



FORUM PASCASARJANA

Volume 25 Nomor 2 April 2002

- | | |
|---|---------|
| Hubungan Komponen Habitat Suaka Margasatwa Muara Angke dan Hutan Lindung Angke Kapuk dengan Burung Air (Aries Indra Supartha, Hadi S. Alikodra, dan Jarwadi B. Hernowo) | 89-99 |
| Pola Hubungan Produksi Ponggawa – Petambak: Suatu Bentuk Ikatan Patron – Klien (Studi Kasus Masyarakat Petambak di Desa Babulu Laut, Kecamatan Babulu, Kabupaten Pasir, Kalimantan Timur) (Elly Purnamasari, Titik Sumantri, dan Lala M. Kolopaking) | 101-112 |
| Kajian Isotermi Sorpsi Air Pati Garut pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi (Rita Yuli Reviyanti, Soewarno T. Soekarto, dan Sugiyono) | 113-123 |
| Taksonomi Tumbuhan Paku Reofit di Jawa Barat (Linda Oktavia Ningsih, Edi Guharja, dan Dedy Darnaedi) | 125-134 |
| Pengaruh Pupuk Fosfor dan Pupuk Herbal pada Tiga Taraf Naungan terhadap Pertumbuhan dan Kadar Metabolit Sekunder Tanaman Daun Jinten (<i>Coleus ambonicus</i> Lour.) (Urnemi, Sudirman Yahya, dan Latifah K. Dariusman) | 135-145 |
| Analisis Imbangan Manfaat-Biaya Lingkungan Usaha Budidaya Perikanan Jaring Apung di Waduk Saguling, Jawa Barat (Iwang Gumilar, Kooswardhono Mudikdjo, dan Soetrisno Sukimin) | 147-155 |
| Keragaman Karakter Morfologi dan Genetika Parasitoid Telur, <i>Telenomus</i> Spp. (Hymenoptera: Scelionidae) dari Beberapa Daerah di Pulau Jawa (Netti Yuliarti, Purnama Hidayat, dan Damayanti Buchori) | 157-169 |
| Status Mineral Mikro Non-Esensial dan Hubungannya dengan Mineral Mikro Esensial pada Penduduk Lokal Timika Berdasarkan Agroekologi (Eni Purwani, Hardinsyah, Budi Setiawan, dan Cesilia M. Dwiriani) | 171-186 |

**Program Pascasarjana
Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia**

FORUM PASCASARJANA

Volume 25 No.2 April 2002

ISSN 0126-1886

Pelindung

Rektor (H.R.M. Aman Wirakartakusumah)

Penanggung Jawab

Direktur Program Pascasarjana IPB (Syafri Manuwoto)

Pemimpin Redaksi

Asisten Direktur I (Kooswardhono Mudikdjo)

Wakil Pemimpin Redaksi

Asisten Direktur II (Aris Munandar)

Asisten Direktur III (Daniel R. Monintja)

Dewan Redaksi

Alex Hartana (Genetika dan Pemuliaan Tanaman)

Ari Purbayanto (Kelautan)

Basita Ginting S. (Penyuluhan Pembangunan dan Komunikasi Pertanian)

Didy Sopandie (Agronomi, Ekofisiologi Tanaman)

Hendrayanto (Ilmu Pengetahuan Kehutanan)

I G. Putu Purnaba (Matematika dan Statistika)

M. Parulian Hutagaol (Ekonomi Pertanian dan Sosiologi)

M. Zairin Jr (Budidaya Perairan)

Maggy T. Suhartono (Biokimia dan Bioteknologi)

Reviany Widjajakusuma (Fisiologi Hewan, Biologi Nuklir)

Setyo Pertiwi (Teknik Pertanian)

Tantan R. Wiradarya (Ilmu Produksi Ternak)

Utomo Kartosuwondo (Hama dan Penyakit Tumbuhan)

Redaksi Pelaksana

Bagus P. Purwanto

Wahju Q. Mugnisjah

Administrasi

Mayrianti Annisa Anwar

Pungki Prayughi

Wawan Mufti S.

Alamat Redaksi

Program Pascasarjana IPB,

Gedung Rektorat Lantai I Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Telp. 0251-622714 ext. 161 Fax. 0251-622986

e-mail : pascaipb@indo.net.id

Forum Pascasarjana merupakan jurnal ilmiah yang diterbitkan setiap triwulan sebagai sarana diseminasi hasil-hasil penelitian Program Pascasarjana IPB

DAFTAR ISI
CONTENTS

- Hubungan Komponen Habitat Suaka Margasatwa Muara Angke dan Hutan Lindung Angke Kapuk dengan Burung Air Muara Angke Wildlife Sanctuary and Angke Kapuk Protection Forest: Waterbirds-Habitat Component Relationship** 89-99
(Aries Indra Supartha, Hadi S. Alikodra, dan Jarwadi B. Hernowo)
- Pola Hubungan Produksi Ponggawa – Petambak: Suatu Bentuk Ikatan Patron – Klien (Studi Kasus Masyarakat Petambak di Desa Babulu Laut, Kecamatan Babulu, Kabupaten Pasir, Kalimantan Timur)** 101-112
Pattern of Production Relationship of Ponggawa – Petambak: The Pattern of Patron – Client Relationship (The Case of Ponggawa– Petambak Community at Babulu Laut Village, Babulu District, Pasir Regency, East Kalimantan Province)
(Elly Purnamasari, Titik Sumantri, dan Lala M. Kolopaking)
- Kajian Isotermi Sorpsi Air Pati Garut pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi** 113-123
Study of Sorption Isotherm of Arrowroot Starch at Various Gelatinization Degrees
(Rita Yuli Reviyanti, Soewarno T. Soekarto, dan Sugiyono)
- Taksonomi Tumbuhan Paku Reofit di Jawa Barat** 125-134
Fern Rheophyte Taxonomy in West Java
(Linda Oktavia Ningsih, Edi Guharja, dan Dedy Darnaedi)
- Pengaruh Pupuk Fosfor dan Pupuk Herbal pada Tiga Taraf Naungan terhadap Pertumbuhan dan Kadar Metabolit Sekunder Tanaman Daun Jinten (*Coleus ambonicus* Lour.)** 135-145
*Effect of Phosphorus and Herbal Fertilizer in The Three Different Shade on Growth and Secondary Metabolism of Daun Jinten Plant (*Coleus ambonicus* Lour.)*
(Urnemi, Sudirman Yahya, dan Latifah K. Darusman)
- Analisis Imbangan Manfaat-Biaya Lingkungan Usaha Budidaya Perikanan Jaring Apung di Waduk Saguling, Jawa Barat** 147-155
Environment Benefit/Cost Ratio Anaiysis of Floating Net Fish Culture at Waduk Saguling, West Java
(Iwang Gumilar, Kooswardhono Mudikdjo, dan Soetrisno Sukimin)

- Keragaman Karakter Morfologi dan Genetika Parasitoid Telur, *Telenomus* Spp. (Hymenoptera: Scelionidae) dari Beberapa Daerah di Pulau Jawa** 157-169
Morphological and Genetical variation of Egg Parasitoids, Telenomus spp. (Hymenoptera: Scelionidae) from Several Locations in Java
(Netti Yuliarti, Purnama Hidayat, dan Damayanti Buchori)
- Status Mineral Mikro Non-Esensial dan Hubungannya dengan Mineral Mikro Esensial pada Penduduk Lokal Timika Berdasarkan Agroekologi** 171-186
Non-Essential Micro Mineral Status of Timika Local Community by Agroecology and Its Interactions with Essential Micro Mineral
(Eni Purwani, Hardinsyah, Budi Setiawan, dan Cesilia M. Dwiriani)

**STATUS MINERAL MIKRO NONESSENSIAL DAN HUBUNGANNYA DENGAN
MINERAL MIKRO ESENSIAL PADA PENDUDUK LOKAL TIMIKA
BERDASARKAN AGROEKOLOGI¹⁾**

*(Non-Essential Micro-mineral Status of Timika Local Community by
Agro-ecology and Its Interactions with Essential Micro-mineral)*

Eni Purwani, Hardinsyah²⁾, Budi Setiawan²⁾, dan Cesilia M. Dwiriani²⁾

ABSTRACT

Essential micro-mineral such as Fe, Zn, Cu, and Se are important mineral for the physiology function. Non-essential micro-mineral such as Pb, Cd, Hg, and As, which are known as heavy metal component, have a risk to be toxic elements. The objectives of this study were (1) to analyze correlation between Pb, Cd, Hg, and As level in serum with nutrients intake (protein, vitamin C, Ca, Zn, and Fe) by agro-ecology; (2) to analyze correlation between Pb, Cd, Hg, and As with Fe, Zn, Cu, and Se level in serum; and (3) to analyze serum status of Pb, Cd, Hg, and As of Timika local community by agro-ecology. The study was used secondary data from previous research entitled "Study on Food Consumption and Biomarkers in 10 Villages around PT Freeport Indonesia (PTFI) Project" carried out by IPB, UNCEN, PTFI and Parametric-USA team on September 1998 – April 1999. Selection of villages was done purposively according to agro-ecology zone (highland, lowland, and coastal).

The results showed that the level of Pb, Cd, and As serum in lowland were greater than others; and the level of Hg serum in lowland was the highest. Protein intake had a positive correlation with Cd serum, but not for Pb, Hg, and As serum. Hg serum had a negative correlation with vitamin C, Ca, Fe, and Zn intake; and As serum had a negative correlation with Zn intake. There was a negative correlation between As with Zn serum, Hg with Fe serum, and Hg with Zn serum. The positive correlation were found between Se with Cd serum and Hg with As serum. The serum status of Pb and Cd were normal (95% and 86.9% , respectively). About two-third of subjects (62.5%) in coastal area had As serum ievel categorized as high; and 56.3% subjects for Hg in lowland.

Key words: essential micro-mineral, toxic elements, nutrient, agro-ecology zone, Timika

PENDAHULUAN

Banyak unsur-unsur mineral mikro diketahui esensial untuk hidup, kesehatan, dan reproduksi, di antaranya, besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), krom (Cr), mangan (Mn), molibdat (Mo), selenium (Se), dan iodium (I). Unsur-unsur mineral mikro nonessential seperti plumbum (Pb), arsenit (As), cadmium (Cd), dan merkuri (Hg), belum diketahui kegunaannya secara jelas untuk hidup, tetapi tubuh hanya membutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit (Darmono, 1995; WHO,

¹⁾ Bagian dari tesis penulis pertama, Program Studi Gizi Masyarakat dan Sumberdaya Keluarga, Program Pascasarjana IPB

²⁾ Berturut-turut adalah Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing

1996). Logam Pb, As, Cd, dan Hg lebih dikenal sebagai unsur logam berat, yang bila dikonsumsi dalam jumlah yang berlebihan akan beresiko keracunan (Lew *et al.*, 1996).

Mikromineral nonesensial terdapat di lingkungan secara alami dengan kadar yang normal. Namun, proses alam (erosi batuan, sedimentasi, dan sebagainya), aktivitas mikroorganisme, dan aktivitas manusia (pertambangan, kegiatan industri, penggunaan pestisida, pemakaian pupuk organik, dan asap kendaraan bermotor) menyebabkan kadar mineral tersebut di lingkungan tertentu menjadi lebih tinggi (Forrest dan Nielsen, 1999; Schrey *et al.*, 2000).

Kandungan mikromineral nonesensial dalam makanan dan air minum yang dikonsumsi sangat dipengaruhi oleh kondisi sifat kimia fisika lingkungan setempat. Perbedaan agroekologi dapat menyebabkan perbedaan komposisi zat-zat kimia tanaman, hewan, dan manusia yang mengkonsumsi tanaman dan hewan tersebut melalui jaringan-jaringan makanan (Connel dan Miller, 1995).

Status mikromineral nonesensial dalam tubuh antara lain dipengaruhi oleh interaksi berbagai mineral dan zat gizi lain yang dapat mempengaruhi proses metabolisme. Interaksi tersebut bisa bersifat menghambat atau pun saling menguntungkan. Hal ini bergantung pada sifat kimia fisika dari zat gizi tersebut, antara lain, konfigurasi elektron terluar dalam pengisian orbital dan perlengkapan spin elektronnya (Gibson, 1990).

Timika, yang terletak di sebelah selatan Irian Jaya, merupakan daerah kegiatan penambangan tembaga dan emas PT Freeport Indonesia (PTFI). Wilayah penambangan ini berlokasi pada ketinggian 1800 m di atas permukaan laut. Dari produksi tembaga dan emas dihasilkan limbah berupa pasir sisa (*tailings*) sebanyak 97%, jumlah ini jauh lebih besar dari jumlah batuan yang diolah. Pasir sisa ini bersama air dibuang ke sungai dan mengalir ke dataran rendah yang selanjutnya bermuara dan banyak yang mengendap di bagian selatan Mimika (PTFI, 1998 dalam Hardinsyah *et al.*, 2000). Penduduk lokal Timika menempati daerah yang masih terisolasi, yang tersebar pada tiga daerah agroekologi yaitu pegunungan, dataran rendah, dan pantai. Pada umumnya penduduk lokal mendapatkan makanan dari berburu, mengumpulkan hasil tanaman, dan menangkap ikan dari agroekologi setempat, meskipun secara perlahan mulai terjadi transformasi ekonomi dan perubahan jenis pangan yang dikonsumsi. Mengingat letaknya di daerah pertambangan dengan agroekologi yang berbeda, diduga kuat kandungan logam berat dalam penciri biologis (biomarker) penduduk lokal Timika akan berbeda menurut agroekologi. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas serta berdasarkan ketersediaan data dari penelitian sebelumnya (Hardinsyah *et al.*, 1999), penelitian ini ditujukan untuk mengetahui status mineral mikro nonesensial dan hubungannya dengan mineral mikro esensial penduduk lokal Timika berdasarkan perbedaan agroekologi.

Secara umum penelitian ini bertujuan mengetahui status mineral mikro nonesensial (Pb, Hg, As, dan Cd) dan hubungannya dengan mineral mikro esensial (Cu, Fe, Zn, dan Se) penduduk lokal Timika dalam penciri biologis serum berdasarkan agroekologi. Secara khusus tujuannya adalah sebagai berikut:

- (1) menganalisis hubungan konsumsi zat gizi [protein, vitamin C, kalsium (Ca), Seng (Zn), dan besi (Fe)] dengan kadar mineral mikro nonesensial (Pb, Hg, Cd, dan As) pada serum berdasarkan agroekologi;
- (2) menganalisis hubungan antara kadar mineral mikro non-esensial (Pb, Hg, Cd, dan As) dengan mineral mikro esensial (Cu, Fe, Zn, Se) pada serum berdasarkan agroekologi;

- (3) menganalisis sebaran persentase penduduk menurut status mineral mikro non-esensial (Pb, Hg, Cd, dan As) pada serum berdasarkan agroekologi.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah *cross-sectional*, dengan menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya yang berjudul "Studi Konsumsi Pangan dan Biomarkers di 10 Desa Sekitar Proyek PT Freeport" yang dilakukan oleh IPB, UNCEN, PTFI, dan Parametric, Inc. Penelitian tersebut dilaksanakan pada bulan September 1998 sampai April 1999. Lokasi dipilih dengan sengaja (*purposive*) berdasarkan agroekologi, yaitu terdiri dari dua desa di dataran tinggi meliputi Aroanop dan Banti, empat desa di dataran rendah meliputi Kwamki Lama, Kampung Pisang, Kali Kopi, dan Iwaka, serta empat desa di daerah pantai meliputi Pad XI, pulau Karaka, Pulau Poriri, dan Atuka (Hardinsyah et al., 1999).

Pengambilan Percontoh (Sampel) dan Pengumpulan Data

Pengambilan percontoh dilakukan melalui pendataan penduduk di masing-masing desa terpilih yang dikelompokkan menurut umur dan jenis kelamin (laki-laki dan perempuan). Penarikan percontoh pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan acak dari kerangka percontoh per desa yang telah disusun sebelumnya. Jumlah percontoh diambil seimbang menurut jenis kelamin sebanyak 16 percontoh per desa dan per jenis kelamin. Setiap jenis kelamin terdiri dari 2 percontoh umur 1 – 7, 3 percontoh umur 8 – 17 tahun, dan 3 percontoh umur > 17 tahun sehingga jumlah total percontoh 160 orang (Effendi dan Hardinsyah, 2000).

Data yang digunakan adalah data sekunder yang meliputi data umur, jenis kelamin, data konsumsi pangan, dan data kadar Fe, Zn, Se, Cu, Pb, As, Cd, dan Hg dalam penciri biologis serum. Data umur dan jenis kelamin dikumpulkan melalui wawancara. Data konsumsi dikumpulkan melalui metode penimbangan langsung (*weighing method*) selama 6 hari berturut-turut dan metode *recall*. Metode *recall* dilakukan apabila responden tidak ada di tempat atau kondisinya tidak memungkinkan untuk dilakukan penimbangan langsung. Pengumpulan data dilakukan oleh tenaga lapang yang terdiri dari sarjana S1 dan S2 staf pengajar Universitas Cendrawasih yang telah dilatih⁷⁾.

⁷⁾ Pengambilan percontoh darah dalam studi *biomarkers* ini dilakukan pagi hari oleh dokter dari staf pengajar GMSK IPB, dokter Rumah Sakit dan Puskesmas setempat yang dibantu oleh tenaga medis dari Rumah Sakit dan Puskesmas setempat, dan dua tenaga lapangan dari staf pengajar Universitas Cendrawasih. Pengambilan percontoh darah dilakukan sebanyak 13 ml darah dari setiap remaja dan dewasa, dan 10 ml dari setiap sampel anak yang terpilih. Selanjutnya semua percontoh *biomarkers* yang telah dikumpulkan disimpan dalam kotak pendingin dan dibawa ke AEA Clinic di Kuala Kencana dalam waktu sekitar 0.5 – 6 jam setelah pengambilan. Di klinik ini darah disentrifus untuk memisahkan serum dengan plasma. Setelah dikemas dengan baik, semua percontoh penciri biologis kemudian dibawa ke *Australian Government Analytical Laboratory (AGAL)*, untuk dianalisis kandungan berbagai mineral mikronya, antara lain, Fe, Cu, Zn, Se, Pb, As, Cd, dan Hg dengan metode *atomic absorption spectrophotometry* (Hardinsyah et al., 2000).

Analisis Data

Data konsumsi pangan dikonversi ke zat gizi (protein, vitamin C, kalsium, dan zat besi) dengan menggunakan Daftar Komposisi Bahan Makanan (DKBM) Indonesia (Hardinsyah dan Briawan, 1994). Untuk mengetahui hubungan konsumsi zat gizi (protein, vitamin C, kalsium, dan besi) dengan kadar mineral mikro non-esensial (Pb, Hg, Cd, dan As) dan interaksi antara kadar mineral mikro non-esensial dan mineral mikro esensial pada serum menurut agroekologi, dilakukan uji korelasi Spearman (Siegel, 1990). Perbedaan konsumsi zat gizi (vitamin C, protein, kalsium, besi) dan perbedaan status mineral mikro nonesensial pada serum menurut agroekologi dianalisis dengan menggunakan uji Man Whitney-U pada $P < 0.05$ (Siegel, 1990). Untuk menganalisis status mineral mikro nonesensial dalam serum dilakukan dengan membandingkan data kadar mineral mikro nonesensial subyek dengan nilai kisaran normal menurut WHO (1996). Status mineral mikro nonesensial subyek dinyatakan normal jika berada dalam kisaran normal dan dinyatakan tinggi jika berada di atas kisaran normal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsumsi Pangan dan Gizi

Pada Tabel 1 terlihat tidak terdapat perbedaan konsumsi protein subyek antaragroekologi. Konsumsi pangan sumber karbohidrat (serealiala dan umbi-umbian) responden pantai cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan kedua wilayah agroekologi. Sumber pangan ini paling banyak dikonsumsi responden dataran tinggi, sedangkan responden pantai sumber pangan ini lebih banyak berasal dari sagu.

Tabel 1. Konsumsi zat gizi rata-rata ($\bar{x} \pm sd$) responden menurut agroekologi

Zat gizi	Dataran tinggi (n = 32)	Dataran rendah (n = 64)	Pantai (n = 64)	Jumlah Total (n = 160)
Protein (g)	34.97 ± 15.55 a	38.75 ± 21.51 a	41.25 ± 24.28 a	38.99 ± 21.67
Kalsium (mg)	301.23 ± 140.08 a	253.93 ± 165.59 b	342.56 ± 234.84 a	298.84 ± 195.26
Zat Besi (mg)	10.38 ± 3.18 a	8.09 ± 3.12 b	9.40 ± 5.36 b	9.07 ± 4.25
Seng (mg)	4.27 ± 1.4 a	3.6 ± 1.64 ab	3.16 ± 1.56 b	3.57 ± 1.67
Vitamin (mg)	84.9 ± 33.38 a	30.06 ± 31.08 b	50.63 ± 57.47 b	49.18 ± 48.04

Keterangan: Data pada baris yang sama yang diikuti dengan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada $P < 0.05$

Konsumsi kalsium responden dataran tinggi lebih tinggi dibandingkan responden dataran rendah ($P < 0.05$). Responden pantai mengkonsumsi pangan sumber kalsium yang cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan wilayah agroekologi. Konsumsi rata-rata vitamin C pada responden dataran tinggi lebih tinggi dan berbeda nyata dengan responden dataran rendah dan pantai ($P < 0.05$), sedangkan pada responden dataran rendah dan pantai tidak ada perbedaan. Hal ini disebabkan karena tingginya konsumsi sayuran pada responden dataran tinggi.

Konsumsi rata-rata zat besi responden dataran tinggi lebih tinggi dan berbeda nyata dengan responden dataran rendah ($P < 0.05$) dan responden pantai ($P < 0.05$), sedangkan konsumsi zat besi antara responden dataran rendah dan responden pantai tidak ada perbedaan. Konsumsi seng responden dataran tinggi

cenderung lebih tinggi dan tidak berbeda nyata dengan responden dataran rendah, sedangkan dengan responden pantai berbeda nyata ($P < 0.05$). Responden dataran rendah konsumsinya tidak berbeda nyata dengan responden pantai.

Kadar Mineral Mikro Nonesensial dalam Serum serta Hubungannya dengan Konsumsi Zat Gizi

Timbal (Pb)

Kadar timbal dalam serum subyek dataran tinggi lebih rendah dan berbeda nyata ($P < 0.05$) dibandingkan dengan subyek dataran rendah dan pantai. Kadar timbal dalam serum subyek dataran rendah tidak berbeda nyata dengan kadar timbal dalam serum subyek pantai (Tabel 2).

Tabel 2. Kadar mikro mineral nonesensial (Pb, Cd, Hg, dan As) dan mikro mineral esensial (Fe, Zn, Cu, dan Se) rata-rata dalam serum ($x \pm sd$) menurut agroekologi*

Mineral mikro	Dataran tinggi (n = 32)	Dataran rendah (n = 64)	Pantai (n = 64)	Jumlah (n = 160)
($\mu\text{g/l}$)				
Pb	0.05 \pm 0.00 a	0.24 \pm 0.67 b	0.21 \pm 0.60 b	0.19 \pm 0.57
Cd	0.10 \pm 0.05 a	0.17 \pm 0.23 b	0.20 \pm 0.13 c	0.16 \pm 0.17
Hg	0.50 \pm 0.70 a	1.75 \pm 1.87 b	1.18 \pm 1.51 a	1.27 \pm 1.65
As	0.96 \pm 0.83 a	4.36 \pm 7.53 b	14.07 \pm 35.13 c	7.57 \pm 23.27
Fe	830.78 \pm 368.06 a	718.16 \pm 314.11 ab	671.44 \pm 323.25 b	736.81 \pm 334.25
Zn	815.58 \pm 108.52 a	747.92 \pm 134.38 b	755.89 \pm 147.87 ab	766.63 \pm 147.87
Cu	1372.39 \pm 361.95 a	1404.58 \pm 398.14 a	1565.83 \pm 391.80 b	1440.25 \pm 391.80
Se	51.48 \pm 22.18 a	64.49 \pm 31.881 b	75.61 \pm 38.48 b	67.62 \pm 38.48

Keterangan: Data pada baris yang sama yang diikuti dengan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada $P < 0.05$

Rendahnya kadar timbal dalam serum subyek dataran tinggi disebabkan oleh pola konsumsi mereka yang lebih dominan pada sumber pangan nabati (sereal dan sayuran) dan rendahnya konsumsi terhadap ikan (Tabel 3). Menurut WHO (1996), sayuran dan sereal merupakan diet yang kaya akan kalsium dan fitat, dan diet yang tinggi fitat dan kalsium akan menghambat timbal. Pengaruh kalsium terhadap penghambatan absorpsi timbal lebih terpacu dengan adanya fitat sebab kompleks Ca-fitat mempunyai afinitas (daya tarik) yang kuat terhadap timbal, membentuk kompleks yang tidak larut sehingga sulit untuk diabsorpsi.

Tabel 3. Konsumsi pangan rata-rata responden per orang per hari menurut agroekologi

Kelompok pangan (gr)	Dataran tinggi (n = 32)	Dataran rendah (n = 64)	Pantai (n = 64)	Rata-rata (n = 160)
Serealia	580.49	460.24	493.77	511.50
Nasi	471.19	295.24	432.93	399.79
Lain-lain ^{a)}	109.300	135.00	60.84	101.71
Umbi-umbian	464.37	112.97	29.19	202.18
Ubi jalar	432.21	101.78	17.88	183.96
Lain-lain ^{b)}	32.16	101.78	11.21	18.19
Sagu	29.17	11.19	257.59	109.02
Produk hewani	65.53	140.29	155.59	115.89
Daging ^{c)}	44.09	126.19	9.71	29.03
Ikan	12.21	33.26	126.63	67.73
Telur	2.79	64.36	1.94	2.48
Susu dan produk susu ^{d)}	6.42	2.72	14.88	15.71
Kacang-kacangan	0.21	25.82	5.30	6.63
Sayuran	277.86	14.39	80.36	152.67
Sayuran hijau	200.39	99.79	25.68	95.02
Sayuran lainnya ^{e)}	77.47	58.98	54.78	57.69
Buah-buahan	35.13	40.81	75.49	82.60
Pisang	30.60	137.19	56.00	63.84
Lainnya ^{f)}	4.53	104.92	10.14	12.66
The	0.44	23.30	2.69	1.64
Kopi	2.46	1.78	2.12	2.79

a) Roti, bubur, dan mie

b) Talas, dan ketela pohon

c) Daging sapi, daging ayam, daging babi, hati babi, dan daging kanguru

d) Susu, dan es krim

e) Sayur angka, sop, wortel, kol, dsb

f) Nangka, jeruk, murbei, pepaya, dan apel

Kadar timbal dalam serum subyek dataran rendah cenderung lebih tinggi meskipun tidak nyata ($P > 0.05$) jika dibandingkan dengan subyek pantai (Tabel 2). Meskipun masih dalam kisaran kadar normal menurut WHO (1996), jika dibandingkan dengan subyek dataran tinggi, kadar timbal dalam serum subyek pantai dan dataran rendah cenderung lebih tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena subyek pantai dan dataran rendah banyak mengkonsumsi ikan (Tabel 3). Menurut Ysart *et al.* (1999), ikan merupakan komoditi pangan yang rentan terhadap kontaminan, termasuk mineral Pb. Tingginya konsumsi terhadap ikan dan rendahnya konsumsi sayuran menjadikan kadar timbal di kedua subyek baik dataran rendah maupun pantai lebih tinggi. Di samping hal di atas dataran rendah dan pantai juga dilewati kendaraan umum dengan bahan bakar bensin sehingga akan meningkatkan kadar timbal di lingkungan.

Kadmium (Cd)

Kadar kadmium dalam serum subyek di semua wilayah agroekologi dibandingkan dengan kadar normal WHO (1996) rata-rata adalah normal. Dibandingkan dengan kadar kadmium dalam serum subyek pantai dan dataran rendah, kadar kadmium dalam serum subyek dataran tinggi lebih rendah dan

berbeda nyata pada $P < 0.05$. Demikian juga, kadar kadmium dalam serum subyek dataran rendah lebih rendah dan berbeda nyata ($P < 0.05$) dengan subyek pantai (Tabel 2).

Tingginya kadar kadmium dalam serum subyek dataran rendah dan pantai dibandingkan dengan subyek dataran tinggi, di antaranya, disebabkan oleh konsumsi protein dan jenis pangan yang dikonsumsi. Menurut Fox (1988), di dalam tubuh kadmium berikatan dengan protein sitoplasmik membentuk kompleks metallothionin. Semakin tinggi asupan protein, kesempatan kadmium untuk berikatan dengan protein semakin tinggi sehingga senyawa ini diabsorpsi oleh usus halus dan masuk ke aliran darah. Konsumsi protein pada subyek pantai cenderung lebih tinggi (Tabel 1) sehingga kadar kadmium dalam serum lebih tinggi pula. Dilihat dari korelasinya, terdapat korelasi positif dan nyata (Tabel 4) antara konsumsi protein dan kadar kadmium dalam serum subyek pantai meskipun kecil ($P < 0.05$; $r = 0.250$). Jenis bahan pangan yang efektif sebagai sumber kadmium adalah ikan terutama kerang (Forrest & Nielsen, 1999). Ikan dan kerang banyak dikonsumsi oleh subyek pantai sehingga menjadikan kadarnya dalam serum lebih tinggi (Hardinsyah *et al.*, 2000).

Tabel 4. Koefisien korelasi antara variabel konsumsi zat gizi dengan kadar mineral mikro nonessential (Pb, Hg, Cd, dan As) dalam serum menurut agroekologi

Agroekologi	Variabel	Protein	Kalsium	Zat besi	Seng	Vit. C
Dataran tinggi (n = 32)	Pb	-.a)	-.a)	-.a)	-.a)	-.a)
	Cd	0.156	0.088	0.263	0.282	0.088
	Hg	0.186	0.135	0.179	0.15	0.233
	As	0.177	-0.084	0.06	0.416*	-0.121
Dataran rendah (n = 64)	Pb	0.047	0.14	-0.046	0.009	0.068
	Cd	0.158	0.401*	0.278*	-0.151	0.18
	Hg	0.096	-0.052	-0.07	-0.01	-0.249*
	As	-0.024	-0.03	-0.004	-0.149	0.079
Pantai (n = 64)	Pb	0.038	0.073	-0.017	0.103	-0.004
	Cd	0.250*	0.264*	0.269*	0.254*	0.207
	Hg	-0.182	-0.530	-0.393*	-0.399*	-0.259*
	As	-0.068	-0.09	0.118	-0.151	0.236
Jumlah Total (n = 160)	Pb	0.056	0.069	-0.039	0.023	-0.086
	Cd	0.210*	0.303*	0.160*	-0.054	-0.015
	Hg	-0.012	-0.032*	-0.256*	-0.302*	-0.173*
	As	0.035	0.042	-0.046	-0.195*	-0.09

a) Tidak dapat dihitung karena nilainya konstan

* Nyata pada $P < 0.05$

Tingginya kadar kadmium dalam serum subyek dataran rendah dibandingkan dataran tinggi disebabkan oleh rendahnya konsumsi kalsium dan zat besi oleh subyek dataran rendah (Tabel 1). Diet tinggi kalsium dan zat besi akan menghambat absorpsi kadmium. Mekanisme antara kadmium dengan zat besi belum banyak diketahui (WHO, 1996), tetapi menurut Darmono (1995), kadmium dengan zat besi bersaing dalam sel absorptif, kedua mineral ini saling berebut menduduki posisi pengikatan protein yang membawa zat besi (ferritin). Mekanisme antara kalsium dengan kadmium dijelaskan lebih lanjut oleh Goyer (1995), yaitu kadmium dan kalsium berinteraksi di tingkat intestinal, kalsium akan menghambat transfer kadmium melalui membran. Mekanisme ini akan dipacu oleh vitamin D. Dilihat dari keeratan hubungan, terdapat korelasi positif yang nyata meskipun kecil antara konsumsi kalsium dengan kadar kadmium dalam serum subyek dataran rendah ($P < 0.05$; $r = 0.401$). Demikian juga dengan konsumsi zat besi, terdapat korelasi positif dan nyata dengan kadar kadmium dalam serum ($P < 0.05$; $r = 0.278$). Korelasi antara mineral tersebut berada dalam kecenderungan positif (Tabel 3). Hal ini disebabkan karena masih rendahnya kadar kadmium (dibandingkan dengan kadar normal WHO) diikuti dengan rendahnya konsumsi kalsium dan zat besi (Tabel 1) hingga kadarnya belum mencapai kadar optimum untuk berkorelasi negatif baik dengan kalsium maupun zat besi. Menurut Rojas *et al.* (1999), interaksi dalam bentuk penghambatan suatu mineral terjadi ketika berada dalam kadar optimum sehingga mineral tersebut mampu dihambat oleh zat gizi lain.

Tingginya kadar kadmium dalam serum subyek pantai daripada subyek dataran rendah disebabkan oleh tingginya konsumsi protein dan konsumsi ikan. Pada Tabel 3 terlihat bahwa subyek pantai mengkonsumsi ikan cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan subyek dataran rendah, demikian juga dengan konsumsi protein pada subyek pantai yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan subyek dataran rendah (Tabel 1).

Mercuri (Hg)

Kadar merkuri dalam serum subyek dataran rendah lebih tinggi dan berbeda nyata jika dibandingkan dengan subyek pantai dan dataran tinggi ($P < 0.05$). Kadar merkuri serum subyek pantai cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan subyek dataran tinggi, tetapi tidak berbeda nyata.

Lebih tingginya kadar merkuri pada serum subyek dataran rendah daripada subyek pantai kemungkinan disebabkan oleh rendahnya konsumsi asam amino sistein pada subyek dataran rendah. Menurut Fox (1988), asam amino sistein merupakan donor metil untuk merkuri hingga membentuk kompleks yang kurang larut dan sulit untuk diabsorpsi masuk ke aliran darah. Jika asam amino ini berlebih, absorpsi merkuri akan terhambat, tetapi jika berkurang, absorpsi merkuri akan terpacu. Menurut Linder (1992), kacang-kacangan merupakan jenis pangan yang tinggi akan protein, tetapi rendah asam amino sisteinnya. Subyek dataran rendah banyak mengkonsumsi kacang-kacangan (Tabel 3), sehingga pola konsumsi ini berperan dalam menjadikan kadar Hg serum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan wilayah agroekologi lainnya.

Di samping faktor-faktor di atas, lebih rendahnya kadar merkuri dalam serum subyek pantai jika dibandingkan dengan subyek dataran rendah juga disebabkan lebih tingginya konsumsi vitamin C dan kalsium pada responden pantai (Tabel 1). Konsumsi vitamin C yang tinggi akan menghambat absorpsi merkuri (WHO, 1996). Akan tetapi kalsium akan membentuk kompleks dengan merkuri hingga merkuri sulit untuk diabsorpsi. Pada uji korelasi terdapat korelasi negatif dan signifikan (Tabel

3) antara konsumsi kalsium dengan kadar merkuri dalam serum subyek pantai ($P < 0.05$; $r = 0.530$).

Arsenik (As)

Kecenderungan kadar arsenik dalam serum subyek menurut agroekologi sama dengan kecenderungan kadar kadmium dalam serum, yaitu semakin rendah wilayah agroekologi, kadarnya dalam serum semakin tinggi. Kadar arsenik dalam serum subyek dataran tinggi berada dalam kisaran normal (WHO, 1996) dan berbeda nyata dengan subyek dataran rendah dan pantai ($P < 0.05$). Rata-rata kadar arsenik dalam serum subyek pantai dan dataran rendah adalah tinggi dan berbeda nyata ($P < 0.05$).

Kadar arsenik dalam serum subyek dataran tinggi yang lebih rendah kemungkinan disebabkan karena tingginya konsumsi vitamin C jika dibandingkan dengan subyek di kedua wilayah agroekologi (Tabel 1). Menurut Fox (1988), vitamin C akan meningkatkan absorpsi zat besi yang selanjutnya akan meningkatkan absorpsi arsenik, tetapi mekanisme lebih detail lagi belum diketahui. Keadaan ini dapat terlihat pada uji korelasi yang negatif meskipun tidak nyata (Tabel 4) antara kadar arsenik dalam serum subyek dataran tinggi dan konsumsi vitamin C ($P > 0.05$; $r = -0.121$).

Kadar arsenik dalam serum subyek pantai lebih tinggi jika dibandingkan dengan subyek dataran rendah. Seperti telah disebutkan di atas, kadar arsenik dalam serum, di antaranya, dipengaruhi oleh konsumsi vitamin C dan kalsium. Vitamin C dan kalsium dikonsumsi oleh subyek pantai lebih tinggi daripada subyek dataran rendah (Tabel 1), tetapi tidak menjadikan kadar arsenik dalam serum subyek pantai lebih rendah. Dilihat dari uji korelasi baik pada serum maupun konsumsinya, juga tidak ada korelasi yang nyata vitamin C dan kalsium dengan kadar arsenik dalam serum (Tabel 3). Untuk itu dilakukan pendekatan dengan bahan makanan sumber arsenik. Jenis bahan pangan yang efektif mengakumulasi arsenik adalah ikan. Penelitian yang dilakukan oleh Ysart *et al.* (1999) menunjukkan bahwa ikan merupakan jenis pangan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total pangan yang tercemar arsenik, yaitu sekitar 89%. Subyek pantai paling banyak mengkonsumsi ikan (Tabel 3) sehingga menjadikan kadar arsenik dalam serum lebih tinggi jika dibandingkan dengan subyek dataran rendah dan dataran tinggi.

Hubungan Kadar Mineral Mikro Nonessential dan Mineral Mikro Esensial dalam Serum menurut Agroekologi

Timbal (Pb)

Dari uji korelasi pada Tabel 5, terlihat bahwa kadar mineral timbal dalam serum pada subyek ketiga wilayah agroekologi tidak berkorelasi nyata dengan kadar mineral mikro esensial dalam serum (Fe, Zn, Cu, dan Se). Secara teoritik, timbal akan berhubungan dengan mineral zat besi, seng, tembaga, dan selenium, tetapi dalam penelitian ini belum terlihat adanya hubungan antarmineral tersebut. Hal ini disebabkan oleh belum adanya kadar optimum antarmineral tersebut untuk saling berinteraksi.

Tabel 5. Koefisien Korelasi Kadar Pb, Hg, Cd, dan As dengan Kadar Fe, Zn, Cu, dan Se dalam Serum menurut Agroekologi

Agroekologi	Variabel	Fe - ^{a)}	Zn - ^{a)}	Cu - ^{a)}	Se - ^{a)}
Dataran Tinggi (n = 32)	Pb	0.204	0.282	-0.107	0.185
	Cd	0.146	0.106	-0.334	0.530*
	As	-0.039	0.216	-0.069	0.461
Dataran rendah (n = 64)	Pb	-0.148	-0.073	0.025	-0.13
	Cd	0.106	0.077	0.151	0.284*
	Hg	0.16	0.327*	-0.078	0.231
Pantai (n = 64)	As	0.01	-0.306*	0.178	-0.079
	Pb	0.114	0.141	-0.128	-0.212
	Cd	0.032	0.014	-0.184	-0.032
Jumlah Total (n = 160)	Hg	-0.242*	-0.013	0.109	0.018
	As	-0.028	-0.364*	0.168	0.135
	Pb	-0.042	-0.001	-0.013	-0.124
	Cd	-0.016	-0.003	0.112	0.199*
	Hg	-0.029	0.091	-0.037	0.182*
	As	-0.141	-0.298*	0.270*	0.179*

^{a)} Tidak dapat dihitung karena nilainya konstan

* Nyata pada $P < 0.05$

Kadmium (Cd)

Menurut WHO (1996) dan Goyer *et al.* (1995), kadmium berhubungan dengan mineral zat besi, seng, tembaga, dan selenium. Dari uji korelasi, terlihat bahwa kadar kadmium dalam serum subyek dataran tinggi dan pantai tidak berkorelasi secara nyata dengan mikro mineral esensial (zat besi, seng, tembaga, dan selenium). Pada subyek dataran rendah kadar kadmium dalam serum berkorelasi positif dan nyata meskipun kecil (Tabel 5) dengan kadar selenium ($P < 0.05$; $r = 0.284$).

Kadar kadmium dalam serum subyek dataran rendah berkorelasi positif dan nyata dengan kadar selenium dalam serum. Menurut Darmono (1995), selenium merupakan kofaktor dalam enzim glutathion peroksidase yang bertindak sebagai antioksidan. Selenium berperan mengurangi toksisitas kadmium. Adanya korelasi positif kadar kadmium dengan kadar selenium dalam serum pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin naik konsentrasi selenium, konsentrasi kadmium cenderung semakin naik. Keadaan ini sesuai dengan pendapat Darmono (1995) mengenai percobaan yang dilakukan pada tikus, yaitu tikus yang mengalami keracunan kronis kadmium diberi 3 ppm selenium pada pakan yang mengandung 100 ppm kadmium, dapat mengurangi kandungan kadmium dalam hati, tetapi kadmium dalam plasma darah naik. Hal ini menunjukkan bahwa selenium lebih berperan dalam menurunkan toksisitas kadmium daripada menurunkan kadarnya. Oleh karena itu, peran selenium dalam menurunkan status kadmium dalam tubuh manusia belum direkomendasikan sebab menurut Fox (1998) dan WHO (1996), peran selenium terhadap mineral kadmium lebih efektif untuk hewan, tetapi belum tentu efektif untuk manusia oleh karena selenium sendiri bersifat racun pada manusia.

Mercuri (Hg)

Menurut Goyer *et al.* (1995), Fox (1988), dan WHO (1996), mineral merkuri berhubungan dengan selenium dan seng. Dari Tabel 5, terlihat bahwa kadar

merkuri dalam serum subyek dataran tinggi berkorelasi positif nyata dengan kadar selenium dalam serum ($P < 0.05$; $r = 0.530$). Kadar merkuri dalam serum subyek dataran rendah berkorelasi positif nyata ($P < 0.05$; $r = 0.327$) dengan kadar seng dalam serum.

Menurut Goyer (1995), selenium mempunyai peranan dalam mencegah toksisitas merkuri, tetapi mekanisme efek ini belum diketahui. Pemberian selenium dapat menurunkan keracunan merkuri, tetapi kandungannya dalam plasma darah naik. Hubungan antara merkuri dan selenium serupa dengan hubungan antara kadmium dan selenium, yaitu dalam ikatannya dengan sistem enzim. Dengan demikian teori ini mendukung hasil penelitian ini bahwa selenium berkorelasi positif dengan kadar merkuri dalam serum.

Hubungan antara seng dan merkuri terjadi pada tingkat intestinal, kelebihan seng akan menurunkan absorpsi merkuri dan akan terjadi sebaliknya apabila dalam keadaan defisiensi seng. Konsumsi seng pada subyek dataran rendah adalah lebih rendah (Tabel 1). Terlihat adanya korelasi negatif meskipun tidak nyata antara kadar merkuri dalam serum dan konsumsi seng pada subyek dataran rendah (Tabel 3). Konsumsi seng dataran rendah lebih rendah dari subyek dataran tinggi, dan keadaan ini akan meningkatkan absorpsi merkuri sehingga kadar merkuri subyek dataran rendah lebih tinggi. Selanjutnya terlihat adanya korelasi positif antara kadar merkuri dalam serum subyek dataran rendah dan kadar seng dalam serum (Tabel 4). Hal ini menunjukkan distribusi seng dalam darah berkecenderungan semakin naik diikuti dengan semakin naiknya kadar merkuri. Mekanisme ini mungkin disebabkan oleh belum terjadinya kadar optimum seng terhadap penghambatan merkuri seperti telah dijelaskan mengenai kadar kritis pada sub-subbab kadmium.

Arsenik (As)

Pada Tabel 5 terlihat bahwa kadar arsenik dalam serum subyek dataran tinggi berkorelasi positif dan nyata ($P < 0.05$; $r = 0.461$) dengan kadar selenium. Kadar arsenik berkorelasi negatif dan nyata dengan kadar seng dalam serum pada subyek dataran rendah ($P < 0.05$; $r = -0.306$) dan pantai ($P < 0.05$; $r = -0.364$).

Menurut Forest & Nielsen (1999), kehilangan arsenik dapat ditingkatkan dengan menaikkan konsumsi seng. Seng diperlukan untuk sintesis asam amino bersulfur (sistein dan metionin). Asam amino ini bila jumlahnya berlebih akan menghambat arsenik. Kehilangan arsenik terlihat nyata pada peningkatan asam amino sistein dan metionin. Dengan melihat mekanisme di atas, apabila kadar seng jumlahnya sedikit, sintesis asam amino bersulfur ini juga berkurang, yang selanjutnya menaikkan kadar arsenik dalam darah. Hal ini mungkin merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kadar arsenik yang tinggi pada subyek dataran rendah dan pantai.

Mekanisme interaksi antara selenium dengan arsenik belum banyak diketahui. Menurut Fox (1988), keadaan valensi As^{3+} dan Se^{3+} yang mempunyai konfigurasi elektron terluar sama akan saling mengisi kelengkapan orbital dari lintasan elektronnya. Studi yang dilakukan oleh Hill dan Matrone (1970) dalam Fox (1988) melaporkan bahwa interaksi antara arsenik dan selenium terlihat pada tingkat penetrasi ion terhadap membran intestinal. Jadi, kedua unsur tersebut berkompetisi pada saat absorpsi di usus halus, yaitu terjadi penghambatan absorpsi arsenik oleh selenium.

Status Mineral Mikro Nonesensial dalam Serum

Timbal (Pb)

Status timbal pada subyek berdasarkan kadarnya dalam serum antar-agroekologi rata-rata berada dalam kisaran normal (Tabel 5). Subyek dataran tinggi mempunyai sebaran persentase status timbal dalam kisaran normal sebesar 100%, pada subyek dataran rendah dan pantai mempunyai nisbah persentase status timbal normal dan tinggi yang sama, yaitu sebesar 94 : 6.

Tabel 6. Sebaran subyek menurut status mineral mikro non-esensial (Pb, Cd, Hg, dan As) serum sebagai normal dan tinggi dibandingkan dengan nilai kisaran normal¹⁾

Mineral	Dataran tinggi (n = 32)		Dataran rendah (n = 64)		Pantai (n = 64)		Jumlah Total (n = 160)	
	Normal	Tinggi	Normal	Tinggi	Normal	Tinggi	Normal	Tinggi
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Pb	100	0	93.8	6.2	93.8	6.2	95	5
Cd	96.9	3.1	79.7	20.3	89.1	10.9	86.9	13.1
Hg	81.2	18.8	43.8	56.3	64.1	35.9	59.4	40.6
As	100	0	78.1	21.9	37.5	62.5	55.2	33.8

¹⁾ WHO (1996)

Status timbal dalam serum dipengaruhi oleh absorpsi mineral timbal dalam makanan. Pada proses absorpsi mineral timbal dipengaruhi oleh status gizi individu dan kandungan zat gizi dan nongizi (fitat dan serat) pada makanan (WHO, 1996). Kondisi defisiensi zat besi, vitamin C, seng, dan kalsium ditambah dengan konsumsi yang rendah serat dan fitat akan berpotensi menaikkan kandungan timbal dalam darah, yang selanjutnya dapat menimbulkan resiko kesehatan seperti anemia karena kerusakan sintesa haem, muntah, diare, hipertensi, serta gangguan sistem saraf pusat dan neuropatologi perifer.

Kelompok subyek dataran tinggi 100% status timbal dalam serumnya berada pada kisaran normal. Hal ini mungkin karena tingginya konsumsi zat gizi penghambat seperti vitamin C, kalsium, zat besi, dan seng (Tabel 1). Di samping itu, subyek dataran tinggi banyak mengkonsumsi sereal, sayuran, dan buah-buahan yang kaya fitat dan serat (Tabel 3). Fitat bersama-sama dengan kalsium dan ditambah dengan serat akan efektif menurunkan kadar timbal (WHO, 1996).

Kadmium (Cd)

Sebaran subyek menurut status kadmium dalam serum di ketiga wilayah agroekologi pada umumnya normal (Tabel 6). Pada subyek dataran tinggi nisbah sebaran status kadmium dengan kisaran normal dan tinggi sebesar 97 : 3, subyek dataran rendah sebesar 80 : 20, sedangkan subyek pantai sebesar 89 : 11. Dari sini tampak bahwa subyek dataran rendah memiliki sebaran status kadmium dengan kisaran tinggi pada persentase yang lebih besar. Hal ini mungkin disebabkan oleh konsumsi vitamin C, zat besi, dan kalsium yang cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan kedua wilayah agroekologi lainnya sebab zat-zat gizi ini bersifat menghambat absorpsi kadmium (Tabel 1).

Mercuri (Hg)

Pada umumnya persentase subyek menurut status merkuri dalam serum hampir sama, yaitu antara status normal dan status tinggi. Perbedaan persentase subyek dataran tinggi dengan status normal dan tinggi sebesar 81 : 19, subyek dataran rendah sebesar 44 : 56, dan subyek pantai sebesar 64 : 36 (Tabel 6).

Tingginya kandungan merkuri dalam darah berhubungan dengan konsumsi merkuri dari sumber makanan yang tercemar. Tingginya persentase subyek dengan status merkuri yang tinggi kemungkinan disebabkan oleh tingginya kandungan merkuri dalam air sumber konsumsi mereka. Wilayah yang lebih rendah mempunyai potensi kandungan merkuri dalam air tinggi karena sifat air yang mengalir ke wilayah yang lebih rendah. Di samping itu, rendahnya konsumsi zat gizi penghambat (vitamin C, seng, dan kalsium) menyebabkan kadar Hg makin besar. Kadar yang tinggi dalam tubuh dapat menimbulkan resiko kesehatan berupa gangguan saluran pencernaan, gatal-gatal, dan gangguan sistem kekebalan tubuh.

Arsenik (As)

Semua subyek pada dataran tinggi mempunyai status arsenik dalam serum normal. Di dataran rendah dan pantai masing-masing sebesar 21.9% dan 62% subyek tergolong berkadar arsenik tinggi.

Menurut WHO (1996), status arsenik dalam serum belum menunjukkan adanya status mineral ini dalam tubuh sebab kandungan arsenik dalam serum merupakan kandungan arsenik inorganik yang masih dapat diubah menjadi arsenik organik, yang selanjutnya diekskresikan melalui urin. Penilaian status mineral ini lebih sensitif melalui kadarnya dalam urin.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- (1) Kadar mineral mikro nonessential (Pb, Cd, Hg, dan As) serum penduduk lokal Timika berbeda menurut agroekologi. Semakin rendah wilayah agroekologi, kadarnya makin naik, sedangkan kadar Hg dalam serum yang paling tinggi terdapat pada subyek dataran rendah. Kadar Pb tertinggi terdapat di dataran rendah, Cd di pantai, Hg di dataran rendah, dan As di pantai.
- (2) Terdapat hubungan positif konsumsi protein dengan kadar kadmium dalam serum ($P < 0.05$), sedangkan kadar Pb, Hg, dan As tidak. Hubungan negatif antarkonsumsi zat gizi (kalsium, Fe, Zn, dan vitamin C) hanya terlihat pada kadar Hg dan As dalam serum ($P < 0.05$), yaitu kadar Hg serum berhubungan negatif dengan konsumsi kalsium, Fe, Zn, dan vitamin C sedangkan kadar As serum hanya berhubungan negatif dengan konsumsi Zn.
- (3) Secara umum terdapat hubungan antara mineral mikro esensial dengan non-esensial ($P < 0.05$). Semakin rendah wilayah agroekologi, kadar zat besi dan seng serum semakin rendah dan diikuti dengan semakin tingginya kadar Pb, Cd, Hg, dan As dalam serum. Untuk kadar tembaga dan selenium, semakin rendah wilayah agroekologi, kadarnya semakin naik diikuti dengan semakin tingginya kadar Pb, Cd, Hg, dan As dalam serum.
- (4) Pada umumnya status mikromineral Pb dan Cd dalam serum subyek di ketiga wilayah agroekologi berada dalam kisaran status normal, dengan persentase masing-masing 95% dan 86.9%. Status Hg dan As dalam serum subyek

bervariasi antaragroekologi. Pada subyek dataran tinggi, status Hg dan As pada umumnya berada pada kisaran status normal, yaitu masing-masing sebarannya sebesar 81.2% dan 100%. Pada subyek dataran rendah, status Hg dengan kisaran status tinggi jumlahnya lebih besar yaitu 56.2%. Berbeda dengan status As, kisaran status tinggi persentasenya paling banyak pada subyek pantai, yaitu 62.5%. Status Pb dan As dalam serum subyek memiliki kecenderungan bahwa semakin rendah wilayah agroekologi, status mineral dengan kisaran tinggi persentasenya semakin naik, sedangkan status Hg dan Cd dalam serum dengan kisaran tinggi persentasenya paling tinggi, yaitu pada subyek dataran rendah.

Saran

- (1) Pemerintah daerah, PTFI, dan lembaga terkait di Timika perlu memperhatikan adanya hubungan konsumsi zat besi, seng, dan vitamin C yang rendah terhadap kadar Pb, Cd, Hg dan As serum yang tinggi. Demikian juga dengan adanya kecenderungan semakin rendah kadar seng dan besi serum, kadar Pb, Cd, Hg, dan As serum semakin tinggi. Untuk itu bagi penduduk setempat dengan tingkat konsumsi zat besi, seng, dan vitamin C yang rendah, perlu mendapatkan perhatian khusus, antara lain, melalui perbaikan konsumsi zat gizi tersebut dengan bioavailabilitas yang tinggi.
- (2) Pemerintah daerah, PTFI, dan lembaga terkait di Timika perlu mengimbau kepada penduduk setempat untuk memanfaatkan potensi sumberdaya alam dalam rangka meningkatkan konsumsi seng dan zat besi, khususnya untuk penduduk dataran rendah dan pantai, misalnya, dengan perbaikan produksi peternakan.
- (3) Berdasarkan hasil penelitian ini, status Hg dalam serum dengan kisaran tinggi pada penduduk dataran rendah persentasenya lebih tinggi serta sebaran status As dalam serum dengan kisaran tinggi pada penduduk pantai persentasenya lebih tinggi. Karena itu, disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar mineral ini dalam tanah dan air serta bahan makanan yang sensitif baik terhadap Hg maupun As sehingga dapat diketahui sejauh mana mineral ini terdistribusi pada lingkungan sehingga mempengaruhi kadarnya dalam tubuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Wisnu Susetio, Manajer Lingkungan Hidup PT Freeport Indonesia, dan Tim Studi Konsumsi Pangan dan Biomarkers Penduduk yang tinggal di daerah Penambangan PT Freeport Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Connell, D.W. dan Miller, G.J. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran (Y.Koestoer, Penerjemah). Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Darmono, 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

- Forrest H. dan Nielsen. 1999. Ultratrace minerals. Dalam Williams dan Wilkins. 1999. *Modern Nutrition in Health and Disease*. USA: Ninth Edition. A Waverly Company.
- Fox, M.R.S. 1988. Nutrient interactions and the toxic elements aluminium, cadmium, and lead. In: Bodwell, C.E. and Erdman, J.W. Jr (Eds.) *Nutrient Interaction*. United States of America: Marcel Dekker Press.
- Gibson, 1990. *Principles of Nutritional Assessment*. New York: Oxford University Press.
- Goyer, K.A. 1995. Nutrition and metal toxicity. *American Journal of Clinical Nutrition* 61(3): 646S – 650S.
- Hardinsyah, Susetyo, W. dan Mahida, D. 2000. *Konsumsi Molluska di Dataran Rendah dan Pantai Timika*. IPB dan PTFI.
- Hardinsyah dan E. Y. Hartati, 2000. *Status Gizi dan Penyakit Infeksi Penduduk yang Tinggal di Daerah Penambangan PT Freeport Indonesia Irian Jaya*. Bogor: ERA Stakeholders and Review Panel Meetings, Novotel Bogor, dan Institut Pertanian Bogor.
- Hardinsyah, E. Y. Hartati, Khomsan, A., Saefudin, A., Asumule, Susetyo, W., Mahdar, D., dan S. Robinson. 2000. *Keragaan penciri biologis (biomarkers) penduduk daerah terpapar dan tidak terpapar tailing PTFI, Timika*. Bogor: 2nd Annual meeting ERA Stakeholders and Panel Review. 21 – 23 Maret. Novotel.
- Hardinsyah, E. Y. Hartati, Khomsan, A., dan Saefudin, A. 1999. *Studi Konsumsi Pangan dan Biomarkers di 10 Daerah sekitar Proyek PT Freeport*. Kerjasama PTFI, IPB, dan UNCEN.
- Hardinsyah dan Briawan D., 1994. *Penilaian dan Perencanaan Konsumsi Pangan*. Bogor: IPB, Fakultas Pertanian, Jurusan Gizi Masyarakat dan Sumberdaya Keluarga.
- Lew, C.S., Mills, W.B., Wilkinson, K.J., and Gherini, S.A., 1996. Rivrisk: A model to asses potensial human health and ecological risk From chemical and thermal release into rivers from chemical. *International Journal of Environmental Pollution* 90: 123 – 132.
- Linder M.C. 1992. *Biokimia. Nutrisi dan Metabolisme Dengan Pemakaian secara Klinis*. Jakarta: Penerbit Universitas.
- Schrey, P., Wittsiepe J., Budde, U., Heinzow, B., Idel H., and Wilhelm, M. 2000. Dietary intake of lead cadmium copper and zinc by children from the German North Sea Island Amrun. *International Journal of Hygiene Environmental Health* 203(1): 1 – 9.

Siegel, S. 1990. Statistik Non Parametrik untuk Ilmu-Ilmu Sosial. Jakarta: Penerbit Gramedia,

WHO. 1996. Trace Element in Human Nutrition and Health. Genewa.

Ysart, G.P. Miller, Crews H., Robb, P., Baxter, M., Argy, C.D. 'I., Lofthouse, S., Sargent, C., and Horison, N. 1999. Dietary exposure estimates of 30 element from the U.K. Toial Diet Study. Journal of Food Additive and Contaminant 16(9): 391 - 403.