

KOMPOSISI UNSUR DALAM CUPLIKAN PARTIKULAT UDARA DAERAH BANDUNG DAN LEMBANG TAHUN 1999.

Achmad Hidayat

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir – BATAN

ABSTRAK.

KOMPOSISI UNSUR DALAM CUPLIKAN PARTIKULAT UDARA DAERAH BANDUNG DAN LEMBANG TAHUN 1999. Konsentrasi partikulat udara di daerah Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi partikulat udara di daerah Lembang. Fraksi PM_{2.5} berkisar di antara 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 21,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk daerah Bandung, dan 2,9 hingga 19,2 untuk daerah Lembang selama 24 jam pencuplikan. Fraksi PM₁₀ kota Bandung 12,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 44,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan fraksi PM₁₀ kota Lembang 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Data ini masih jauh di bawah Baku mutu udara ambien nasional untuk 24 jam yaitu 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ masing-masing untuk PM_{2.5} dan PM₁₀. Tidak ada korelasi yang jelas antara konsentrasi partikulat halus maupun kasar terhadap curah hujan. Telah terdeteksi sebanyak 15 unsur yaitu Al, Br, Ca, Ce, Cl, Cr, Fe, I, Mn, Na, Sb, Se, Sc, V dan Zn. Unsur-unsur Br, Ce, Cl, Cr, I, Sb dan Zn diperkaya pada cuplikan halus di daerah Bandung dan Lembang, sedangkan unsur Al, Ca, Mn, Na dan V tidak diperkaya. Khusus untuk Fe pada partikulat halus di daerah Lembang ternyata diperkaya, sedangkan pada partikulat halus di daerah Bandung tidak diperkaya. Analisis cuplikan kasar menunjukkan hasil yang mirip dengan cuplikan halus kecuali Ce. Hasil analisis unsur ini menjelaskan bahwa sumber pencemar untuk kota Bandung dan Lembang hampir sama. Unsur-unsur Br, Cl dan I mungkin berasal dari pembakaran bahan organik; unsur Br dan Cl dapat juga berasal dari kendaraan bermotor; unsur Cr, dan Zn dapat berasal dari pabrik cat; unsur Zn dan Sb dapat berasal dari tempat pembakaran sampah; sedang unsur Ce kemungkinan berasal dari cemaran pabrik elektronik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor pengayaan unsur pada partikulat halus lebih tinggi daripada partikulat kasar. Tingkat pengayaan unsur pada cuplikan partikulat udara kota Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan cuplikan partikulat udara Lembang.

Kata kunci: faktor pengayaan, partikulat udara, komposisi unsur

ABSTRACT.

ELEMENTAL COMPOSITION IN AIRBORNE PARTICULATE SAMPLE OF BANDUNG AND LEMBANG REGION IN 1999. Concentration of airborne particulate of Bandung higher than that of Lembang. The PM_{2.5} fraction was in the range of 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 21,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Bandung area, and 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Lembang area for 24 hours sampling time. The PM₁₀ fraction of Bandung area was in the range of 12,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 44,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, whereas the PM₁₀ fraction of Lembang area was in the range of 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The data much lower than that of National ambient air quality standard for 24 hours, 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{2.5} fraction and PM₁₀ fraction respectively. No clear correlation either concentration of fine or coarse particulate to rainfall. Forteen elements, which were Al, Br, Ca, Ce, Cl, Cr, Fe, I, Mn, Na, Sb, Sc, V and Zn, were detected. The elements of Br, Ce, Cl, Cr, I, Sb and Zn were enriched in fine and coarse of Bandung and Lembang samples, whereas Al, Ca, Mn, Na and V were not enriched. The special element of Fe was enriched in fine particulate of Lembang, whereas in particulate of Bandung was not enriched. Analysis of coarse particulate samples indicated the similar results to fine particulate except for Ce. The results of analysis explained that pollutant source of Bandung and Lembang were the same. Some elements such as Br, Cl and I possibly come from organic material burning; Br and Cl could be from motor vehicle; Cr, and Zn could be from paint factory; Zn and Sb could be from refuse incineration; while Ce could be from electronic factory. The calculation results indicated that enrichment factor of elements in fine particulate higher than that of coarse particulate. Furthermore the enrichment factor of element in airborne particulate of Bandung area was higher than that of airborne particulate of Lembang.

Key words: enrichment factor, airborne particulate, elemental composition

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan salah satu masalah utama yang dewasa ini dihadapi oleh berbagai negara berkembang termasuk Indonesia. Tingginya konsentrasi partikulat di udara menyebabkan Jakarta dianggap sebagai kota dengan kondisi udara nomor tiga paling kotor di dunia [1]. Jika dibandingkan dengan kota-kota Bangkok, Kuala Lumpur dan Tokyo maka Jakarta menempati urutan tertinggi dalam *Total suspended particulate matter* (SPM) [2]. Akhir-akhir ini para ahli mulai menyadari bahwa konsentrasi partikulat udara yang tinggi dapat merugikan kesehatan, misalnya

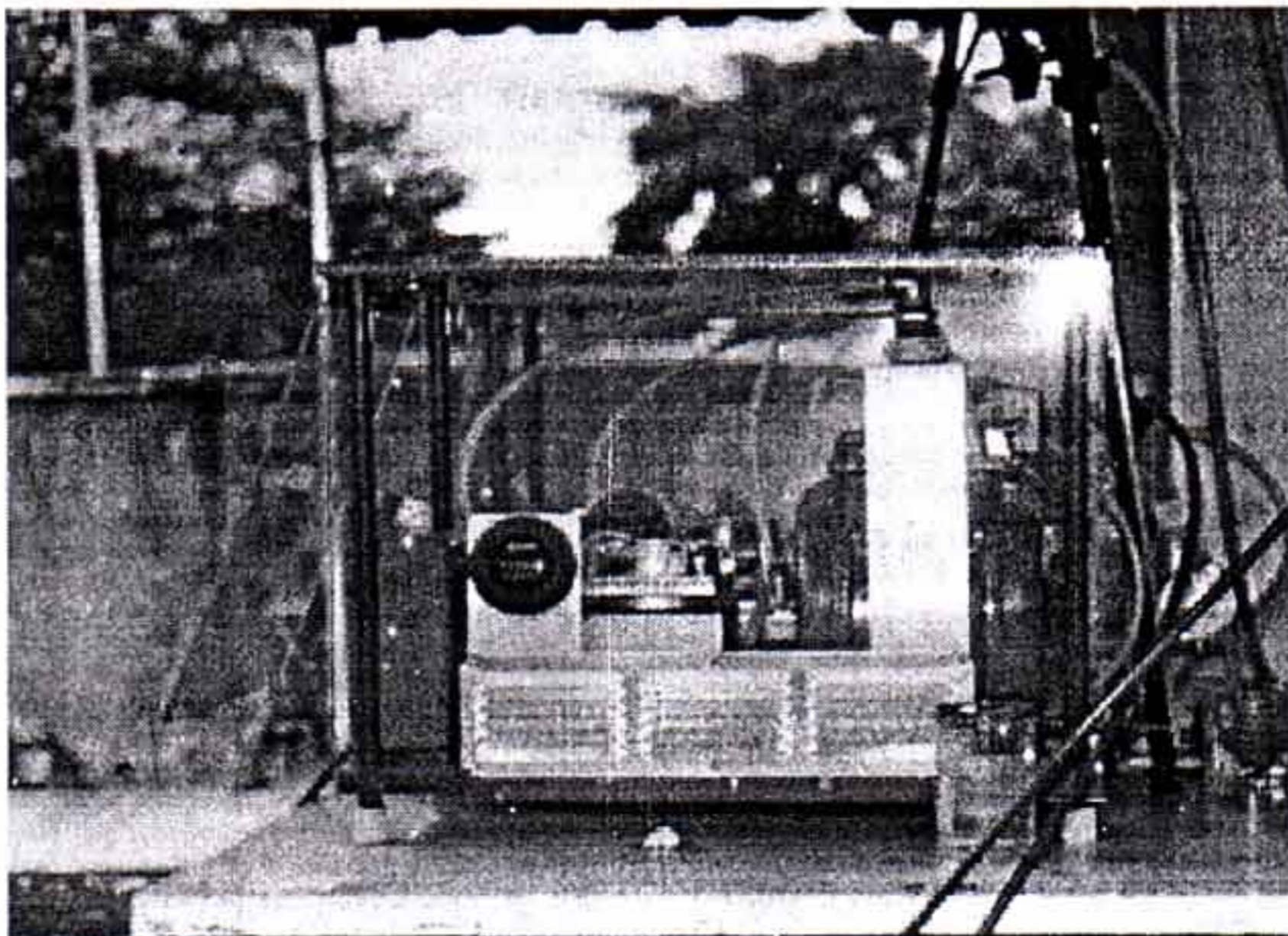
dapat mengakibatkan penyakit kanker paru-paru bahkan dapat meningkatkan angka kematian [2, 3]. Informasi terakhir mengemukakan bahwa partikulat yang paling berbahaya adalah partikulat halus yang mempunyai ukuran lebih kecil dari 10 μm (PM10) khususnya < 2.5 μm (PM2.5), karena dapat terpenetrasi ke dalam paru-paru dengan mudah [4]. Oleh karena itu, partikulat yang dipelajari pada penelitian ini adalah partikulat udara yang mempunyai ukuran < 10 μm . Bandung adalah kota propinsi Jawa Barat yang letaknya dekat dengan ibu kota Jakarta, dan merupakan kota industri dengan jumlah penduduk 1.860.890 jiwa pada tahun 1999 dan meningkat menjadi 2.133.821 jiwa pada tahun 2000 [5]. Selain itu jumlah kendaraan bermotor di kota Bandung terus meningkat. Pada tahun 1999 jumlah total kendaraan bermotor roda empat dan roda dua adalah sebanyak 418.592 buah dan meningkat menjadi 603.451 buah pada tahun 2000 [5]. Kendaraan bermotor yang jumlahnya terus meningkat mempunyai potensi yang besar terhadap pencemaran lingkungan. Lembang merupakan salahsatu kota di kabupaten Bandung dan bukan kota industri yang dianggap masih bersih dibandingkan dengan kota Bandung. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dipelajari seberapa jauh tingkat pencemaran yang terjadi di kota Bandung dan Lembang. Dalam studi pencemaran udara perlu ditentukan apakah suatu unsur dalam cuplikan partikulat udara berasal dari sumber alamiah atau berasal dari kegiatan manusia. Hal ini dapat dilihat dari nilai faktor pengayaan (FP). Jika FP mendekati satu maka unsur tersebut berasal dari tanah (kulit bumi), sedangkan jika ≥ 10 maka unsur tersebut berasal dari aktivitas manusia [4, 6].

Tujuan utama kegiatan ini adalah mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat dalam cuplikan partikulat udara di daerah Bandung dan Lembang, serta memperoleh informasi tentang tingkat polusi dalam cuplikan partikulat udara untuk daerah Bandung dan Lembang.

BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Bahan utama yang digunakan untuk pencuplikan udara adalah kertas saring Nuclepore polikarbonat yang berpori-pori 8 μ m (kasar), dan kertas saring Nuclepore polikarbonat pori-pori 0,4 μ m (halus) mengacu kepada percobaan sebelumnya [6]. Bahan lain dan alat yang digunakan sama dengan penelitian sebelumnya [6].

Peralatan yang digunakan adalah: pencuplik udara Gent (Gambar 1), neraca Mettler Toledo AG 245, reaktor nuklir Serpong dengan fasilitas iradiasi pendek dan panjang, alat pencacah sinar- γ multi saluran (Multichannel Analyzer), lampu infra merah, dan mikro pipet 100 μ l.

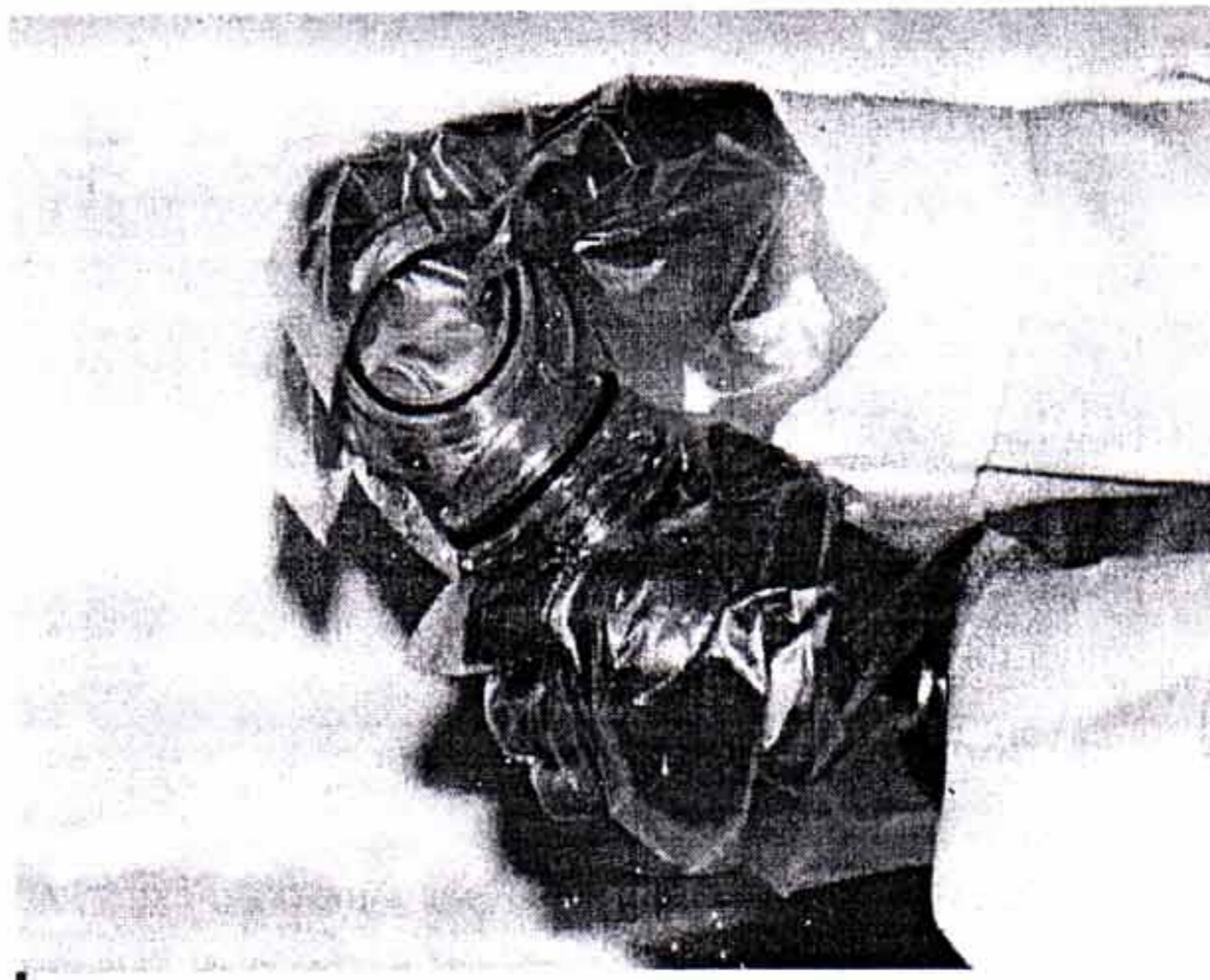


Gambar 1. Alat Pencuplik udara Gent

Pencuplikan partikulat udara.

Penyiapan pencuplikan dilakukan sebagai berikut: Kertas saring halus dan kasar Nuclepore disimpan dalam cawan petri plastik, dikondisikan di ruang bersih

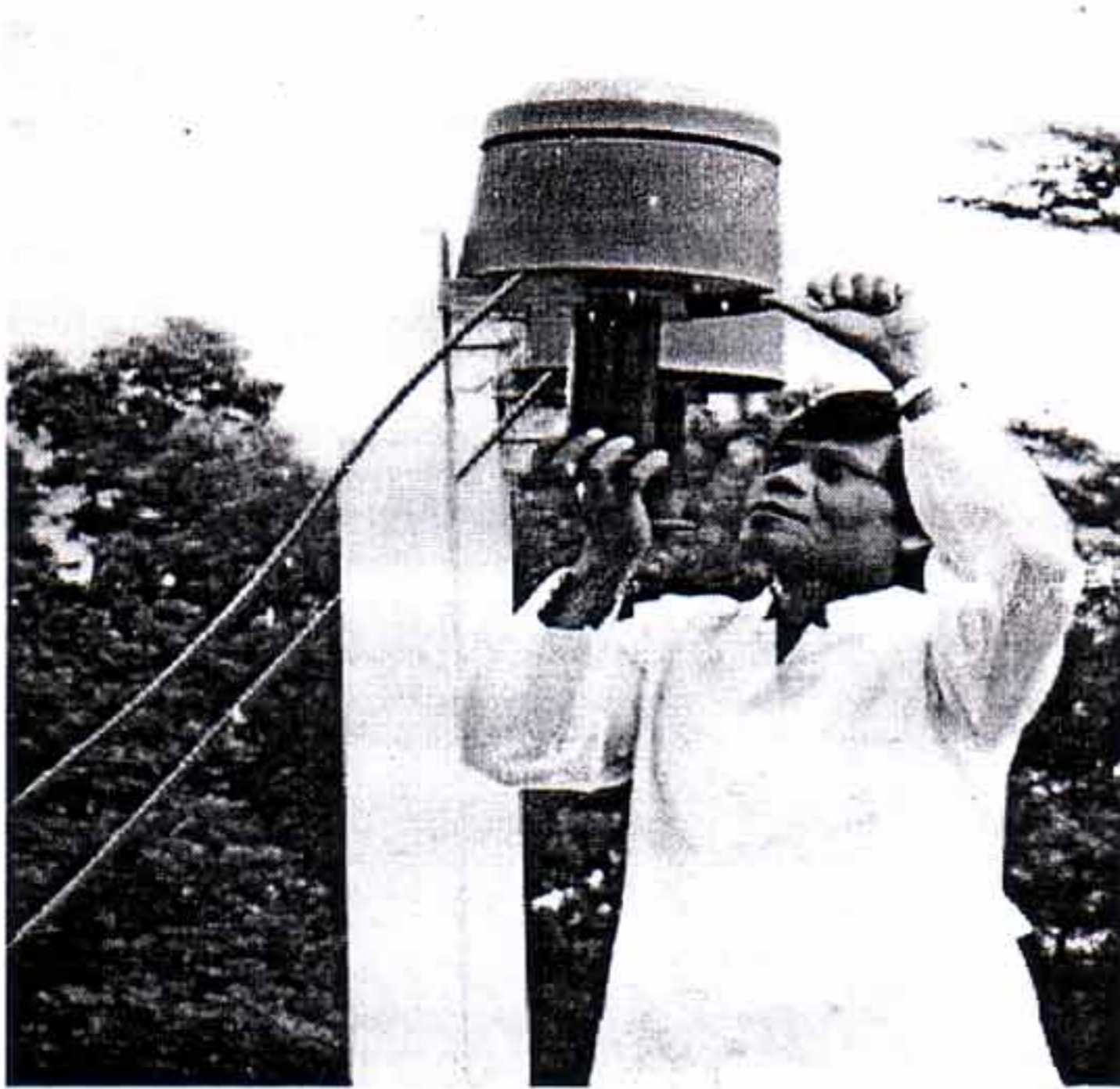
dengan kelembapan 45 - 55 %, temperatur 25°C sekurang-kurangnya selama 24 jam sebelum pencuplikan. Kertas saring halus dan kasar tersebut kemudian ditimbang hingga diperoleh berat konstan. Kertas saring kasar Nuclepore dipasang pada kaset kertas saring bagian bawah dan kertas saring halus dipasang pada kaset kertas saring bagian atas (Gambar 2). Setelah semua kertas saring terpasang pada kaset kertas saring, selanjutnya disimpan pada wadah plastik berbentuk silinder untuk dibawa ke tempat pencuplikan.



Gambar 2. Kaset untuk kertas saring kasar dan halus

Pencuplikan dilakukan sebagai berikut : Pertama di atas atap gedung A Puslitbang Teknik Nuklir – BATAN jalan Tamansari 71 Bandung. Kedua, di atas atap gedung Badan Meteorologi dan Geofisika Lembang dengan tahapan kerja sebagai berikut: Pasangan kaset kertas saring dipasang di dalam kontainer polietilen berwarna hitam (Gambar 3). Semua data pencuplikan dicatat. Alat pencuplik udara dinyalakan, kran

pengatur laju alir udara diatur sehingga pengukur aliran udara menunjukkan angka 18 l /menit, selanjutnya alat pencuplik ini dioperasikan selama 24 jam.



Gambar 3. Kontainer polietilen warna hitam tempat kertas saring

Setelah pencuplikan selesai semua data pengamatan dicatat kembali. Kedua kaset kertas saring dibuka dan dipisahkan dengan hati-hati di ruang bersih. Kertas saring yang berisi cuplikan partikulat udara diambil menggunakan pinset, disimpan pada cawan petri terbuka yang telah diberi kode sesuai dengan kode cuplikan. Cuplikan partikulat udara tersebut dikondisikan di ruang bersih sekurang-kurangnya selama 24 jam sebelum penimbangan. Selanjutnya cuplikan ditimbang sampai konstan dengan neraca analitis semi mikro. Berat cuplikan dihitung berdasarkan berat kertas saring sesudah dan sebelum pencuplikan partikulat udara [6].

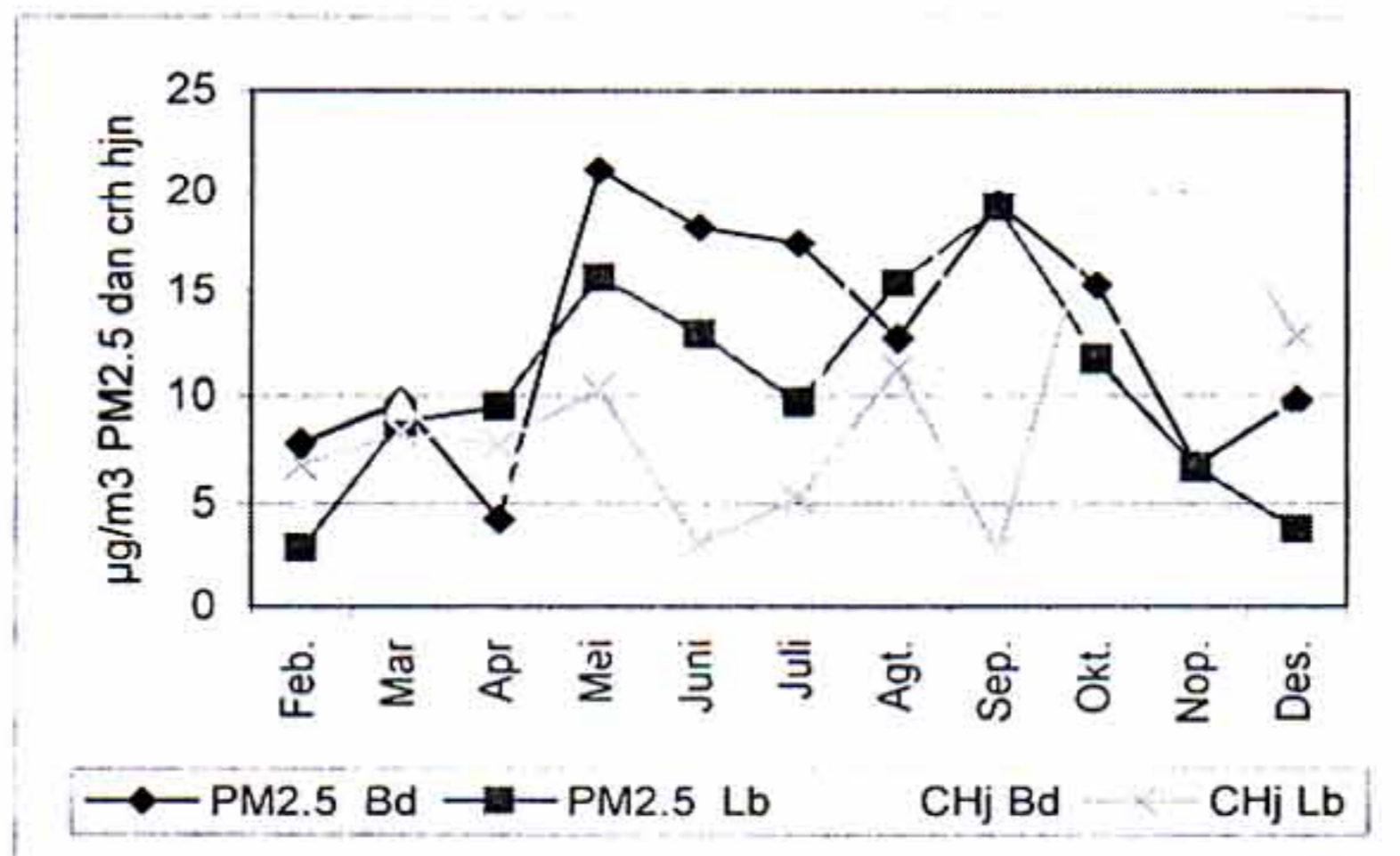
Penyiapan cuplikan dan standar untuk iradiasi

Penyiapan standar, iradiasi cuplikan dan standar, perlakuan terhadap cuplikan dan standar pasca iradiasi, dan pengolahan data merujuk pada percobaan sebelumnya [6].

HASIL DAN DISKUSI

Hasil percobaan menunjukkan bahwa angka banding (ratio) partikulat udara halus kota Bandung terhadap Lembang pada umumnya lebih besar dari satu (Tabel 1). Artinya konsentrasi partikulat udara halus di Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi partikulat udara di Lembang. Hal ini menunjukkan bahwa sumber pencemar di daerah kota Bandung (industri) lebih banyak dibandingkan dengan Lembang. Konsentrasi fraksi PM_{2.5} (partikulat halus) berkisar di antara 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 21,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk daerah Bandung, dan 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk daerah Lembang (Tabel 1). Hal ini masih di bawah standar rata-rata untuk 24 jam yaitu 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk standar US EPA 1997 [7] atau Baku Mutu Udara Ambien Nasional, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara Tanggal : 26 MEI 1999 [8]. Begitu pula ratio fraksi partikulat kasar kota Bandung terhadap fraksi partikulat kasar daerah Lembang $\gg 1$ (Tabel 1). Partikulat kasar ini berasal dari debu tanah yang disebabkan oleh gerakan mekanik mesin, kendaraan bermotor dan berbagai aktifitas manusia menyebabkan debu beterbangan ke udara. Jumlah penduduk, kendaraan bermotor dan industri di kota Bandung lebih banyak dibandingkan dengan Lembang. Oleh karena itu, wajar bila kota Bandung lebih berdebu dibandingkan dengan Lembang. Dampaknya jelas terhadap konsentrasi fraksi PM₁₀ di kota Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi fraksi PM₁₀ Lembang (PM₁₀ = fraksi partikulat halus PM_{2.5} + fraksi kasar). Namun demikian konsentrasi fraksi PM₁₀ kota Bandung yaitu berkisar di

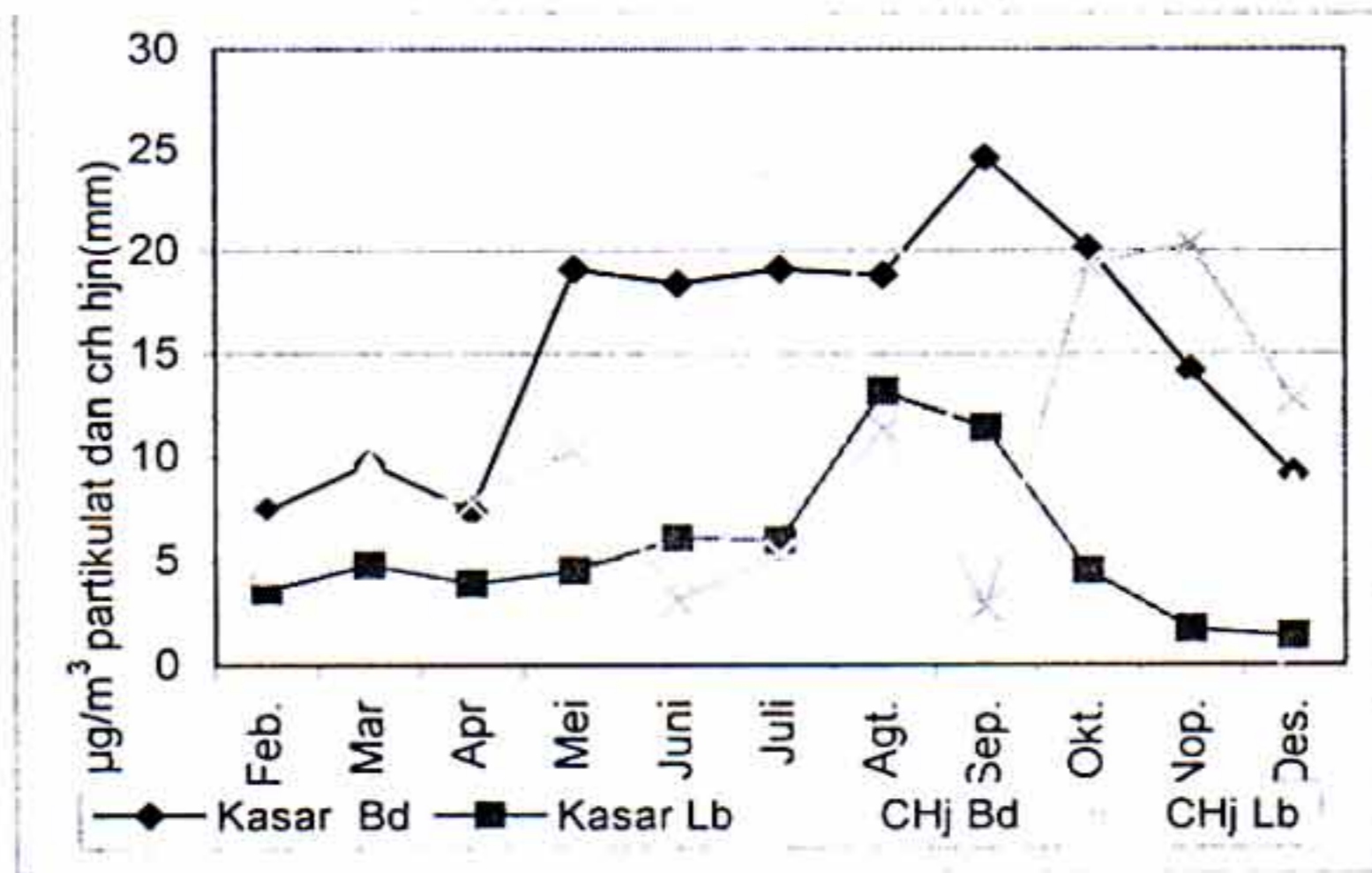
antara $12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga $44,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maupun konsentrasi fraksi PM10 Lembang yaitu berkisar di antara $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga $30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, masih jauh di bawah standar rata-rata US EPA 1997, atau Baku Mutu Udara Nasional yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk 24 jam.



Gambar 4. Hubungan curah hujan (CHj) konsentrasi partikulat halus PM2.5.

Hal ini menunjukkan bahwa kota Bandung maupun Lembang relatif masih bersih dari debu. Jika konsentrasi partikulat halus dan kasar ini dihubungkan dengan curah hujan ternyata tidak ada korelasi yang jelas (Gambar 4 dan Gambar 5).

Hasil analisis unsur menunjukkan bahwa telah terdeteksi sebanyak 14 unsur yaitu Al, Br, Ca, Ce, Cl, Cr, Fe, I, Mn, Na, Sb, Se, Sc, V dan Zn dengan konsentrasi masing – masing ditunjukkan pada Tabel 2 hingga Tabel 5. Berdasarkan hasil analisis ini nilai faktor pengayaannya kemudian dihitung untuk melihat tingkat cemaran unsur dalam cuplikan.



Gambar 5. Hubungan curah hujan (CHj) dengan partikulat kasar

Perhitungan:

$$EF = \frac{([X]/[Sc])_{cuplikan}}{([X]/[Sc])_{acuan}}$$

$EF = enrichment\ factor = faktor\ pengayaan\ (FP)$

$[X]/[Sc]_{cuplikan}$ = perbandingan konsentrasi suatu unsur terhadap unsur acuan (Sc) dalam cuplikan.

$[X]/[Sc]_{acuan}$ = perbandingan konsentrasi suatu unsur terhadap unsur acuan (Sc) dalam acuan (kadar unsur dalam kulit bumi).

Dalam analisis unsur pada cuplikan partikulat udara unsur Al atau Sc digunakan sebagai unsur acuan. Selanjutnya bila konsentrasi tiap-tiap unsur dimasukkan ke dalam persamaan tersebut di atas maka faktor pengayaan dapat dihitung.

Hasilnya adalah sebagai berikut: unsur-unsur Br, Ce, Cl, Cr, I, Sb dan Zn diperkaya pada cuplikan halus daerah Bandung dan Lembang, sedangkan : unsur-unsur Al, Ca, Mn, Na dan V tidak diperkaya (Tabel 6 dan Tabel 8). Khusus untuk unsur Fe

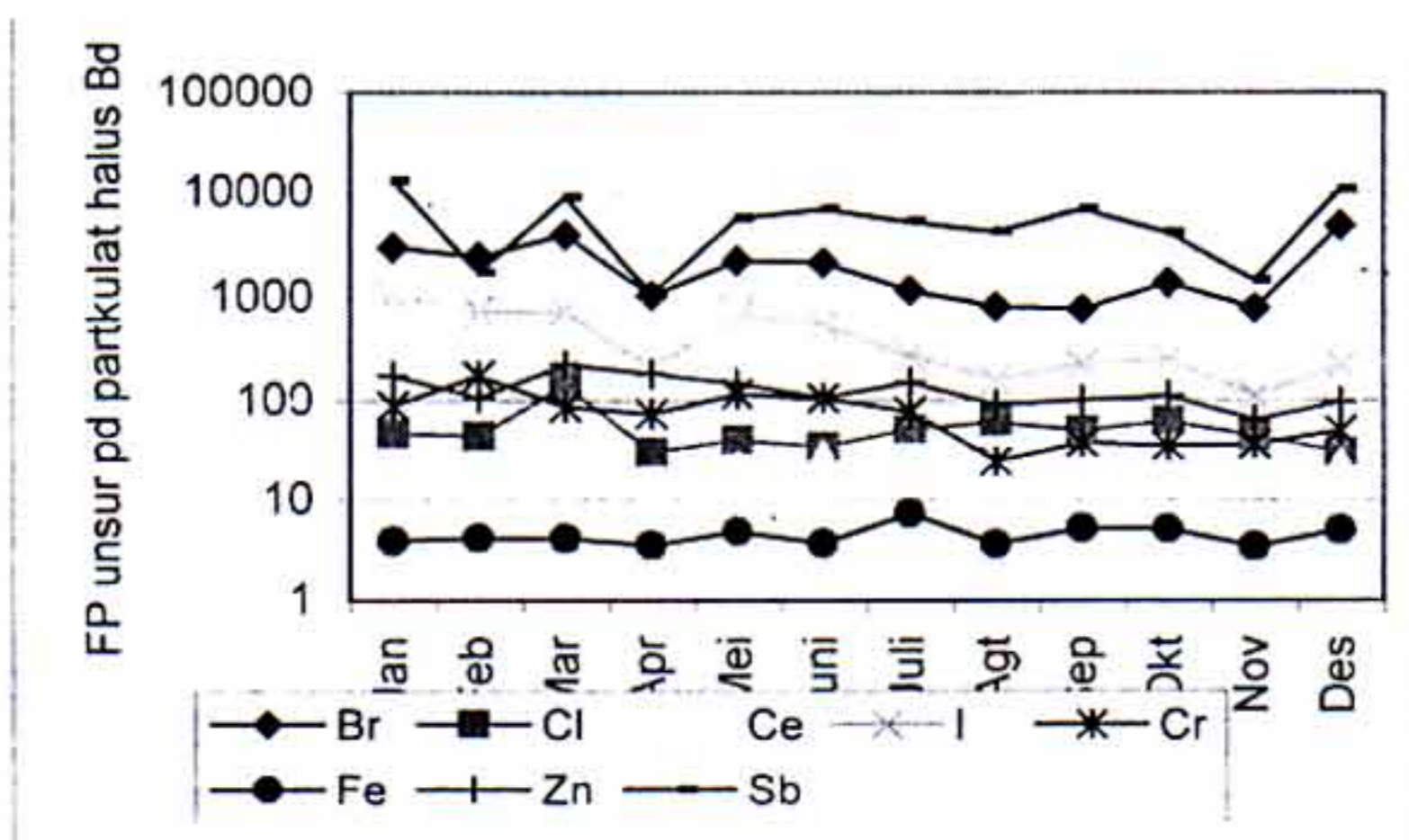
pada partikulat halus daerah Lembang ternyata diperkaya, sedangkan pada partikulat halus maupun kasar daerah Bandung tidak diperkaya. Sepengetahuan kami di Lembang tidak terdapat pabrik pengolahan besi (Fe). Oleh karena itu unsur Fe kemungkinan berasal dari tanah yang disebabkan hembusan angin. Pola unsur-unsur yang terdeteksi dan kecenderungan faktor pengayaan yang hampir sama terjadi pada cuplikan kasar yaitu bahwa unsur-unsur Br, Cl, Cr, I, Sb dan Zn juga diperkaya, sedangkan unsur-unsur Al, Ca, Ce, Fe, Mn, Na dan V tidak diperkaya (Tabel 7). Hasil analisis ini menunjukkan:

- (1). Unsur-unsur Al, Ca, Fe, Mn, Na dan V berasal dari tanah, sedangkan unsur-unsur Br, Cl, Cr, I, Sb dan Zn berasal dari hasil pencemaran baik pada partikulat halus maupun kasar untuk cuplikan Bandung dan Lembang.
- (2). Sumber pencemar untuk kota Bandung dan Lembang sama, mengingat jumlah industri/pabrik di Bandung lebih banyak dibandingkan dengan di Lembang maka pencemaran dari Bandung sampai ke daerah Lembang. Unsur Br, Cl dan I mungkin berasal dari pembakaran bahan organik, unsur-unsur Br dan Cl dapat juga berasal dari bahan bakar kendaraan bermotor. Unsur-unsur Cr, dan Zn dapat berasal dari pabrik cat, Zn dan Sb dapat berasal dari tempat pembakaran sampah.

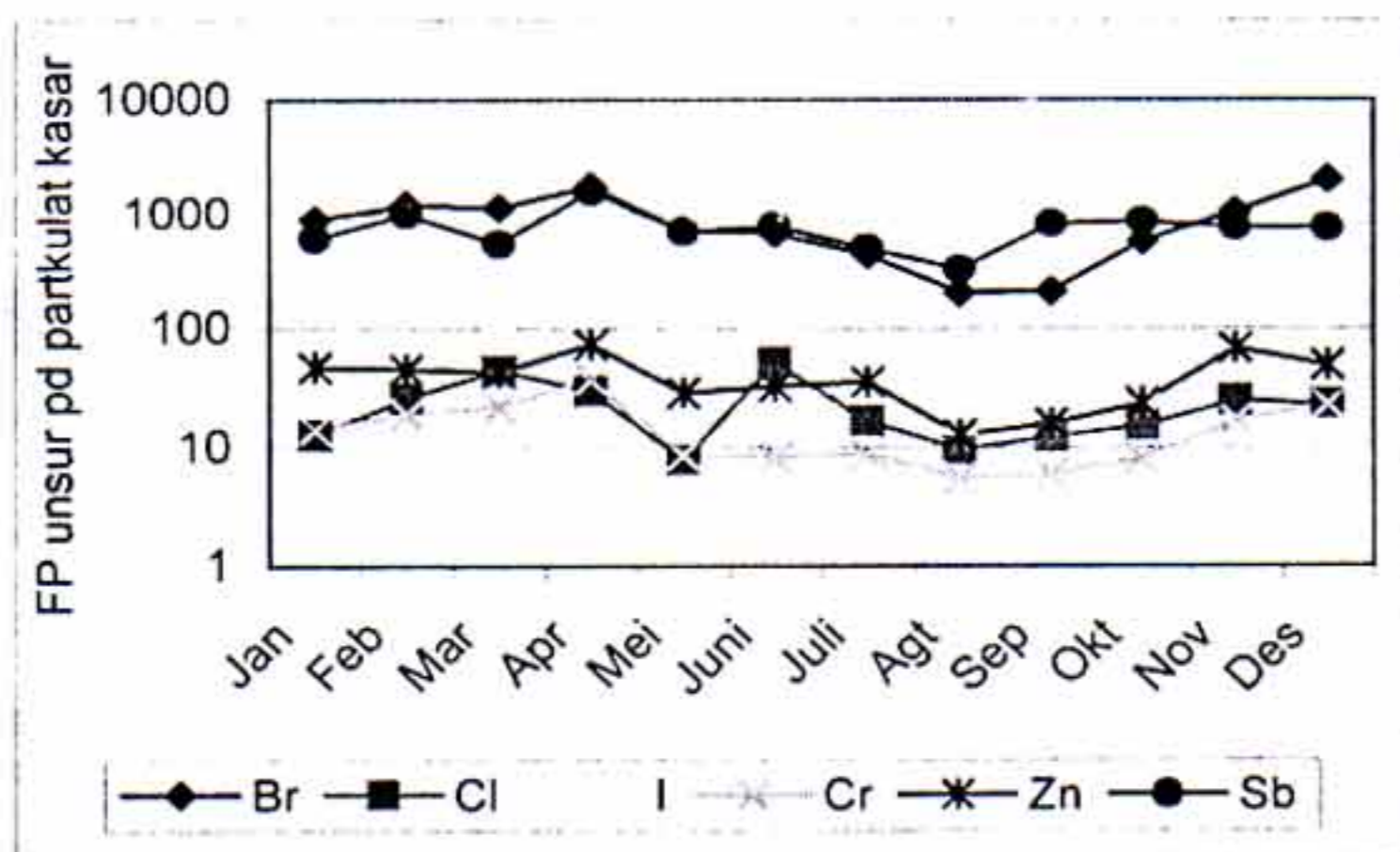
Khusus unsur Ce terjadi pengayaan hanya pada cuplikan halus, ini kemungkinan berasal dari hasil pencemaran pabrik elektronik. Dari nilai faktor pengayaan ini terlihat bahwa pengayaan unsur pada partikulat halus lebih tinggi daripada partikulat kasar (Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9). Hal ini jelas karena partikulat halus itu berasal dari suatu proses industri, pemakaian kendaraan bermotor, kebakaran hutan, pembakaran sampah atau aktivitas manusia lainnya dan bukan berasal dari alam.

Jika dibandingkan tingkat pencemaran kota Bandung dan Lembang maka akan di peroleh nilai rata – rata faktor pengayaan/tahun adalah sebagai berikut: Pada cuplikan halus kota Bandung: Br = 2052; Cl = 53; Ce = 20; I = 433; Cr = 76; Zn = 130

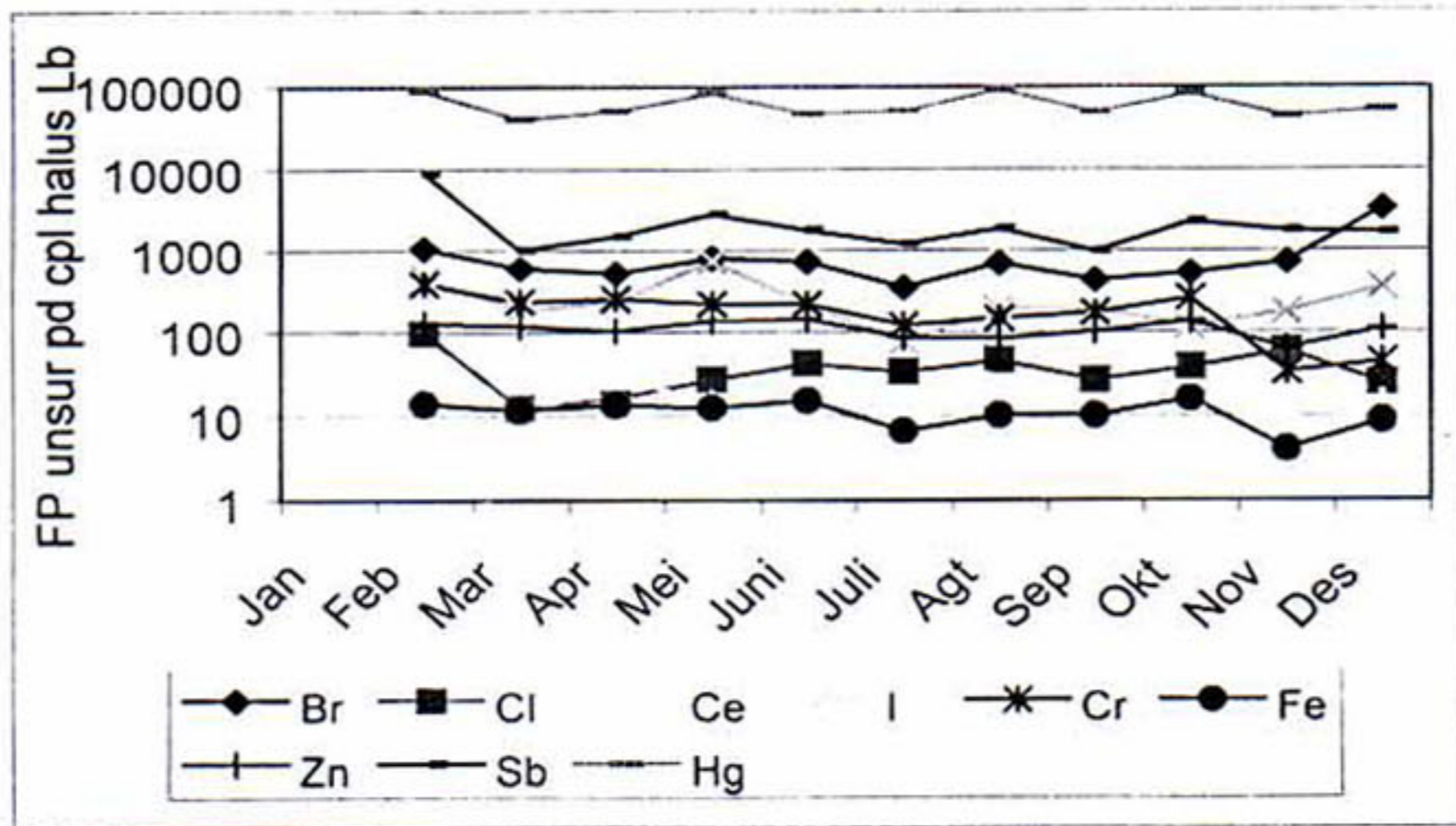
dan Sb = 5781, sedangkan pada cuplikan halus Lembang adalah: Br = 892; Cl = 38; Ce = 15; I = 268; Cr = 191; Zn = 110 dan Sb = 2348. Pada umumnya unsur-unsur yang diperkaya pada cuplikan kota Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan cuplikan Lembang kecuali Cr. Hasil ini sesuai dengan data konsentrasi partikulat halus Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi partikulat halus Lembang.



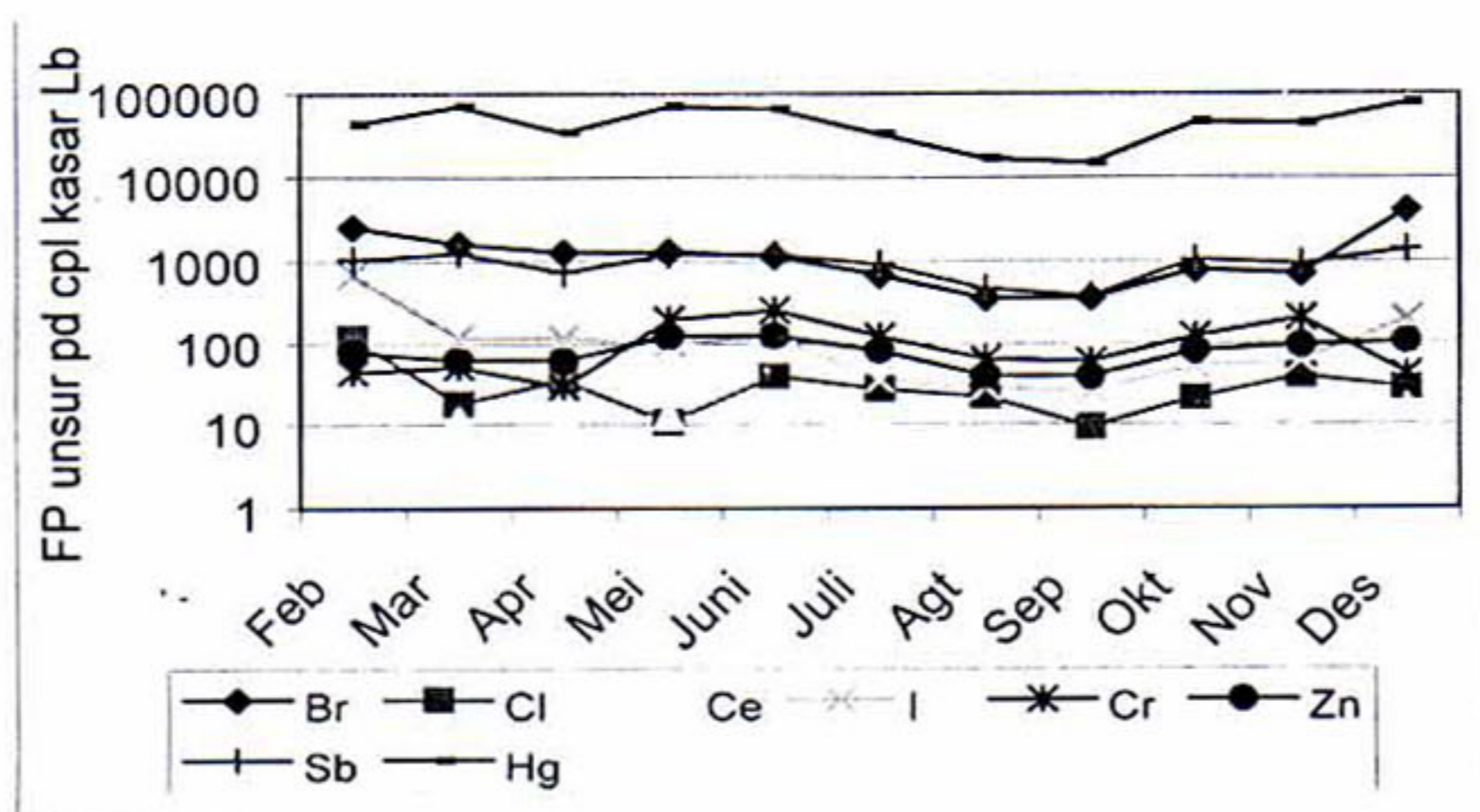
Gambar 6. Faktor pengayaan (FP) unsur pada cuplikan halus Bandung



Gambar 7. Faktor pengayaan (FP) unsur pada cuplikan kasar Bandung



Gambar 8. Faktor Pengayaan unsur pada partikulat halus Lembang



Gambar 9. Faktor pengayaan unsur pada cuplikan kasar Lembang

Tabel 1. Konsentrasi partikulat udara rata-rata dari 4 kali pencuplikan/bulan selama 24 jam pencuplikan di lingkungan P3TkN Bandung dan di Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Lembang 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Partikulat	Jan	Feb.	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
PM2.5 Bandung (B)	13,6	7,8	9,7	4,3	21,1	18,2	17,4	12,7	19,4	15,3	6,8	9,8
Lembang (L)		2,9	8,8	9,5	15,7	12,9	9,7	15,4	19,2	11,7	6,7	3,8
Ratio B : L		2,7	1,1	0,5	1,3	1,4	1,8	0,8	1,0	1,3	1,0	2,6
Kasar B	13,6	7,4	9,7	7,4	19,1	18,4	19,1	18,8	24,6	20,1	14,2	9,2
L		3,6	4,8	3,9	4,5	6,1	6,0	13,2	11,4	4,5	1,7	1,4
Ratio:B/L		2,1	2,0	1,9	4,2	3,0	3,2	1,4	2,2	4,5	8,4	6,6
<10 μm (PM10)	27,2	15,2	19,4	12,1	40,2	36,6	34,0	31,2	44,1	35,4	21,0	18,9
Ratio:B/L		6,5	13,6	13,4	20,1	19,0	15,7	28,6	30,6	16,2	7,9	5,2
		2,3	1,4	0,9	2,0	1,9	2,2	1,1	1,4	2,2	2,7	3,6
Curah Hujan (mm)	7,4	4,6	9,6	6,2	11,8	4,5	7,8	23,0	6,2	13,3	13,1	8,6
		6,8	8,3	7,8	10,3	3,1	5,3	11,3	2,8	19,3	20,3	12,8

Keterangan: baris pertama data untuk kota Bandung (B); baris ke dua data untuk daerah Lembang.(L);
baris ke tiga data ratio

Tabel 2. Konsentrasi unsur (ng/m^3) dalam partikulat udara halus di lingkungan P3TKN tahun 1999.

Rata ² ng/m^3	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
Al	33,2 ± 2,9	17,2 ± 3,6	66,2 ± 4,6	17,2 ± 13,8	26,3 ± 7,2	25,7 ± 8,4	119 ± 86	108 ± 17	122 ± 18	180 ± 59	111 ± 19	80 ± 33
Br	4,8 ± 0,5	3,9 ± 1,4	5,8 ± 3,5	2,5 ± 1,8	4,6 ± 1,4	3,9 ± 1,6	2,8 ± 1,6	2,5 ± 0,9	2,2 ± 0,4	4,1 ± 1,2	2,8 ± 1,2	11,0 ± 4,1
Ca	82 ± 12	64 ± 18	199 ± 125	73 ± 31	61 ± 29	107 ± 57	178 ± 111	193 ± 120	75 ± 36	428 ± 215	232 ± 143	132 ± 75
Ce	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,4	1,8 ± 1,1	1,2 ± 0,4	1,3 ± 0,5	1,3 ± 0,4	1,3 ± 0,6	1,4 ± 0,5	1,3 ± 0,5	1,3 ± 0,3
Cl	3,9 ± 0,9	3,7 ± 0,9	10,8 ± 8,4	3,8 ± 2,4	4,3 ± 0,6	3,3 ± 1,0	6,5 ± 3,1	9,7 ± 2,6	7,5 ± 0,5	9,6 ± 1,3	8,2 ± 2,9	3,6 ± 1,1
Cr	5,7 ± 1,4	11,1 ± 5,9	5,1 ± 2,4	7,0 ± 3,1	9,4 ± 2,9	7,7 ± 3,2	7,4 ± 2,0	3,0 ± 0,1	4,3 ± 2,0	4,2 ± 1,2	5,1 ± 1,8	4,6 ± 1,0
Fe	126 ± 16	134 ± 28	124 ± 49	170 ± 66	201 ± 111	136 ± 20	353 ± 310	226 ± 62	298 ± 134	307 ± 154	245 ± 30	228 ± 38
I	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,04	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,28 ± 0,20	0,20 ± 0,17	0,13 ± 0,09	0,10 ± 0,07	0,13 ± 0,05	0,12 ± 0,05	0,08 ± 0,02	0,10 ± 0,06
Mn	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,07 ± 0,02
Na	4,3 ± 2,9	3,3 ± 0,8	5,3 ± 1,9	1,6 ± 1,3	5,5 ± 4,4	5,1 ± 2,9	4,9 ± 2,0	4,9 ± 1,4	5,0 ± 1,8	4,1 ± 1,1	2,8 ± 0,7	2,6 ± 0,8
Sb	1,6 ± 0,6	0,22 ± 0,04	1,0 ± 0,7	0,21 ± 0,04	0,91 ± 0,45	0,54 ± 0,30	0,99 ± 0,45	0,50 ± 0,20	1,0 ± 0,6	0,98 ± 0,48	0,41 ± 0,04	0,58 ± 0,30
Sc	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,003	0,01 ± 0,003	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,004	0,02 ± 0	0,02 ± 0,004	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0	0,03 ± 0,007	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0
V	0,18 ± 0,01	0,09 ± 0,04	0,25 ± 0,17	0,02 ± 0,01	0,09 ± 0,04	0,11 ± 0,04	0,08 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,27 ± 0,18	0,25 ± 0,18	0,10 ± 0,03
Zn	7,8 ± 0,9	4,8 ± 0,4	9,2 ± 0,2	12,3 ± 5,6	8,4 ± 2,4	5,4 ± 1,4	10,1 ± 0,9	7,8 ± 63,1	8,1 ± 1,6	9,2 ± 2,2	6,4 ± 1,8	6,2 ± 1,2

Keterangan: hasil analisis adalah rata-rata yang diperoleh dari empat kali pencuplikan/bulan

Tabel 3. Konsentrasi unsur (ng/m^3) dalam partikulat udara kasar lingkungan P3TkN tahun 1999.

Rata ² ng/m^3	Jan	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
A	339 ± 85	238 ± 107	295 ± 153	273 ± 82	477 ± 261	578 ± 143	555 ± 115	351 ± 218	771 ± 123	370 ± 128	321 ± 24	191 ± 57
Br	8,9 ± 1,1	7,3 ± 2,3	8,4 ± 3,6	6,8 ± 1,7	9,2 ± 2,4	7,7 ± 1,5	5,3 ± 2,3	4,6 ± 0,7	4,3 ± 0,9	7,6 ± 3,3	7,4 ± 2,9	6,3 ± 2,7
Ca	289 ± 174	285 ± 110	455 ± 246	378 ± 248	492 ± 156	608 ± 114	461 ± 105	382 ± 184	343 ± 154	1037 ± 610	357 ± 111	209 ± 123
Ce	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,4	0,7 ± 0,3	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,4	1,2 ± 0,4	1,4 ± 0,5	1,1 ± 0,4
Cl	12,2 ± 2,0	8,1 ± 6,6	16,7 ± 8,6	5,9 ± 3,9	5,2 ± 0,7	30,8 ± 26,4	10,4 ± 1,0	11,4 ± 4,8	13,0 ± 2,9	10,3 ± 3,4	8,9 ± 2,8	6,3 ± 2,7
Cr	5,6 ± 3,8	4,7 ± 1,7	6,5 ± 3,7	5,8 ± 4,9	4,4 ± 1,2	3,9 ± 0,9	4,3 ± 0,4	5,1 ± 1,5	4,9 ± 1,1	4,2 ± 1,5	4,7 ± 1,3	4,8 ± 0,7
Fe	411 ± 267	181 ± 29	381 ± 239	178 ± 31	314 ± 173	460 ± 179	343 ± 154	631 ± 188	723 ± 341	386 ± 133	323 ± 87	248 ± 39
I	0,14 ± 0,08	0,21 ± 0,08	0,19 ± 0,04	0,19 ± 0,06	0,34 ± 0,08	0,25 ± 0,06	0,13 ± 0,11	0,08 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,08 ± 0,05	0,08 ± 0,03
Mn	0,39 ± 0,14	0,26 ± 0,04	0,34 ± 0,18	0,22 ± 0,09	0,50 ± 0,32	0,59 ± 0,12	0,77 ± 0,14	0,67 ± 0,5	1,1 ± 0,2	0,62 ± 0,23	0,27 ± 0,09	0,26 ± 0,11
Na	15,2 ± 2,1	6,6 ± 2,5	11,4 ± 3,3	5,6 ± 1,9	16,5 ± 11,3	28,0 ± 12,8	14,8 ± 3,4	10,9 ± 6,6	15,7 ± 3,5	7,8 ± 2,9	4,6 ± 1,0	4,3 ± 1,5
Sb	0,48 ± 0,02	0,31 ± 0,11	0,32 ± 0,16	0,49 ± 0,26	0,71 ± 0,51	0,73 ± 0,46	0,48 ± 0,19	0,59 ± 0,34	1,36 ± 0,67	0,91 ± 0,40	0,43 ± 0,14	0,32 ± 0,09
Sc	0,09 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,04	0,03 ± 0,02	0,11 ± 0,07	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,06	0,20 ± 0,04	0,18 ± 0,10	0,12 ± 0,07	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,02
V	0,16 ± 0,03	0,07 ± 0,04	0,11 ± 0,10	0,06 ± 0,04	0,15 ± 0,06	0,19 ± 0,02	0,22 ± 0,08	0,11 ± 0,04	0,26 ± 0,10	1,19 ± 1,03	0,67 ± 0,64	0,08 ± 0,01
Zn	13,1 ± 5,9	7,7 ± 2,1	8,8 ± 6,2	8,0 ± 3,0	10,3 ± 4,1	10,5 ± 2,8	12,0 ± 5,5	8,1 ± 1,6	9,1 ± 3,6	8,6 ± 1,7	8,1 ± 2,3	7,2 ± 1,5

Tabel 4. Konsentrasi unsur (ng/m^3) dalam partikulat udara halus lingkungan BMG Lembang tahun 1999.

Rata-rata ng/m^3	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agst.	Sep.	Okt.	Nop.	Des.
Al	60 ± 42	19,4 ± 6,7	10,4 ± 6,4	6,9 ± 3,2	102 ± 94	106 ± 6	130 ± 15	142 ± 3	109 ± 14	103 ± 22	48 ± 9
Br	2,4 ± 0,2	2,8 ± 0,8	1,8 ± 0,9	2,1 ± 0,5	2,6 ± 1,0	1,6 ± 0,9	2,4 ± 0,9	2,4 ± 0,7	1,8 ± 0,4	1,6 ± 0,4	7,5 ± 1,7
Ca	218 ± 163	68 ± 52	37 ± 23	46 ± 15	140 ± 25	137 ± 71	219 ± 79	137 ± 81	211 ± 72	290 ± 155	100 ± 28
Ce	0,9 ± 0,2	1,0 ± 0,2	2,4 ± 2,2	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,3	1,0 ± 0,3	1,1 ± 0,2	1,3 ± 0,4	1,3 ± 0,4	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2
Cl	11,4 ± 5,1	2,9 ± 0,8	2,9 ± 1,4	3,7 ± 1,3	7,5 ± 2,7	7,9 ± 0,9	8,1 ± 1,2	7,7 ± 3,9	6,7 ± 0,9	7,1 ± 0,9	2,9 ± 0,4
Cr	35 ± 13	43 ± 19	35 ± 17	23 ± 4	31 ± 19	22 ± 5	20 ± 9	39 ± 10	36 ± 14	3,4 ± 1,3	3,9 ± 0,9
Fe	632 ± 431	1062 ± 277	919 ± 303	650 ± 202	1067 ± 349	599 ± 160	687 ± 462	1152 ± 250	1087 ± 630	187 ± 40	400 ± 316
I	0,21 ± 0,05	0,17 ± 0,03	0,16 ± 0,12	0,39 ± 0,08	0,15 ± 0,09	0,07 ± 0,04	0,13 ± 0,08	0,22 ± 0,09	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,16 ± 0,02
Mn	0,03 ± 0,003	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,01
Na	12,6 ± 6,9	2,8 ± 1,0	2,9 ± 1,05	1,8 ± 1,2	4,2 ± 2,2	5,9 ± 1,9	6,4 ± 0,8	6,7 ± 2,4	4,2 ± 0,9	4,4 ± 1,2	2,1 ± 1,2
Sb	1,6 ± 0,8	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,4 ± 0,02	0,5 ± 0,4	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,2
Sc	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,004
V	0,03 ± 0,03	0,06 ± 0,05	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,07	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,05	0,10 ± 0,09	0,06 ± 0,06
Zn	8,1 ± 1,8	15,1 ± 4,5	10,4 ± 1,3	9,8 ± 2,1	14,2 ± 6,9	11,4 ± 2,1	10,0 ± 2,7	16,4 ± 2,3	12,5 ± 2,1	5,1 ± 0,8	7,1 ± 2,2

Tabel 5. Konsentrasi unsur (ng/m^3) dalam partikulat udara kasar lingkungan BMG Lembang tahun 1999.

Rata ng/m^3	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
Al	88 ± 33	93 ± 47	76 ± 49	57 ± 48	196 ± 165	233 ± 30	462 ± 240	427 ± 76	183 ± 134	160 ± 96	52 ± 29
Br	5,8 ± 0,7	5,4 ± 0,7	4,4 ± 1,5	4,4 ± 1,0	5,2 ± 1,0	3,8 ± 0,4	4,5 ± 0,5	4,9 ± 0,9	4,4 ± 0,7	2,4 ± 1,1	9,7 ± 2,9
Ca	274 ± 128	271 ± 146	53 ± 11	76 ± 19	208 ± 70	498 ± 209	279 ± 127	222 ± 82	343 ± 198	265 ± 94	125 ± 22
Ce	0,85 ± 0,13	0,92 ± 0,04	0,95 ± 0,17	1,0 ± 0,2	1,3 ± 0,6	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,5	1,3 ± 0,4	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,0	0,91 ± 0,33
Cl	13,9 ± 8,4	3,2 ± 1,4	6,2 ± 3,4	1,9 ± 1,1	9,3 ± 4,9	8,0 ± 1,0	14,2 ± 8,9	6,5 ± 2,2	6,2 ± 1,2	7,3 ± 1,1	3,5 ± 1,9
Cr	4,0 ± 0,8	7,2 ± 4,5	4,5 ± 1,1	27 ± 15	47 ± 39	28 ± 12	32 ± 14	33 ± 23	28 ± 18	29 ± 16	3,7 ± 1,6
Fe	136 ± 28	150 ± 32	183 ± 47	1019 ± 198	1035 ± 470	1125 ± 290	1239 ± 549	998 ± 374	930 ± 407	329 ± 269	202 ± 78
I	0,31 ± 0,24	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,05	0,07 ± 0,03	0,11 ± 0,08	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,03	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,06
Mn	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,07	0,08 ± 0,07	0,08 ± 0,06	0,18 ± 0,10	0,21 ± 0,07	0,62 ± 0,43	0,63 ± 0,10	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,03
Na	12,4 ± 3,9	6,2 ± 3,4	6,8 ± 5,0	3,6 ± 2,9	9,1 ± 2,8	9,9 ± 2,9	15,9 ± 10,2	10,6 ± 1,6	4,8 ± 2,6	4,8 ± 0,9	2,6 ± 1,9
Sb	0,19 ± 0,04	0,34 ± 0,18	0,20 ± 0,02	0,33 ± 0,07	0,44 ± 0,17	0,42 ± 0,15	0,47 ± 0,17	0,42 ± 0,07	0,47 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,26 ± 0,08
Sc	0,02 ± 0,004	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,11 ± 0,09	0,12 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,004
V	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,11 ± 0,08	0,09 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,01 ± 0,002	0,04 ± 0,03
Zn	4,8 ± 0,9	6,5 ± 1,9	5,7 ± 0,6	11,6 ± 3,9	15,8 ± 9,0	12,8 ± 3,1	14,3 ± 3,1	15,0 ± 2,9	13,0 ± 1,8	9,7 ± 3,3	6,6 ± 1,8

Tabel 6. Faktor pengayaan unsur dalam cuplikan halus Bandung Tahun 1999.

Unsur	Jan.	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nop.	Des.
Al	1	0,3	1	0,3	0,4	0,5	2	1	1	2	1	1
Br	3017	2451	3926	1047	2248	2145	1173	814	774	1387	795	4840
Ca	4	3	9	2	2	4	3	4	2	10	5	4
Ce	23	21	19	14	22	28	23	17	19	20	15	23
Cl	47	45	141	31	40	35	52	61	51	62	45	31
Cr	89	174	86	73	115	106	76	24	38	36	36	51
Fe	4	4	4	4	5	4	7	4	5	5	4	5
I	1037	723	745	210	684	550	272	163	229	254	114	220
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Sb	12886	1729	8800	1100	5561	6806	5186	4156	6820	4146	1455	10725
V	2,1	0,8	2,5	0,2	0,8	1,1	1,1	0,2	0,6	2,7	1,3	0,8
Zn	175	107	222	184	147	107	151	91	102	111	65	97

Tabel 7. Faktor pengayaan unsur dalam cuplikan kasar Bandung Tahun 1999.

Unsur	Jan.	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nop.	Des.
Al	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
Br	900	1217	1149	1768	723	672	440	202	210	581	1067	2047
Ca	4,9	3,3	4,3	6,7	2,7	3,6	2,6	1,2	1,2	5,5	3,5	4,8
Ce	4	7	7	8	3	3	4	2	3	5	8	9
Cl	13	26	44	30	7,8	52	17	10	12	15	25	23
Cr	14	19	22	38	9	8	9	6	6	8	17	23
Fe	2	2	3	2	1	2	1	1	2	2	2	2
I	71	171	132	241	134	109	54	18	27	34	58	77
Mn	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sb	607	996	550	1595	697	795	501	324	831	870	775	760
V	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	2	2	0,3
Zn	47	46	43	74	29	33	36	13	16	24	69	50

Tabel 8. Faktor pengayaan unsur dalam cuplikan halus Lembang Tahun 1999

Unsur	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nop.	Des.
Al	8	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1
Br	1074	614	534	803	735	354	704	435	528	722	3313
Ca	7	1	1	1	3	2	4	2	4	9	3
Ce	16	9	30	14	14	9	14	10	16	14	14
Cl	97	12	16	27	41	33	46	26	38	60	24
Cr	385	237	257	220	220	121	147	172	264	33	44
Fe	14	12	13	12	15	7	10	10	16	4	9
I	462	186	235	746	213	77	191	194	117	176	352
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Sb	8965	1018	1503	2822	1785	1210	1870	968	2273	1760	1650
V	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0,3	0,8	0,5
Zn	127	118	105	137	142	86	84	101	136	63	110

Tabel 9. Faktor pengayaan unsur dalam cuplikan kasar Lembang Tahun 1999.

Unsur	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agt.	Sep.	Okt.	Nop.	Des.
Al	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Br	2552	1607	1285	1305	1153	676	361	364	787	698	4044
Ca	8	5	2	2	3	5	2	1	3	5	4
Ce	16	11	12	13	12	9	5	4	8	12	16
Cl	117	18	35	11	39	27	22	9	21	40	28
Cr	44	51	29	198	259	123	64	61	123	206	42
Fe	3	2	3	12	9	10	5	4	8	5	4
I	682	117	117	103	121	35	28	26	53	61	201
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sb	1045	1247	733	1210	1210	924	470	385	1034	933	1372
V	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3
Zn	79	63	63	126	126	82	40	39	82	96	105

KESIMPULAN

Fraksi PM_{2.5} (partikulat halus) untuk daerah Bandung berkisar di antara 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 21,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan untuk daerah Lembang berkisar di antara 2,9 hingga 19,2 selama 24 jam pencuplikan. Sementara fraksi PM₁₀ di daerah kota Bandung 12,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 44,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan fraksi PM₁₀ di daerah Lembang 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Data ini masih jauh di bawah standar rata-rata Badan perlindungan lingkungan Amerika Serikat (US EPA) 1997 atau Baku mutu udara ambien nasional, dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara tanggal: 26 Mei 1999 yaitu 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM_{2.5} dan 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM₁₀ selama 24 jam. Hasil perhitungan faktor pengayaan menunjukkan bahwa telah terjadi pengayaan unsur baik pada partikulat halus maupun kasar. Faktor pengayaan unsur pada partikulat halus lebih tinggi daripada partikulat kasar. Faktor pengayaan unsur pada cuplikan partikulat udara kota untuk Bandung lebih tinggi dibandingkan dengan cuplikan partikulat udara untuk daerah Lembang. Lingkungan udara kota Bandung maupun Lembang sudah tercemar oleh beberapa unsur seperti Br, Ce, Cl, Cr, I, Sb dan Zn dengan catatan bahwa kota Bandung lebih tercemar dari daerah Lembang. Disamping itu data menunjukkan bahwa sumber pencemar utama kota Bandung dan Lembang sama.

DAFTAR PUSTAKA

1. HIEN, P.D., An Overview of Air Pollution Studies in RCA Countries, Second Meeting of National Co-ordinators for the Sub Project on Nuclear Analytical Techniques, ANSTO, Lucas Height, Australia, 20-24 February, 1995.
2. EZOE, S., Garis Besar Studi Tentang Manajemen Kualitas Udara Terpadu Untuk Daerah Metropolitan Jakarta, Seminar For The Study On The Integrated Air