknya bila konsentrasi logam berat dalam PM_{10} lebih rendah daripada di dalam $\text{PM}_{2,5}$, berarti unsur tersebut mendapat kontribusi dari dalam lingkungan rumah dibanding dari luar rumah. Unsur Pb bisa berasal dari bahan baku semen, debu tanah dan bahan bakar. Bila konsentrasi unsur Pb di rumah-rumah lebih rendah dibandingkan dengan unsur Pb di pinggir jalan, maka unsur Pb tersebut berasal dari bahan bakar (mengingat konsentrasi Pb kecil menurut Darmo-no, 1995). Bila lebih tinggi, maka unsur Pb di rumah tersebut bisa berasal dari bahan baku semen atau debu tanah, tergantung konsentrasi unsur Pb dalam pabrik semen. Bila konsentrasi unsur Pb tersebut lebih rendah dari rata-rata dalam pabrik semen, berarti unsur Pb di rumah tersebut berasal dari debu tanah, dan bila sebaliknya berasal dari bahan baku semen.

KESIMPULAN

Sebagian besar hasil analisis logam berat dari partikel debu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ di rumah-rumah sekitar pabrik semen lebih besar daripada nilai ambang batas logam berat di udara (SE Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997). Sebagian besar kandungan logam berat dalam partikel debu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ di rumah-rumah sekitar pabrik semen berasal dari debu bahan baku semen (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb) dan debu tanah (Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Hg, dan Pb), kecuali ada tambahan unsur Pb dari bahan bakar minyak di sebelah utara pabrik semen pada jarak 3000 m dalam $\text{PM}_{2,5}$ dan sebelah selatan pabrik semen yaitu pada jarak 1000 m dalam $\text{PM}_{2,5}$ dan pada jarak 2500 m dalam PM_{10} .

Tabel 2. Kandungan logam berat di dalam debu PM₁₀ dan PM_{2,5} di rumah-rumah.

Arah	Jarak (m)	Kode	Kandungan logam berat di dalam debu PM ₁₀ dan PM _{2,5} berasal dari			
			Bahan baku semen	Tanah	BBM	
U T A R A	500	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb	Mn, Ni, Zn		
		B	Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, dan Hg	Mn, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
	1000	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Mn, Ni, Cu, Zn dan Pb		
		B	Cr, Fe, Zn dan Hg	Mn, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
	1500	A	Cr, Cu, Zn, dan Hg	Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
		B	Cr, Fe, Zn, dan Hg	Zn, Hg dan Pb		
	2000	A	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb	Ni, Cu, Zn dan Hg		
		B	Cr, Fe, Zn, dan Hg	Hg dan Pb		
	2500	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Mn, Zn, Hg dan Pb		
		B	Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, dan Hg	Mn, Cu, Zn dan Hg		
	3000	A	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb	Ni, Cu, dan Zn		
		B	Cr, Fe, dan Cu	Ni, Cu, dan Zn	Pb	
B A R A T L A U T	500	A	Cr, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Ni, Cu, Zn, dan Pb		
		B	Cr, Fe, dan Zn	Pb		
	1000	A	Cr, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Ni, Cu, Zn, dan Pb		
		B	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Cu, Hg dan Pb		
	1500	A	Cr, Mn, Ni, Cu, dan Zn	Mn, Ni, Cu, Zn, dan Pb		
		B	Cr, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Cu, dan Pb		
	2000	A	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb		
		B	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Mn, Cu, Zn, dan Pb		
	2500	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb	Ni, Zn, dan Hg		
		B	Cr, Fe, Cu, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb		
	B A R A T L A U T	500	A	Cr, Fe, Cu, Zn, Sr, dan Pb	Ni, Cu, dan Zn	
			B	Cr, Fe, Cu, Zn, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb	
1000		A	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Pb	Fe, Ni, Cu, dan Zn		
		B	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Cu, Zn, Hg dan Pb		
1500		A	Cr, Fe, Cu, dan Zn	Ni, Zn, dan Pb		
		B	Cr, Mn, Fe, Cu, dan Hg	Ni, Zn, Hg dan Pb		
2000		A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Mn, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
		B	Cr, Mn, dan Fe	Ni, dan Zn		
2500		A	Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Hg dan Pb	Mn, Ni, Cu, Zn, dan Hg		
		B	Cr, Fe, Cu, Zn, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
3000		A	Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Hg dan Pb	Mn, Ni, Cu, Zn, dan Hg		
		B	Cr, Fe, Cu, dan Zn	Ni, Cu, Zn dan Pb		
S E L A T A N	500	A	Cr, Fe, Ni, Cu, dan Zn	Fe, Ni, Cu, Zn dan Pb		
		B	Cr, Mn, Fe, Cu, dan Hg	Mn, Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
	1000	A	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg, dan Pb		
		B	Cr, Fe, Zn, dan Hg	Hg	Pb	
	1500	A	Cr, Fe, Cu, Zn, dan Pb	Ni, Cu, dan Zn		
		B	Fe, Zn, Hg dan Pb	Hg		
	2000	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Cu, Zn, Hg dan Pb		
		B	Fe, Zn, dan Hg	Hg dan Pb		
	2500	A	Cr, Fe, Cu, dan Zn	Ni, Cu, dan Zn	Pb	
		B	Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg		
	3000	A	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, dan Hg	Ni, Cu, Zn, Hg dan Pb		
		B	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, dan Hg	Mn, Fe, Ni, Cu, Hg dan Pb		

Keterangan : A = PM₁₀ B = PM_{2,5} BBM = Bahan Bakar Minyak

DAFTAR PUSTAKA

1. 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.
2. FRIBERG, L., KJELLSTROM, T., AND NORDBERG, G., Pb, Zn, Cu, Hg. In Handbook on the Toxicology of Metal, Elsevier/North Holland Biomedical Press (1979)
3. DARMONO, Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup, Cetakan Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta (1995).
4. SUMA'MUR, P.K., Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja, cetakan ke 4, Penerbit PT. Gunung Agung, Jakarta, 105-150 (1984).
5. SOEDOMO, M., Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung (1999).
6. DARMONO, Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa logam), Universitas Indonesia Press, Jakarta (2001).
7. PEMERINTAH DAERAH BOGOR, Neraca Lingkungan Hidup Kabupaten Bogor tahun 2000, Buku 3, Pemerintahan Daerah Bogor, Bogor (2000).
8. 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).
9. 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).
10. 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).
11. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Acute Respiratory Infection in Children Case Management in Small Hospital in Developing Countries, Ditjen PPM & PLP, Depkes RI, Jakarta (1992).
12. PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, Laporan Pemantauan Pelaksanaan RKL (Rencana Pengelolaan Lingkungan) dan RPL (Rencana Pemantauan Lingkungan) PT. Indocement Tunggol Prakarsa (PT. ITP), Semester II, Citeureup, Bogor (2000).
13. HARDJOWIGENO, SARWONO, Ilmu Tanah, PT Mediyatama Sarena Perkasa, Jakarta (1989).
14. 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).
15. VAN GRIEKEN, R.E. and A.A. MARKOWICZ., Handbook of X-Ray Spectrometry Methods and Techniques. Marcel Dekker. New York (1993).

DISKUSI

NELLY D. LESWARA

1. Apakah metode yang dipakai spesifik untuk masing-masing logam berat tersebut ?
2. Berapa deteksi minimum dari metode tersebut, berapa ppm/bpm ?

GATOT S.

1. Tidak spesifik, satu sampel didestruksi di laboratorium lalu dicacah dengan XRF untuk semua unsur yang muncul.
2. Deteksi minimum diambil pada pengukuran sekitar sebagai berikut :

	Konsentrasi	Sumber Pengeksitasi
Cu	0,01	Cd-109
Pb	0,0086	Cd-109
Zn	0,0091	Cd-109
Ni	0,0121	Cd-109
Cr	0,0212	Cd-109
Fe	0,0183	Cd-109
Mn	0,4570	Am-241
Hg	0,0668	Am-241

SRI WAHYUNI

Dari hasil penelitian Anda diketahui bahwa kadar logam berat (PM 10 dan PM 2,5) di atas nilai ambang yang diijinkan.

1. Apakah hasil penelitian ini disampaikan ke pabrik semen bila ya apakah ada langkah-langkah yang diambil oleh pabrik semen ?
2. Apakah ada Lingkungan Hidup (Yayasan) yang diberitahu hasil penelitian ini ? bila ya apakah ada reaksinya ?

Tujuan 1 dan 2 untuk mencegah atau meminimalkan akibat negatif harus ditanggung oleh masyarakat dan sekitar pabrik tersebut.

GATOT S.

1. Ya, langkah-langkah yang diambil adalah pemantauan debu secara periodik dan pengawasan terhadap sistem filtrasi debu dari cerobong.
2. Ya, BAPEDAL. Masih dalam proses tindakan lebih lanjut.

Tujuan meminimalkan dampak polusi debu yang ditimbulkan baik pada masyarakat maupun pekerja.

NAZAROH

1. Apakah saran Anda dengan penduduk setempat yang ternyata kandungan PM 10 & PM 2,5 melebihi batas ambang ?
2. Berapa tahun kemudian polusi tersebut dapat menyebabkan kematian bagi penduduk/bahaya potensial ?

GATOT S.

1. Penduduk diharuskan menanam pohon untuk meminimasi polusi debu masuk ke rumah, disamping harus meningkatkan daya tahan tubuhnya dari segi kesehatan dengan meningkatkan gizi makanan termasuk minum susu yang banyak (minum yang banyak).
2. Tergantung kondisi kesehatan (daya tahan) tubuh seseorang dan kondisi lingkungan penghuni rumah tersebut.

