

PENENTUAN KADAR UNSUR RUNUTAN DALAM BAHAN MAKANAN MENGGUNAKAN TEKNIK ANALISIS AKTIVASI NEUTRON

Ratnawati Kukuh, Harjoto Djojosebroto
Puslitbang Teknik Nuklir-BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN KADAR UNSUR RUNUTAN DALAM BAHAN MAKANAN MENGGUNAKAN TEKNIK ANALISIS AKTIVASI NEUTRON. Kadar berbagai unsur runutan dalam cuplikan makanan umumnya sangat rendah. Walaupun demikian unsur runutan tertentu, yang dikenal sebagai unsur esensial, ternyata mempunyai peran penting dalam proses metabolisme. Defisiensi atau intoksikasi unsur runutan esensial tersebut dapat menimbulkan gejala ketidaknormalan kesehatan manusia. Pada penelitian ini ditentukan kandungan unsur Zn, Fe, Al, Mn, Co, serta masukan harian unsur-unsur tersebut dalam cuplikan makanan. Cuplikan makanan yang digunakan berasal dari bahan pangan pokok yang dikonsumsi oleh masyarakat Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Penyiapan cuplikan makanan dilakukan dengan metode *duplicate diet* dan pengeringan beku pada suhu -54°C . Teknik analisis yang digunakan adalah teknik analisis aktivasi neutron. Uji kesahihan hasil analisis dilakukan dengan menerapkan tatakerja analisis untuk menentukan kandungan unsur dalam cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a, dan membandingkan nilai hasil analisis dengan nilai pada sertifikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis unsur Zn, Fe, Al, Mn, dan Co memberikan presisi dan ketelitian yang cukup baik. Hasil penentuan masukan harian unsur Zn dalam cuplikan makanan dari berbagai daerah di Pulau Jawa berkisar antara 2,8 – 22,8 mg/hari (batas normal 5 – 40 mg/hari), unsur Fe berkisar antara 3,1 – 26,5 mg/hari (batas normal 6 – 40 mg/hari), unsur Al berkisar antara 4,2 – 32,9 mg/hari (batas normal 2 – 45 mg/hari), unsur Mn berkisar antara 1,0 – 5,6 mg/hari (batas normal 0,4 – 10,0 mg/hari), dan unsur Co berkisar antara 0,005 – 0,074 mg/hari (batas normal 0,005 – 1,8 mg/hari).

Kata kunci: unsur runutan, bahan makanan, analisis aktivasi neutron

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF TRACE ELEMENT LEVELS IN DIET BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS. Trace element levels in foodstuff are normally low. Although the levels are low, certain trace elements which are called

essential trace elements have an important role in metabolism process. Deficiency or intoxication of essential trace elements may lead to abnormal health. In this study the levels of Zn, Fe, Al, Mn, and Co in diet samples were determined by neutron activation analysis, and then the daily intakes of these elements were estimated. The samples were prepared by duplicate diet method, representing those that were consumed by population from West, Central and East Java. Following the collection the respective samples were blended, then were freeze dried at -54°C . The elemental quantification were performed by neutron activation analysis. The traceability of the determination was ensured using standard reference material NIST-SRM-1548a. The results show that the daily intake for Zn were 2.8-22.8 mg/day (reference value were 5-40 mg/day), Fe were 3.1-26.5 mg/day (reference value were 6-40 mg/day), Al were 4,2-32.9 mg/day (reference value were 2-45 mg/day), Mn were 1.0-5,6 mg/day (reference value were 0.4-10,0 mg/day), and Co were 0,005-0,074mg/day (referece value were 0.005 -1.8 mg/day).

Key words : trace element, foodstuff, neutron activation analysis

PENDAHULUAN

Dewasa ini telah diketahui bahwa patogenesis penyakit pada manusia seringkali disebabkan oleh ketidaknormalan metabolisme unsur runutan tertentu. Di samping itu akhir-akhir ini kekhawatiran akan risiko kesehatan akibat paparan yang berlebih dari unsur tertentu (akibat kondisi lingkungan) semakin besar. Jalur utama masuknya unsur ke dalam tubuh manusia adalah melalui makanan dan juga melalui jalur pernapasan apabila unsur tersebut terikat pada butiran padat yang sangat halus. Itulah sebabnya data mengenai kandungan unsur runutan dalam bahan makanan dapat digunakan untuk memprakirakan jumlah unsur yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan.

Pemasukan mikromineral antara lain Zn, Co, Al, Mn, Se, Cu, Sr, dan As, ke dalam tubuh manusia dapat ditaksir berdasarkan data kandungan berbagai unsur dalam makanan yang dikonsumsi sehari-hari. Unsur runutan tertentu yang dikenal sebagai unsur esensial, mempunyai peran penting dalam proses metabolisme.

Defisiensi atau intoksikasi unsur runutan esensial tersebut dapat menimbulkan ketidaknormalan kesehatan manusia. Fakta menunjukkan bahwa defisiensi seng secara klinis mengakibatkan gangguan pertumbuhan bayi dan anak pra sekolah, hilangnya selera/ nafsu makan, terjadinya perubahan perilaku, dan beberapa gejala klinis lainnya. Hal tersebut tidak hanya disebabkan oleh terjadinya defisiensi di lingkungan, tetapi disebabkan pula oleh ketidak seimbangan dalam komposisi makanan saji (diet) yang diberikan di daerah penduduk miskin. Ketidak seimbangan makanan ini secara tidak sengaja terjadi akibat pemberian makanan yang hanya kaya akan kalori dan protein, tetapi miskin akan unsur runutan esensial.

Peningkatan gizi merupakan salah satu masalah yang perlu mendapat perhatian, terutama bagi masyarakat Indonesia dengan tingkat sosial ekonomi rendah. Dalam usaha untuk mengatasi masalah anemia akibat kekurangan gizi dan meningkatkan pertumbuhan bayi / anak pra sekolah telah dilakukan studi fortifikasi zat besi dan seng pada bahan pangan. Untuk menunjang hal tersebut perlu adanya data masukan harian dalam makanan saji yang dikonsumsi oleh suatu populasi, agar dapat dinilai apakah masukan suatu unsur untuk populasi tersebut jumlahnya mencukupi, kurang (defisien), atau bahkan memungkinkan terjadinya intoksikasi.

Melalui kegiatan ini dikumpulkan data kandungan berbagai unsur runutan yang penting dalam bahan makanan yang dikonsumsi penduduk untuk mengungkap berbagai masalah kesehatan. Mengingat teknik analisis aktivasi neutron dapat digunakan untuk menentukan beberapa unsur secara serentak, maka dalam kegiatan ini akan ditentukan masukan harian berbagai unsur runutan di antaranya unsur Al, Mn, Co, Zn, dan Fe.

Agar data yang diperoleh cukup sah dan untuk menjamin mampu telusur (*traceability*) maka dilaksanakan penerapan tata kerja analisis untuk menentukan kandungan unsur dalam cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a, dan membandingkan nilai hasil analisis dengan nilai pada sertifikat.

BAHAN DAN TATA KERJA

Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar Tritisol untuk Al, Mn, Co, Zn, dan Fe, HNO₃ dari E. Merck, cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a, cuplikan makan siang karyawan Puslitbang Teknik Nuklir (P₃TkN) cuplikan makan siang karyawan P.T. Trimex Bandung, cuplikan makanan yang berasal dari daerah Lembang, Cianjur, Padalarang, Sumedang, Garut, Slawi, Brebes, Tasikmalaya, Kroya, Banjar, Gombong, Yogya, Solo, Madiun, Mojokerto, Sidoarjo, Surabaya, dan Tuban.

Peralatan yang digunakan adalah alat pengering beku Karl Kolb buatan Jerman, pompa vakum, alat cacah spektrometer- γ multi saluran yang dilengkapi detektor germanium murni. Alat *blender* bermata titan, timbangan kue, wadah plastik, labu bulat berukuran 250 mL, corong, pisau, spatula yang terbuat dari plastik, sarung tangan, kantong plastik, labu takar berukuran 100 mL, dan 50 mL, termos es, lampu infra merah, vial polietilen, serta fasilitas iradiasi LS Reaktor Triga 2000 Bandung.

Pengumpulan cuplikan makanan

Penyiapan cuplikan makanan untuk analisis aktivasi neutron dilaksanakan dalam ruang bebas debu. Untuk mencegah kontaminsi unsur logam, maka sejauh mungkin dihindari penggunaan peralatan yang terbuat dari logam. Wadah dan peralatan yang akan digunakan dibersihkan dengan larutan HNO₃, kemudian dibilas dengan akuades.

Penyiapan cuplikan dilakukan dengan metode *duplicate diet*. Cuplikan yang digunakan berasal dari bahan pangan pokok yang dikonsumsi oleh penduduk Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Diharapkan cuplikan makanan yang dikumpulkan akan menggambarkan makanan yang dikonsumsi oleh bagian terbesar penduduk. Di kota besar atau di daerah industri, cuplikan makanan diperoleh dari

makan siang yang disiapkan setiap hari kerja oleh pabrik atau kantor bagi pegawainya. Dengan cara ini, unsur runutan yang terdapat di dalam cuplikan makan siang duplikat tunggal menggambarkan masukan unsur runutan untuk populasi yang relatif besar (lebih dari 200 orang dewasa) yang mengkonsumsi makan siang tersebut. Untuk maksud ini cuplikan makanan diambil dari makan siang pegawai P₃TkN dan makan siang pegawai PT. Trimex. Cuplikan yang berasal dari penduduk pedesaan dikumpulkan dari beberapa restoran / warung makan di stasiun kereta api, atau di tempat pemberhentian bus, di mana banyak disinggahi oleh para penumpang untuk menyantap makan pagi, siang, dan malam. Cuplikan makanan berupa menu makan siang dikumpulkan dari berbagai daerah yaitu: dari Tasikmalaya, Kroya, Gombang, Yogya, Solo, Madiun, Mojokerto, Sidoarjo, Surabaya, Tuban, Cianjur, Padalarang, Sumedang, Garut, Slawi, Brebes dan Lembang.

Cuplikan makanan dikumpulkan dalam wadah plastik yang telah dicuci dengan larutan HNO₃ 2 N, dan dibilas dengan akuades, sedangkan air minum (air teh atau air putih) dikumpulkan dalam kantong plastik. Untuk pengambilan cuplikan makanan dari daerah yang jauh perlu didinginkan dalam termos es, agar makanan tidak cepat rusak.

Preparasi cuplikan makanan

Makanan individual harian sejumlah lebih kurang 400 gram dan 375 mL air minum dicampur dan dihaluskan hingga homogen menggunakan *blender* bermata titan. Makanan yang sudah dihomogenasi sebanyak 200-250 gram ditempatkan dalam labu bulat, kemudian didinginkan dalam lemari pendingin pada suhu - 40°C, sebelum dilakukan pengeringan beku. Bagian yang lain dari makanan yang sudah diblender dibuang. Pengambilan cuplikan dilakukan selama 5 hari kerja berturut-turut (hari Senin- hari Jumat) untuk cuplikan makanan dari P₃TkN dan PT.Trimex. Cuplikan makanan tersebut kemudian dikeringkan dengan pengeringan beku pada suhu -54°C

hingga kering dan bobotnya tetap. Cuplikan yang telah kering tersebut ditimbang, kemudian dihaluskan dan dihomogenkan menggunakan mortar agat. Selanjutnya dimasukkan ke dalam botol polietilen bertutup. Cuplikan tersebut siap untuk diiradiasi, atau sementara waktu dapat disimpan di dalam eksikator.

Pembuatan larutan standar

Pembuatan larutan standar disesuaikan dengan kadar unsur dalam cuplikan.

Pembuatan larutan standar campuran Fe, Zn, dan Co

Satu mL larutan stok Co dengan konsentrasi 4000 $\mu\text{g/mL}$ diencerkan dengan akuades hingga diperoleh konsentrasi 40 $\mu\text{g/mL}$. Kemudian 0,5 mL larutan Co dengan konsentrasi 40 $\mu\text{g/mL}$, 5mL larutan stok Fe dan 1 mL larutan stok Zn dengan konsentrasi masing-masing 4000 $\mu\text{g/mL}$ diencerkan dengan akuades hingga diperoleh konsentrasi 0,4 $\mu\text{g/mL}$, 400 $\mu\text{g/mL}$, dan 80 $\mu\text{g/mL}$ masing-masing untuk standar Co, Fe, dan Zn. Selanjutnya 100 μL larutan standar campuran hasil pengenceran diteteskan ke dalam vial polietilen kemudian dikeringkan dengan lampu infra merah. Konsentrasi standar Co, Fe, dan Zn masing- masing sebesar 0,04 $\mu\text{g/mL}$, 40 $\mu\text{g/mL}$, 8 $\mu\text{g/mL}$.

Pembuatan larutan standar campuran Mn dan Al

Satu mL larutan stok Mn dan 5 mL larutan stok Al dengan konsentrasi masing-masing 4000 $\mu\text{g/mL}$ diencerkan dengan akuades hingga diperoleh konsentrasi 80 $\mu\text{g/mL}$ untuk standar Mn, dan 400 $\mu\text{g/mL}$ untuk standar Al. Campuran larutan standar sebesar 10 mL diencerkan lagi hingga diperoleh konsentrasi sebesar 16 $\mu\text{g/mL}$ untuk standar Mn dan 80 $\mu\text{g/mL}$ untuk standar Al. Selanjutnya 100 μL larutan campuran standar hasil pengenceran diteteskan pada kertas saring dan kemudian dikeringkan menggunakan lampu infra merah. Konsentrasi standar Mn sebesar 1,6 $\mu\text{g/mL}$ dan Al sebesar 8 $\mu\text{g/mL}$.

Iradiasi cuplikan

Sekitar 1 gram cuplikan makanan dimasukkan ke dalam vial polietilen berukuran 2 mL yang dibersihkan dengan asam nitrat 2 N, dan dibilas dengan akuades. Cuplikan dalam vial polietilen diiradiasi bersama dengan standar dan cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a sebesar 0,1 gram dalam reaktor TRIGA 2000 dengan fluks neutron sekitar $8 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ detik}^{-1}$ selama 3 hari untuk senyawa Fe, Zn dan Co. Untuk senyawa Mn dan Al dilakukan iradiasi pendek (2 menit) menggunakan pneumatik. Segera setelah diiradiasi, cuplikan dipindahkan ke dalam kantong plastik bersih. Radioaktivitas imbas pada cuplikan dicacah selama 100 detik menggunakan spektrometer- γ multi saluran yang dilengkapi detektor germanium murni. Untuk cuplikan yang diiradiasi panjang, pencacahan dilakukan setelah didinginkan selama lebih kurang 1 bulan, dan dicacah selama 5000 detik. Kadar Mn dan Al dalam cuplikan dihitung berdasarkan nilai aktivitas relatif radionuklida ^{28}Al dan ^{56}Mn masing-masing pada energi 1778 dan 846 keV, sedang kadar Fe, Zn, dan Co dalam cuplikan dihitung berdasarkan nilai aktivitas relatif radionuklida ^{59}Fe , ^{65}Zn , dan ^{60}Co masing-masing pada energi 1098, 1115, dan 1332,4 keV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penentuan unsur aluminium, mangan, cobalt, seng, dan besi dalam cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a menggunakan teknik analisis aktivasi neutron tertera pada Tabel 1.

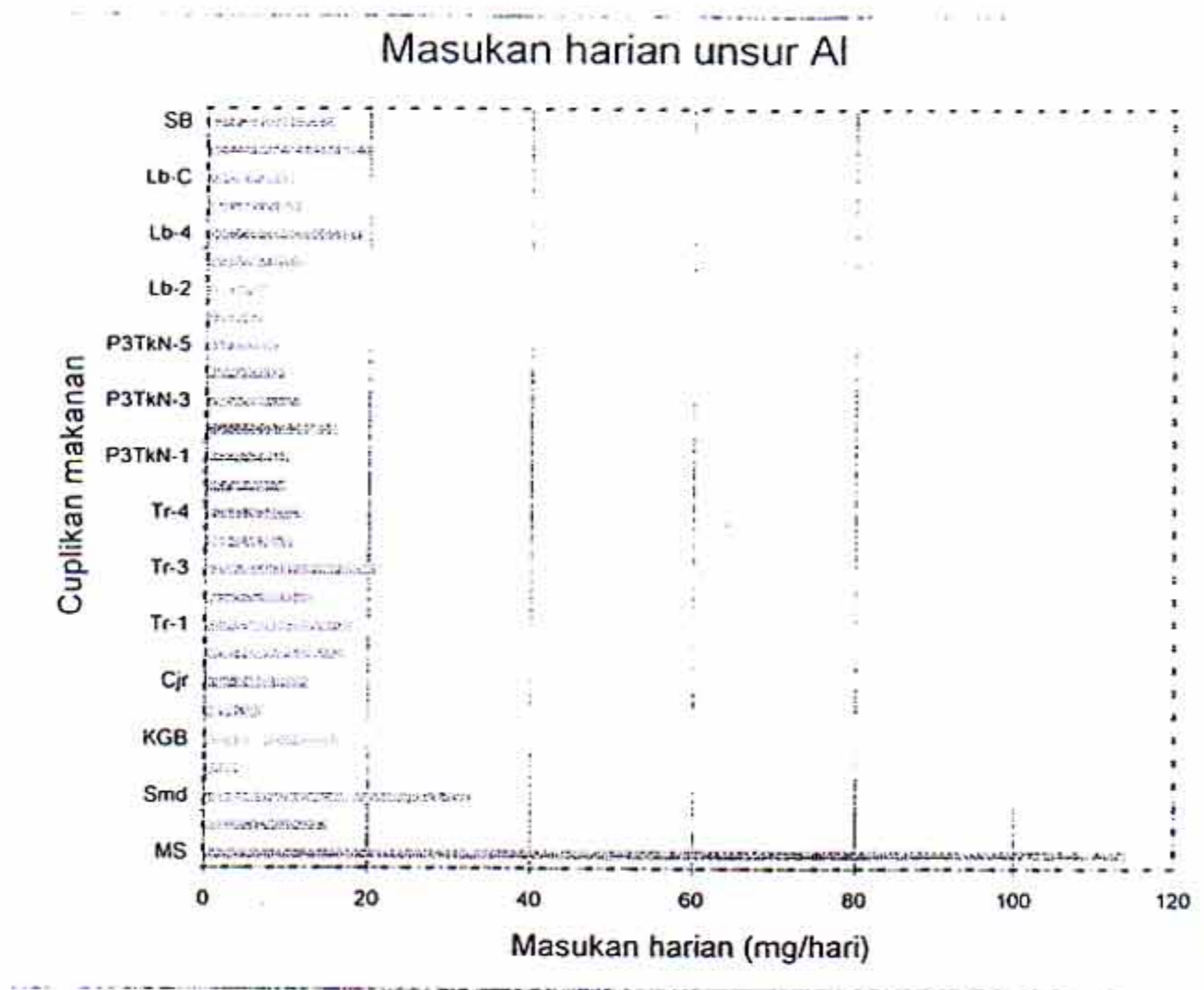
Tabel 1. Hasil penentuan unsur Al, Mn, Co, Zn, dan Fe dalam cuplikan acuan standar NIST-SRM-1548a.

Unsur	Nilai hasil analisis ($\mu\text{g/g}$)	Nilai Sertifikat ($\mu\text{g/g}$)
Al	$75,2 \pm 4,5$	$72,4 \pm 1,4$
Mn	$5,3 \pm 0,6$	$5,75 \pm 0,2$
Co	$0,0287 \pm 0,0015$	0,028
Zn	$20,53 \pm 1,08$	$24,6 \pm 1,7$
Fe	$39,0 \pm 4,8$	$35,3 \pm 3,9$

Dari Tabel 1. terlihat bahwa nilai hasil analisis untuk unsur Al, Mn, Co, Zn, dan Fe memberikan presisi dan ketelitian yang cukup baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa tata kerja analisis yang dilakukan cukup sah. Selanjutnya dengan tata kerja analisis di atas dilakukan penentuan unsur Al, Mn, Co, Fe, dan Zn dalam cuplikan makanan dari berbagai daerah, dan dilanjutkan dengan penentuan masukan harian unsur-unsur tersebut.

Besarnya jumlah kalori dari cuplikan makanan ditentukan dengan cara menimbang setiap komponen misalnya berat nasi, sayur, lauk pauk, buah dan sebagainya. Dari berat setiap komponen dan besarnya kalori per gram dari komponen ini dapat ditentukan besarnya kalori dari komponen makanan masing-masing. Jumlah dan besarnya kalori pada setiap komponen yang ada merupakan besar total kalori dari cuplikan. Penentuan nilai kalori dari komponen makanan ditentukan dari data pada buku Daftar Komposisi Zat Gizi Pangan Indonesia [1]. Dengan mengacu pada buku Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Propinsi 1993, Buku 2, BPS 1993 [2], diperoleh data rata-rata konsumsi per kapita sehari dari konsumsi kalori dan protein bagi penduduk seluruh propinsi Indonesia. Total kalori dari konsumsi kalori rata-rata harian per kapita di kelompok komoditi Jawa Barat sebesar 1787 Kkal untuk konsumsi kota, dan 1996 Kkal untuk konsumsi pedesaan, Jawa Tengah sebesar 1625 Kkal untuk konsumsi kota, dan 1740 Kkal untuk konsumsi pedesaan, Jawa Timur sebesar 1661 Kkal untuk konsumsi kota, dan 1759 Kkal untuk pedesaan serta Daerah Istimewa Yogyakarta sebesar 1612 Kkal untuk konsumsi kota dan 1767 Kkal untuk konsumsi pedesaan. Data total kalori ini digunakan untuk menghitung masukan harian.

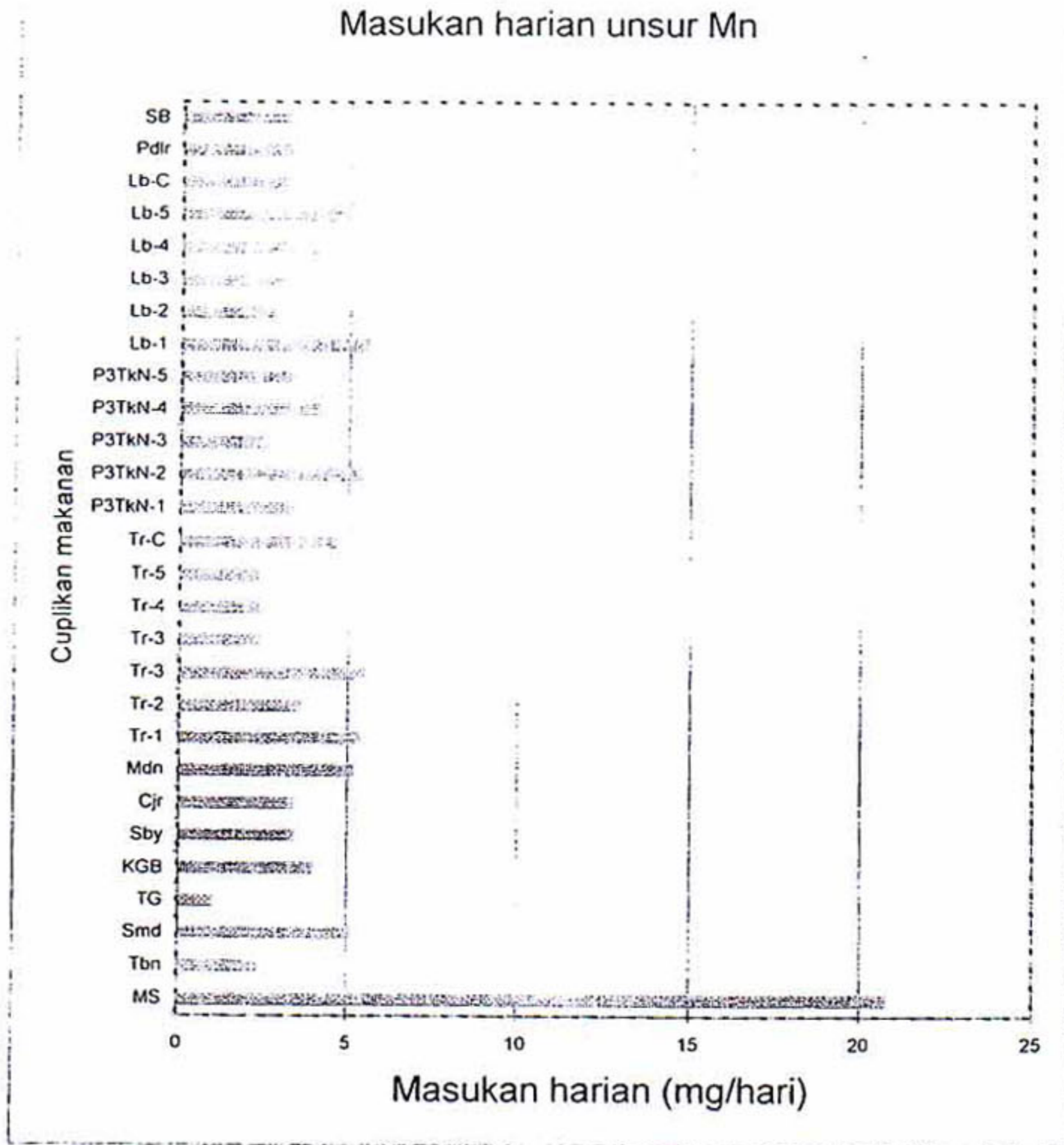
Masukan harian unsur Al, dan Mn pada cuplikan makanan dari berbagai daerah di pulau Jawa tertera pada Tabel 2, sedangkan hasil masukan harian unsur Zn, Fe, dan Co tertera pada Tabel 3. Untuk memudahkan evaluasi, hasil masukan harian unsur Zn, Fe, Co, Al dan Mn disajikan dalam bentuk diagram batang (Gambar 1- 5).



Gambar 1. Masukan harian unsur Al pada beberapa daerah di Pulau Jawa

Keterangan:

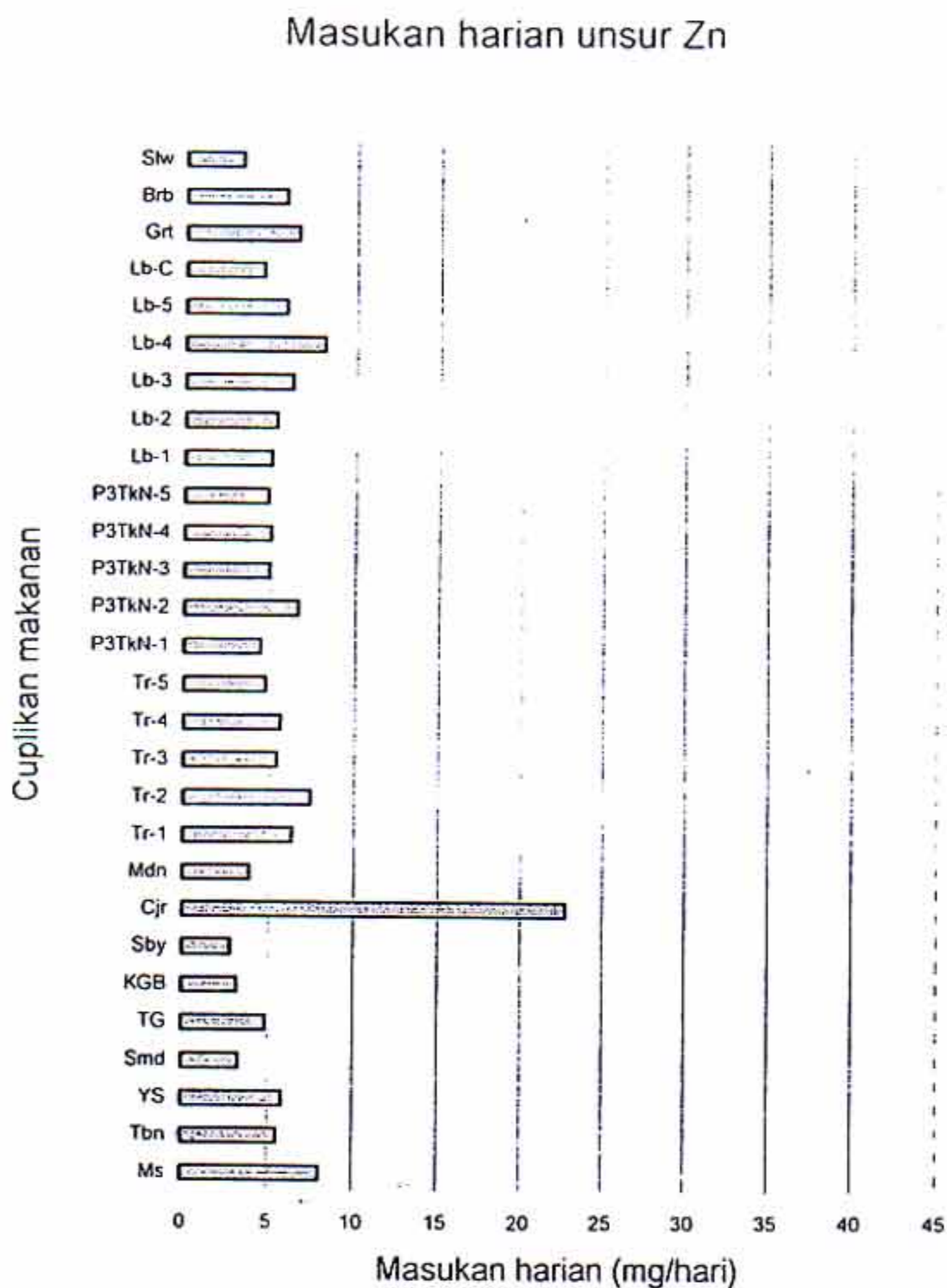
MS	=	Mojokerto- Sidoarjo	Mdn	=	Madiun	Pdlr	=	Padalarang
KGB	=	Kroya-Gombong-Banjar	Smd	=	Sumedang	Brb	=	Brebes
Tr	=	PT. Trimex	Cjr	=	Cianjur	Slw	=	Slawi
Tbn	=	Tuban	Lb	=	Lembang	Grt	=	Garut
YS	=	Yogya - Solo	Lb-C	=	Lembang campuran	TG	=	Tasik-Garut
Sby	=	Surabaya	-----	=	batas normal masukan harian unsur Al			



Gambar 2. Masukan harian unsur Mn pada beberapa daerah di Pulau Jawa

Keterangan:

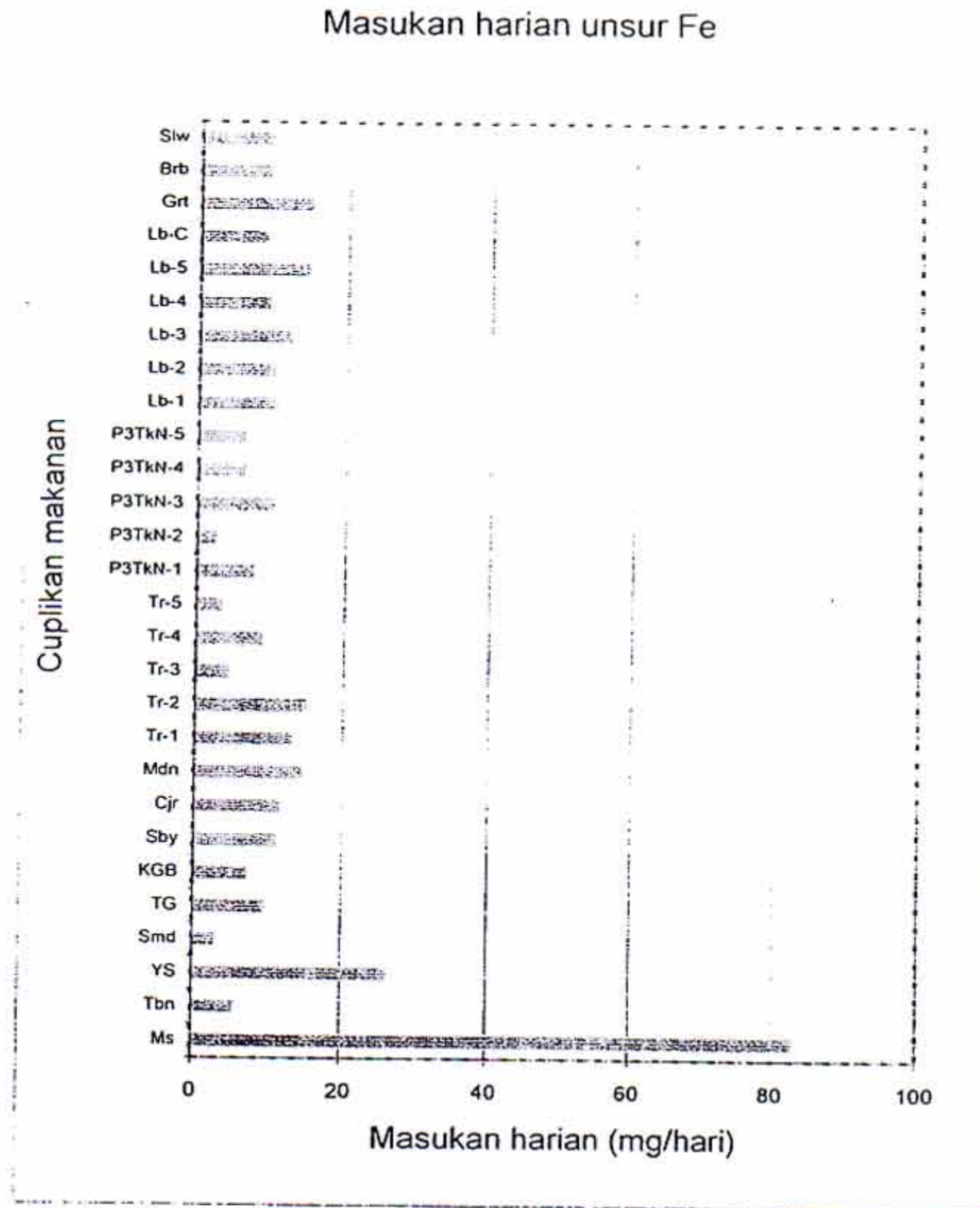
- | | | |
|----------------------------|--|-------------------|
| MS = Mojokerto-Sidoarjo | Mdn = Madiun | Pdlr = Padalarang |
| KGB = Kroya-Gombong-Banjar | Smd = Sumedang | Brb = Brebes |
| Tr = PT. Trimex | Cjr = Cianjur | Slw = Slawi |
| Tbn = Tuban | Lb = Lembang | Grt = Garut |
| YS = Yogya - Solo | Lb-C = Lembang campuran | TG = Tasik-Garut |
| Sby = Surabaya | ----- = batas normal masukan harian unsur Al | |



Gambar 3. Masukan harian unsur Zn pada beberapa daerah di Pulau Jawa

Keterangan:

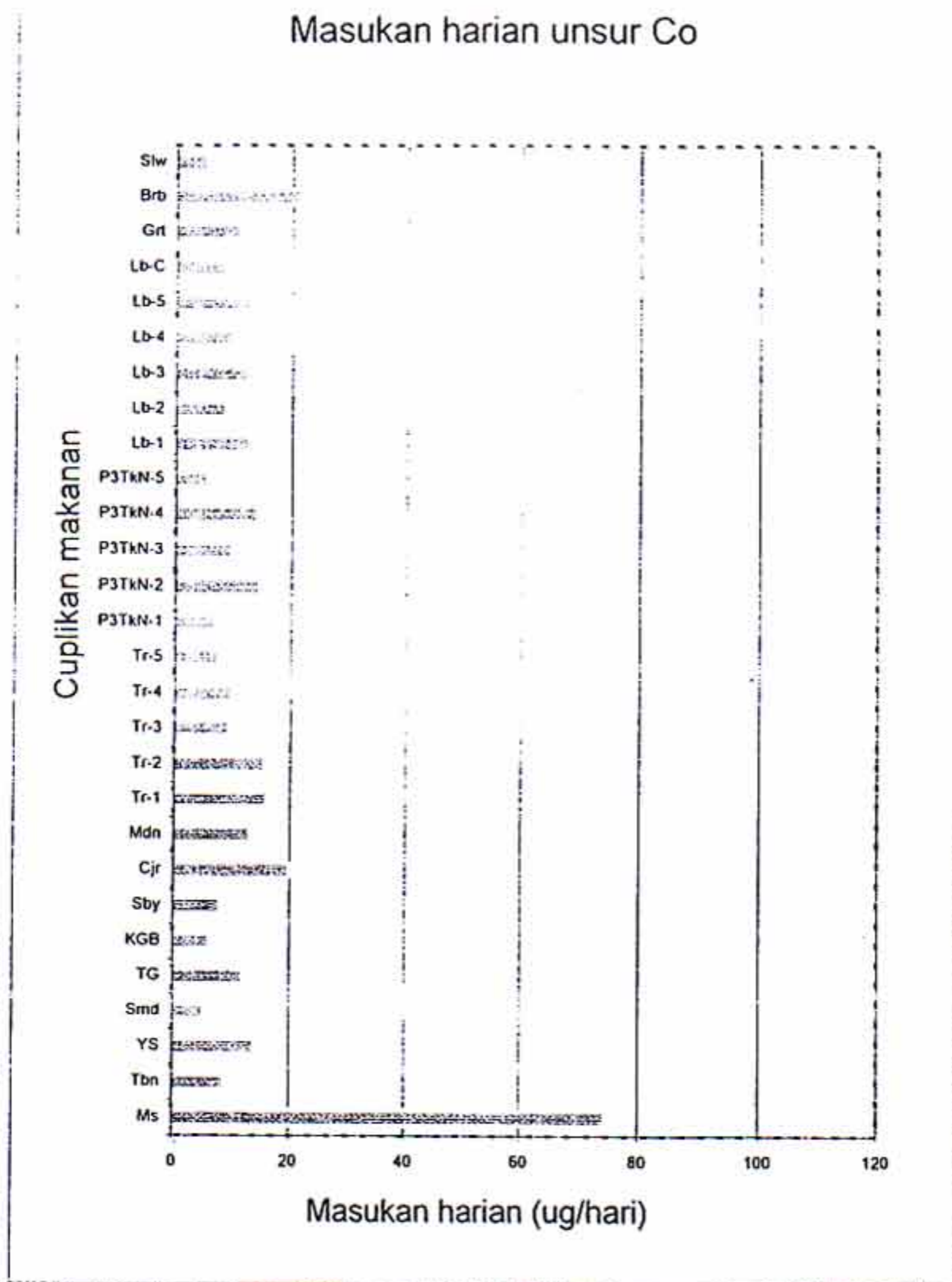
- | | | | | | | | | |
|-----|---|----------------------|-------|---|--------------------------------------|------|---|-------------|
| MS | = | Mojokerto- Sidoarjo | Mdn | = | Madiun | Pdlr | = | Padalarang |
| KGB | = | Kroya-Gombong-Banjar | Smd | = | Sumedang | Brb | = | Brebes |
| Tr | = | PT. Trimex | Cjr | = | Cianjur | Slw | = | Slawi |
| Tbn | = | Tuban | Lb | = | Lembang | Grt | = | Garut |
| YS | = | Yogya - Solo | Lb-C | = | Lembang campuran | TG | = | Tasik-Garut |
| Sby | = | Surabaya | ----- | = | batas normal masukan harian unsur Mn | | | |



Gambar 4. Masukan harian unsur Fe pada beberapa daerah di Pulau Jawa

Keterangan:

- | | | | | | | | | |
|-----|---|----------------------|------|---|------------------|------|---|-------------|
| MS | = | Mojokerto- Sidoarjo | Mdn | = | Madiun | Pdlr | = | Padalarang |
| KGB | = | Kroya-Gombong-Banjar | Smd | = | Sumedang | Brb | = | Brebes |
| Tr | = | PT. Trimex | Cjr | = | Cianjur | Slw | = | Slawi |
| Tbn | = | Tuban | Lb | = | Lembang | Grt | = | Garut |
| YS | = | Yogya - Solo | Lb-C | = | Lembang campuran | TG | = | Tasik-Garut |



Gambar 5. Masukan harian unsur Co pada beberapa daerah di Pulau Jawa

Keterangan:

- | | | |
|----------------------------|--|-------------------|
| MS = Mojokerto-Sidoarjo | Mdn = Madiun | Pdlr = Padalarang |
| KGB = Kroya-Gombong-Banjar | Smd = Sumedang | Brb = Brebes |
| Tr = PT. Trimex | Cjr = Cianjur | Slw = Slawi |
| Tbn = Tuban | Lb = Lembang | Grt = Garut |
| YS = Yogya - Solo | Lb-C = Lembang campuran | TG = Tasik-Garut |
| Sby = Surabaya | ----- = batas normal masukan harian unsur Mn | |

Masukan harian unsur Zn pada cuplikan makanan dari berbagai daerah berkisar antara 2,8 – 22,8 mg/hari. Batas normal masukan harian unsur Zn adalah 5 – 40 mg/hari, bila masukan harian < 5 mg/hari akan menyebabkan terjadinya defisiensi seng yang mengakibatkan gangguan pertumbuhan pada bayi dan anak pra sekolah, serta beberapa gejala klinis lainnya. Bila masukan harian unsur tersebut > 40 mg/hari akan mengakibatkan gejala anemi yang disebabkan adanya gangguan metabolisme dari unsur runutan yang lain, terutama unsur Cu yang sangat peka terhadap kadar Zn yang berlebih. Interaksi Cu/Zn memungkinkan terjadinya defisiensi Cu, yang ditunjukkan dengan menurunnya aktivitas *erythrocyte Cu-Zn superoxide dismutase* yang mengakibatkan gejala anemia [4]. Dari hasil masukan harian yang diperoleh, ternyata kandungan unsur Zn pada umumnya rendah, bahkan ada beberapa daerah yang mengalami defisiensi, di antaranya daerah Sumedang, Slawi, Kroya, Gombong, Surabaya dan Madiun.

Masukan harian unsur Fe pada cuplikan makanan dari berbagai daerah berkisar antara 3,1 – 26,5 mg/hari, dan hasil tertinggi terdapat pada cuplikan makanan dari daerah Mojokerto-Sidoarjo yaitu 82,9 mg/hari. Batas normal masukan harian unsur Fe adalah 6 – 40 mg/hari. Defisiensi Fe terjadi bila kadarnya < 6 mg/hari yang akan mengakibatkan anemia. Dari hasil yang diperoleh ternyata masukan harian unsur Fe dari berbagai daerah umumnya masih dalam batas normal, hanya daerah Sumedang yang mengalami defisiensi.

Masukan harian unsur Al pada cuplikan makanan dari berbagai daerah berkisar antara 4,2 – 32,9 mg/hari, dan hasil tertinggi terdapat pada daerah Mojokerto-Sidoarjo yaitu 114,1 mg/hari. Batas normal masukan harian unsur Al adalah 2 – 45 mg/hari [4]. Ini berarti masukan harian unsur Al dari berbagai daerah yang telah ditentukan masih dalam batas normal, kecuali daerah Mojokerto-Sidoarjo. Intoksikasi unsur Al akan membahayakan kesehatan diantaranya menyebabkan penyakit

microcytic hypochromic anaemia, osteomalacia, dan bila terakumulasi di otak akan mengakibatkan penyakit *Alzheimer dementia*.

Tabel 2. Masukan harian unsur Al dan Mn pada cuplikan makanan

No	Cuplikan	Berat basah (g)	kkal total	Berat kering (g)	Total kal/ berat kering	Al		Mn	
						ppm	daily intake (mg)	ppm	daily intake (mg)
1.	MS	200	157,3	50	559,1	204,0 ± 0,4	114,1 ± 0,4	37,2 ± 1,4	20,8 ± 0,8
2.	Tbn	205	188,7	50	466,1	32,2 ± 0,2	15,0 ± 0,1	5,1 ± 0,6	2,4 ± 0,3
3.	YS	135	97,7	35	577,5	56,9 ± 3,1	32,9 ± 1,8	8,9 ± 0,9	5,1 ± 0,5
4.	Smd	365	348,1	45	258,0	16,5 ± 1,6	4,2 ± 0,4	3,7 ± 0,2	1,0 ± 0,05
5.	TG	175	161,0	40	495,9	34,4 ± 0,7	17,1 ± 0,4	8,1 ± 0,7	4,0 ± 0,3
6.	KGB	170	247,3	35	246,3	29,5 ± 0,5	7,3 ± 0,1	13,7 ± 1,1	3,4 ± 0,3
7.	Sby	215	355,5	50	233,6	54,3 ± 2,2	12,7 ± 0,5	14,6 ± 1,8	3,4 ± 0,4
8.	Cjr	750	494,8	150	599,0	28,7 ± 1,4	17,2 ± 0,8	8,6 ± 0,3	5,2 ± 0,2
9.	Mdn	225	297,2	60	355,1	50,5 ± 0,7	17,9 ± 0,2	15,1 ± 0,2	5,4 ± 0,1
10.	Tr-1	250	155,4	35	402,5	32,9 ± 1,9	13,2 ± 0,8	9,0 ± 0,8	3,6 ± 0,3
11.	Tr-2	235	147,4	40	484,9	45,2 ± 4,2	21,9 ± 2,0	11,4 ± 0,5	5,5 ± 0,2
12.	Tr-3	240	187,8	40	380,6	28,7 ± 2,3	10,9 ± 0,9	6,2 ± 0,6	2,4 ± 0,2
13.	Tr-4	225	128,0	30	418,8	28,9 ± 2,2	12,1 ± 0,9	6,1 ± 0,9	2,6 ± 0,4
14.	Tr-5	285	211,7	45	379,9	25,6 ± 2,0	9,7 ± 0,8	6,7 ± 0,3	2,5 ± 0,1
15.	Tr-C	115	76,9	25	580,9	-	-	8,2 ± 0,7	4,8 ± 0,4
16.	P3TkN-1	118,7	82,4	14	303,6	33,5 ± 2,9	10,2 ± 0,9	11,1 ± 1,1	3,4 ± 0,3
17.	P3TkN-2	85	55,0	16,5	536,1	29,8 ± 0,6	16,0 ± 0,3	10,1 ± 0,5	5,4 ± 0,3
18.	P3TkN-3	174	109,9	20,5	333,3	30,2 ± 2,1	11,3 ± 0,8	7,9 ± 0,7	2,6 ± 0,2
19.	P3TkN-4	200	104,6	22	375,0	24,3 ± 1,5	9,5 ± 0,6	10,8 ± 1,4	4,2 ± 0,5

20.	P3TKN-5	240	136.0	29.6	388.9	22.9 ± 2.9	8.9 ± 1.1	8.7 ± 0.9	3.4 ± 0.4
21.	Lb-1	250	173.1	30	345.9	22.9 ± 2.2	7.9 ± 0.8	15.5 ± 1.8	5.6 ± 0.6
22.	Lb-2	296	223.3	40	357.5	23.1 ± 3.7	8.3 ± 1.3	8.2 ± 0.9	2.9 ± 0.3
23.	Lb-3	225	138.3	30	433.0	27.6 ± 1.6	11.9 ± 0.7	7.6 ± 0.1	3.3 ± 0.04
24.	Lb-4	230	144.9	45	619.9	30.8 ± 0.0	19.1 ± 0.0	6.4 ± 0.7	4.0 ± 0.4
25.	Lb-5	205	191.4	50	521.4	21.9 ± 2.7	11.4 ± 1.4	9.7 ± 0.6	5.1 ± 0.3
26.	Lb-C	380	266.1	55	412.6	25.6 ± 0.4	10.6 ± 0.2	8.6 ± 0.0	3.5 ± 0.0
27.	Pdlr	215	178.6	52.5	586.7	33.9 ± 1.1	19.9 ± 0.6	6.2 ± 0.5	3.6 ± 0.3
28.	SB	180	221.2	40	314.6	49.5 ± 4.6	15.6 ± 1.4	10.3 ± 1.6	3.2 ± 0.5

Tabel 3. Masukan harian unsur Zn, Fe dan Co pada cuplikan makanan

No	Cuplikan	Berat basah (g)	kkal total	Berat kering (g)	Total kal/ berat kering	Zn		Fe		Co	
						Ppm	daily intake (mg)	ppm	daily intake (mg)	ppm	daily intake (µg)
1.	MS	200	157,3	50	559,1	14,5 ± 1,1	8,1 ± 0,6	148,2 ± 9,2	82,9 ± 5,1	0,133 ± 0,016	74,4 ± 8,9
2.	Tbn	205	188,7	50	466,1	12,1 ± 1,3	5,6 ± 0,6	12,1 ± 1,2	5,6 ± 0,6	0,019 ± 0,001	8,9 ± 0,5
3.	YS	135	97,7	35	577,5	10,2 ± 0,5	5,9 ± 0,3	48,8 ± 0,0	26,5 ± 0,0	0,024 ± 0,006	13,9 ± 3,5
4.	Smd	365	348,1	45	258,0	12,8 ± 0,7	3,3 ± 0,2	11,9 ± 1,3	3,1 ± 0,3	0,021 ± 0,002	5,4 ± 0,5
5.	TG	175	161,0	40	495,9	9,8 ± 0,6	4,9 ± 0,3	19,3 ± 1,1	9,6 ± 0,5	0,024 ± 0,003	11,9 ± 1,5
6.	KGB	170	247,3	35	246,3	13,1 ± 1,2	3,2 ± 0,3	29,7 ± 0,1	7,3 ± 0,02	0,025 ± 0,003	6,2 ± 0,7
7.	Sby	215	355,5	50	233,6	12,0 ± 1,3	2,8 ± 0,3	47,8 ± 1,9	11,2 ± 0,4	0,034 ± 0,003	7,9 ± 0,7
8.	Cjr	750	494,8	150	599,0	38,0 ± 4,4	22,8 ± 2,6	19,3 ± 0,6	11,6 ± 0,4	0,033 ± 0,002	19,8 ± 1,2
9.	Mdn	225	297,2	60	355,1	10,9 ± 1,7	3,9 ± 0,6	41,8 ± 3,2	14,8 ± 1,1	0,037 ± 0,003	13,1 ± 1,1
10.	Tr-1	250	155,4	35	402,5	15,9 ± 0,6	6,4 ± 0,2	33,0 ± 3,1	13,3 ± 1,2	0,040 ± 0,001	16,1 ± 0,4
11.	Tr-2	235	147,4	40	484,9	15,4 ± 0,4	7,5 ± 0,2	31,4 ± 2,1	15,2 ± 1,0	0,032 ± 0,002	15,5 ± 0,9
12.	Tr-3	240	187,8	40	380,6	14,5 ± 1,7	5,5 ± 0,6	12,0 ± 0,4	4,6 ± 0,5	0,025 ± 0,007	9,5 ± 2,6

13	Ti-4	225	128,0	30	418,8	13,7 ± 0,1	5,7 ± 0,04	21,8 ± 3,0	9,1 ± 1,3	0,024 ± 0,001	9,9 ± 0,4
14	Ti-5	285	211,7	45	379,9	12,7 ± 1,3	4,8 ± 0,5	8,9 ± 0,5	3,4 ± 0,2	0,020 ± 0,001	7,5 ± 0,4
15	P3TKN-1	118,7	82,4	14	303,6	14,9 ± 0,9	4,5 ± 0,3	25,2 ± 1,0	7,7 ± 0,3	0,022 ± 0,001	6,7 ± 0,1
16	P3TKN-2	85	55,0	16,5	536,1	12,5 ± 0,9	6,7 ± 0,5	4,8 ± 0,7	2,6 ± 0,4	0,027 ± 0,004	14,5 ± 2,1
17	P3TKN-3	174	109,9	20,5	333,3	14,9 ± 0,9	5,0 ± 0,3	31,1 ± 0,9	10,4 ± 0,3	0,029 ± 0,001	9,7 ± 0,3
18	P3TKN-4	200	104,6	22,0	375,0	13,5 ± 0,1	5,1 ± 0,04	16,8 ± 1,6	6,3 ± 0,5	0,038 ± 0,003	14,2 ± 1,1
19	P3TKN-5	240	136,0	29,6	388,9	12,7 ± 0,02	4,9 ± 0,01	16,1 ± 2,3	6,3 ± 0,9	0,014 ± 0,001	5,4 ± 0,4
20	Lb-1	250	167,2	30	345,9	14,8 ± 0,6	5,1 ± 0,2	30,9 ± 0,3	10,7 ± 0,1	0,036 ± 0,001	12,5 ± 0,4
21	Lb-2	296	223,3	40	357,5	15,1 ± 1,0	5,4 ± 0,4	28,9 ± 3,5	10,3 ±1,3	0,024 ± 0,001	8,7 ± 0,4
22	Lb-3	225	138,3	30	433,0	14,6 ± 0,1	6,3 ± 0,04	29,0 ± 3,0	12,6 ± 1,3	0,029 ± 0,001	12,4 ± 0,4
23	Lb-4	230	144,9	45	619,9	13,2 ± 1,1	8,2 ± 0,7	15,1 ± 1,8	9,4 ± 1,1	0,016 ± 0,002	9,9 ± 1,2
24	Lb-5	205	191,4	50	521,4	11,3 ± 0,6	5,9 ± 0,3	28,8 ± 0,9	15,0 ± 0,5	0,024 ± 0,002	12,5 ± 1,0
25	Lb-C	380	266,1	55	412,6	11,1 ± 0,8	4,6 ± 0,3	21,7 ± 0,2	8,9 ±0,1	0,021 ± 0,002	8,7 ± 0,8
26	Grt	230	190,6	50	523,6	12,7 ± 0,8	6,6 ± 0,4	29,4 ± 3,5	15,4 ± 1,8	0,021 ± 0,002	10,9 ± 1,0
27	Brb	180	221,2	40	314,6	49,5 ± 4,6	5,9 ± 0,3	20,5 ± 1,6	9,7 ± 0,8	0,045 ± 0,004	21,4 ± 1,9
28	Slw	370	320,3	45	244,5	13,3 ± 1,2	3,3 ± 0,3	39,5 ± 4,6	9,7 ± 1,1	0,021 ± 0,003	5,1 ± 0,7

Masukan harian unsur Mn pada cuplikan makanan dari berbagai daerah berkisar antara 1,0 – 5,6 mg/hari, kecuali dari daerah Mojokerto-Sidoarjo yaitu 19,9 mg/hari. Batas normal masukan harian unsur Mn adalah 0,4 – 10 mg/hari [3]. Hal ini menunjukkan bahwa masukan harian unsur Mn dari berbagai daerah yang telah ditentukan masih dalam batas normal, kecuali daerah Mojokerto- Sidoarjo. Defisiensi unsur Mn akan menyebabkan perubahan bentuk tulang (bone deformed), rambut menjadi merah. Sedangkan bila kadarnya berlebih akan menyebabkan *ataxia*, sejenis penyakit yang menunjukkan ketidak harmonisan gerakan otot.

Masukan harian unsur Co pada cuplikan makanan dari berbagai daerah

berkisar antara 0,005 – 0,074 mg/hari, dan hasil tertinggi terdapat pada cuplikan makanan daerah Mojokerto-Sidoarjo yaitu 0,074 mg/hari. Batas normal masukan harian unsur Co adalah 0,005 – 1,8 mg/hari. Defisiensi unsur Co bila kadarnya <0,0002 mg/hari yang akan menyebabkan anemia, dan bila kadarnya berlebih akan menyebabkan kegagalan jantung [3].

Dari hasil masukan harian cuplikan makanan daerah Mojokerto-Sidoarjo pada umumnya mengandung kadar unsur Fe, Al, Mn, dan Co lebih tinggi dari batas normal. Cuplikan makanan ini adalah lontong kupang (sejenis kerang kecil berasal dari laut) yang merupakan jenis makanan khas daerah Sidoarjo. Tingginya kadar unsur-unsur tersebut mungkin berasal dari limbah industri, dan untuk lebih meyakinkan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan hasil masukan harian cuplikan makanan tersebut dapat diperkirakan jumlah unsur yang masuk ke dalam tubuh manusia mencukupi, kurang (defisiensi) atau bahkan terjadi intoksikasi.

KESIMPULAN

1. Penentuan unsur Zn, Fe, Al, Mn, dan Co menggunakan teknik analisis aktivasi neutron memberikan presisi dan ketelitian yang cukup baik.
2. Hasil penentuan masukan harian unsur Zn dalam cuplikan makanan dari berbagai daerah yang telah ditentukan berkisar antara 2,8 – 22,8 mg/hari (batas normal 5 – 40 mg/hari), unsur Fe berkisar antara 3,1–26,5 mg/hari (batas normal 6 – 40 mg/hari), unsur Al berkisar antara 4,2 – 32,9 mg/hari (batas normal 2 – 45 mg/hari), unsur Mn berkisar antara 1,0 – 5,6 mg/hari (batas normal 0,4 – 10 mg/hari), dan unsur Co berkisar antara 0,005 – 0,074 μ g/hari (batas normal 0,005 – 1,8 mg/hari).
3. Hasil penentuan masukan harian unsur Zn, Fe, Al, Mn, dan Co dalam cuplikan

makanan dari berbagai daerah di Pulau Jawa umumnya berada dalam batas normal, kecuali daerah Mojokerto-Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Gizi, "Daftar Komposisi Zat Gizi Pangan Indonesia", Departemen Kesehatan RI., Direktorat Jendral Pembinaan Kesehatan Masyarakat, Direktorat Bina Gizi Masyarakat, Jakarta 1995.
2. *Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Propinsi 1993*, Buku 2, Biro Pusat Statistik, Jakarta, 1993.
3. BOWEN, H.J.M., *Environmental Chemistry of The Elements, "Essentiality, Deficiencies and Toxicities of the Elements"*, London, Academic Press (1979) 147.
4. Trace elements in human nutrition. Report of WHO Expert Committee. Geneva. World Health Organization, 1973 (WHO Technical Report Series, No. 532) 72-79.