

Buku Studi Diet Total

ACKM

Analisis Cemarkan Kimia Makanan





Buku Studi Diet Total

ACKM

Analisis Cemaran Kimia Makanan

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KESEHATAN
KEMENTERIAN KESEHATAN RI**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas izin-Nya penelitian ini dapat dilaksanakan. Penelitian ini berjudul “**ANALISIS CEMARAN KIMIA PADA MAKANAN DALAM RANGKA STUDI DIET TOTAL**”, merupakan salah satu Riset Nasional Badan Litbang Kesehatan yang diampu oleh Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan. Penelitian ini merupakan bagian dari Studi Diet Total (SDT) Indonesia yang dilaksanakan selama dua tahun (2014 dan 2015). Tahun 2014 telah dilaksanakan Survei Konsumsi Makanan Individu (SKMI) nasional di 34 provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Tahun 2015 penelitian ACKM dilakukan di 15 provinsi di Indonesia.


Penelitian ACKM bertujuan untuk menyediakan data berbasis bukti dalam hal resiko keterpaparan masyarakat Indonesia terhadap senyawa kimia dari makanan yang dikonsumsi. Data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pembuatan kebijakan yang berkaitan dengan keamanan pangan untuk menjamin kesehatan masyarakat Indonesia.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada :

- Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan yang telah mendanai penelitian
- Dinas Kesehatan Provinsi dan Politeknik Kesehatan, Jurusan Gizi pada provinsi: Aceh, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Maluku dan Papua Barat.
- World Health Organization (WHO HQ dan SEARO), Badan Pengawas Obat dan Makanan, International Life Science Institute SEA Region (ILSI SEA) yang mendukung dan memberi arahan dalam pelaksanaan penelitian.
- Dr. Philippe Verger, Dr. Nick Fletcher, Dr. Wu Yongning, Laila Rabaah, Dr. Judy Cunningham dan Dr. Nipa Rojroongwasinkul, sebagai narasumber internasional
- Prof. Dr. Sri Noegrohati, Apt dan Prof. Nuri Andarwulan sebagai konsultan
- Seluruh peneliti, penanggung jawab teknis, petugas lapangan, penanggung jawab administrasi, teknisi dan seluruh pihak yang telah membantu selesainya penelitian

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan,


dr. Siswanto, MHP., DTM.

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Kerangka Konsep	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
II. METODE.....	5
2.1. Pengumpulan Data Konsumsi Makanan	5
2.2. Pengembangan <i>Food List</i> dan <i>Shopping List</i>	5
2.2.1. Pengambilan Sampel	7
2.2.2. Penanganan Sampel di Lapangan	8
2.2.3. Penanganan Sampel di Pusat.....	9
2.3. Pengambilan dan Penanganan Sampel	11
2.4. Pemeriksaan Sampel.....	11
2.5. Jaminan Mutu Data.....	14
2.6. Analisis Data	14
III. HASIL DAN PEMBAHASAN	16
3.1 Pestisida.....	19
3.1.1 Kandungan Residu Pestisida dalam Makanan.....	19
3.1.2 Analisis Risiko Paparan Pestisida	20
3.1.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Pestisida.....	40
3.2 Logam Berat	45
3.2.1 Kandungan Logam Berat dalam Makanan	45
3.2.2. Timbal (Pb).....	45
3.2.3 Kadmium (Cd).....	51
3.2.4 Arsen (As)	55
3.2.5 Merkuri (Hg)	58
3.3. Aflatoksin	61
3.3.1 Kandungan Aflatoksin Dalam Bahan Makanan	61
3.3.2 Analisis Risiko Paparan Aflatoksin.....	63
3.3.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Aflatoksin	67
3.4. Bahan Tambahan Pangan (BTP)	68
3.4.1 Kandungan BTP di dalam Makanan.....	68
3.4.2 Analisis Risiko Paparan Bahan Tambahan Pangan.....	69

3.4.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Bahan Tambahan Pangan (BTP)	74
3.5. Mineral	75
3.5.1. Kandungan Mineral dalam Bahan Makanan	75
3.5.2. Analisis Risiko Paparan Mineral	76
3.5.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Mineral	96
IV. KESIMPULAN	105
V. SARAN	108

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data kesehatan nasional, telah terjadi pergeseran penyakit penyebab utama kematian. Hasil kajian menunjukkan angka kematian karena penyakit tidak menular (PTM) meningkat dari tahun 2007 ke tahun 2013 yaitu untuk Diabetes Melitus dari 1,1% menjadi 2,1%, Hipertensi dari 7,6% menjadi 9,5%, Stroke 0,83% menjadi 1,21%^{1,2}. Dalam menjamin kecukupan, mutu dan keamanan makanan yang dikonsumsi penduduk diperlukan informasi terkait yang diukur dengan konsumsi zat gizi dan cemaran senyawa kimia berbahaya dalam makanan tersebut.

Dalam Undang-undang Kesehatan, Permenkes dan Peraturan Badan Pengawasan Obat dan Makanan telah diatur tentang keamanan, mutu dan gizi pangan; juga tentang bahan tambahan pangan (BTP), bahan yang dilarang ditambahkan dalam makanan, dan kontaminan. Rencana Aksi Nasional (RAN) Pangan dan Gizi 2010-2014 untuk pencapaian Millennium Development Goals (MDGs) 2015, juga merencanakan kegiatan dalam rangka penguatan semua komponen dalam sistem pangan, kesehatan dan gizi dengan salah satu fokus penguatan adalah penerapan standar keamanan pangan untuk kesehatan berdasarkan kajian risiko³.

Dalam UU-Kesehatan No. 23/1992; Lembaran Negara Tahun 1992 No. 100, Tambahan Lembaran Negara No. 3495, tercantum tentang hak masyarakat memperoleh derajat kesehatan optimal, dan tentang tanggung jawab pemerintah dalam meningkatkan derajat kesehatan masyarakat. Kedua hal ini akan dicapai antara lain melalui pengamanan makanan dan minuman, untuk melindungi masyarakat dari makanan-minuman yang tidak memenuhi ketentuan standar dan atau persyaratan kesehatan⁴.

Studi Diet Total (SDT) merupakan salah satu perangkat untuk menilai tingkat kesehatan masyarakat melalui estimasi keterpaparan populasi Indonesia terhadap cemaran kimia yang berasal dari makanan.

Kegiatannya Studi Diet Total di Indonesia dilaksanakan selama dua tahun, yaitu tahun 2014 dan 2015. Di tahun 2014 dilaksanakan Survey Konsumsi Makanan Individu tingkat nasional di 34 propinsi. dan *pilot project* Analisis Cemaran Kimia

Makanan (ACKM) di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Pada tahun 2015 dilakukan ACKM tingkat nasional.

Dari SKMI dapat dikumpulkan data berat dari setiap jenis makanan yang dikonsumsi dalam sehari oleh penduduk, cara persiapan dan pengolahan makanan yang dikonsumsi, berat badan dan umur individu. Dihasilkan informasi kecukupan asupan energi, karbohidrat, protein, lemak dan natrium, serta daftar makanan yang merupakan penyusun 95 persentil diet penduduk Indonesia yang disebut “*food list*” nasional dan “*food list*” provinsi. “*Food list*” dijadikan sebagai dasar sampling makanan untuk analisis cemaran kimia, Bahan Tambah Pangan (BTP) dan Mineral.

Dari ACKM dihasilkan data kandungan senyawa kimia dalam makanan mentah dan matang yang dikonsumsi masyarakat untuk kemudian ditautkan dengan data konsumsi untuk menghitung risiko keterpaparan populasi Indonesia terhadap senyawa kimia golongan pestisida, logam berat, aflatoxin, BTP dan mineral.

1.2 Tujuan Penelitian

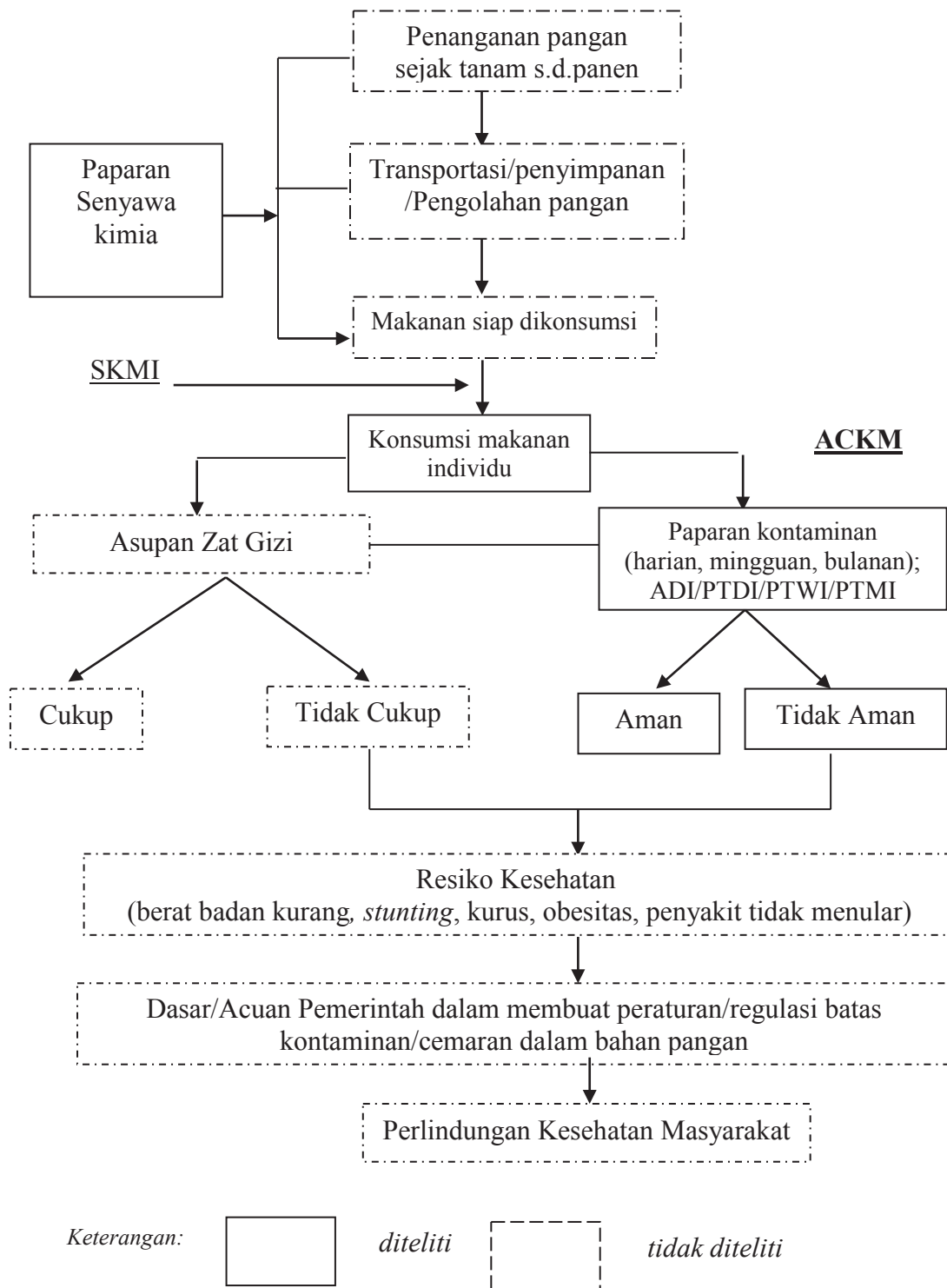
Umum :

Memperoleh gambaran keamanan masyarakat Indonesia dari paparan senyawa kimia berupa kontaminan dan asupan BTP dan mineral.

Khusus :

1. Memperoleh data kandungan kontaminan, BTP dan mineral dalam makanan.
2. Memperoleh estimasi tingkat paparan kontaminan, BTP, dan mineral pada berbagai kelompok umur.
3. Memperoleh informasi karakterisasi risiko paparan kontaminan, BTP, dan mineral pada berbagai kelompok umur.

1.3 Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka Konsep

1.4. Manfaat Penelitian

Data hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan yang berkaitan dengan keamanan pangan, antara lain peraturan batas maksimum kandungan senyawa kimia di dalam produk pangan, peraturan dalam rangka menguatkan program gizi dan kesehatan masyarakat.

II. METODE

2.1. Pengumpulan Data Konsumsi Makanan

Data konsumsi populasi Indonesia diperoleh dari SKMI tahun 2014. Survey ini dilakukan pada 46.240 rumah tangga dan 162.041 individu. Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode *24 hour recall*. SKMI mengumpulkan data jumlah, berat, dan jenis makanan (termasuk merek dan varian makanan industri) yang dikonsumsi oleh setiap individu. Survey ini juga menghasilkan data cara pengolahan makanan yang paling banyak dilakukan oleh masyarakat.

Dari data yang dikumpulkan, dilakukan analisis kecukupan asupan energi, karbohidrat, protein, lemak dan natrium untuk kelompok umur 0-59 bulan, 5-12 tahun, 13-18 tahun, 19-55 tahun dan diatas 55 tahun, serta kelompok khusus ibu hamil. Analisis secara khusus juga dilakukan untuk menghitung jumlah (g) konsumsi gula, garam dan lemak. Konsumsi makanan individu dan kecukupan gizi tingkat nasional dan provinsi dilaporkan secara terpisah.

2.2. Pengembangan *Food List* dan *Shopping List*

Data jenis dan berat makanan yang dikonsumsi digunakan untuk menyusun *food list*. *Food list* adalah daftar bahan makanan penyusun 95 persen diet populasi. Daftar ini digunakan sebagai dasar untuk memilih jenis bahan makanan yang akan disampling dan dianalisis. *Food list* disusun melalui tahapan sebagai berikut:

1. Dilakukan kode ulang dan pengelompokkan bahan makanan sejenis.
2. Dilakukan penjumlahan berat seluruh bahan makanan yang dikonsumsi oleh populasi untuk mengetahui berat total diet.
3. Dilakukan penjumlahan berat bahan makanan yang sama yang dikonsumsi oleh individu untuk menghasilkan total berat per jenis bahan makanan yang dikonsumsi populasi.
4. Dilakukan rangking berat setiap jenis bahan makanan mulai dari yang tertinggi sampai yang terendah, dan dihitung persen kontribusi berat setiap jenis bahan makanan terhadap berat total diet.
5. Dilakukan penjumlahan persen kontribusi hingga mencapai 95%. Jenis makanan yang termasuk di dalam 95% tersebut adalah *food list*.
6. Dilakukan penyusunan *food list* untuk setiap kelompok umur.

7. Dilakukan penambahan jenis bahan makanan spesifik kelompok umur ke dalam *food list*.

Berdasarkan tahapan di atas, dihasilkan *food list* Nasional, yang terdiri dari 99 jenis makanan seperti tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Sampel Makanan (*Food List*)

No.	Nama Bahan Makanan	Nama Kelompok Bahan Makanan	No.	Nama Bahan Makanan	Nama Kelompok Bahan Makanan
1.	Beras/Beras		52.	Pisang	
2.	Nasi/Nasiketan		53.	Pepaya	
3.	Nasi jagung		54.	Mangga	
4.	Jagung		55.	Jeruk	Buah & produk olahannya
5.	Tepung beras		56.	Semangka	
6.	Tepung terigu		57.	Jambu air	
7.	Keripik terigu		58.	Apel	
8.	Roti isi	Sereal & produk olahannya	59.	Pisang meja	
9.	Biskuit		60.	Ikan air tawar	
10.	Mie basah		61.	Ikan laut	Ikan & produk olahannya
11.	Bihun		62.	Udang	
12.	Mie Kering		63.	Ikan laut kering asin	
13.	Mie instan		64.	Telur ayam ras	Telur & produk olahannya
14.	Wafer		65.	Telur burung	
15.	Bubur bayi instan		66.	Susu Kental Manis (SKM)	
16.	Produk ekstruksi		67.	Es Krim	
17.	Kerupuk aci		68.	susu fermentasi	Susu & produk olahannya
18.	Singkong		69.	Susu cair	
19.	Tepung singkong	Umbi & produk olahannya	70.	Susu bubuk	
20.	Kentang		71.	Susu formula balita	
21.	Ubi jalar		72.	Susu formula bayi	
22.	Sagu aren		73.	Santan	
23.	Umbi talas		74.	Kelapa buah	Lemak, minyak & produk olahannya
24.	Kacang tanah	Kacang, polong & produk olahannya	75.	Minyak kelapa sawit	
25.	Kacang hijau		76.	Minyak kelapa	
26.	Tahu		77.	Gula putih/tebu	
27.	Tempe kedelai		78.	Gula kelapa/merah	Gula & konfeksionari
28.	Wortel		79.	Olahan coklat	
29.	Buncis		80.	Permen keras	
30.	Kacang panjang		81.	Jelly/pudding	
31.	Daun lumai		82.	Garam	
32.	Bayam		83.	Kaldu sapi	
33.	Daun Kol		84.	Kecap manis	Bumbu
34.	Nangka Muda		85.	Bawang Putih	
35.	Kangkung		86.	Bawang Merah	
36.	Daun Singkong	Sayuran & produk olahannya	87.	Cabai	
37.	Terong		88.	Minuman teh cair instan	Minuman
38.	Pepaya Muda		89.	Minuman teh serbuk	
39.	Daun Kelor		90.	Minuman coklat	
40.	sawi hijau		91.	Minuman air kelapa	
41.	Tauge		92.	Minuman jus buah cair	
42.	Labu siam		93.	Minuman Jus buah instan	
43.	Ketimun		94.	Minuman beralkohol	
44.	Labu kuning		95.	Minuman berkarbnasi	
45.	Oyong		96.	Minuman isotonic	
46.	Tomat merah		97.	Minuman Kopi bubuk	
47.	Daging Ayam		98.	Air minum dalam kemasan	Air
48.	Daging babi	Daging & produk olahannya	99.	Air bening	
49.	Sosis Sapi				
50.	Daging Sapi				
51.	Bakso sapi				

Berdasarkan *food list* kemudian disusun *shopping list* sebagai dasar sampling bahan makanan di pasar. *Shopping list* memuat informasi jenis, merek, dan varian

bahan makanan terpilih, juga informasi jenis kemasan, harga dan jumlah yang harus dibeli. Jenis, merek dan varian bahan makanan yang disampling adalah yang termasuk ke dalam 70% paling banyak dikonsumsi. Berat setiap jenis, merek dan varian yang dibelanjakan dihitung berdasarkan proporsi konsumsinya.

2.2.1. Pengambilan Sampel

Sampel diambil dari 15 ibukota propinsi di Indonesia, yaitu Daerah Istimewa Aceh, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Maluku, dan Papua Barat. Penentuan propinsi didasarkan pada sebaran letak geografis dan keragaman *food list* per propinsi. Rincian jenis dan jumlah kebutuhan minimum bahan makanan mentah dan olahan yang diambil dari masing-masing propinsi tersaji pada Lampiran 1.

Pengambilan sampel dilakukan di pasar tradisional yang berada di ibukota propinsi. Pemilihan pasar dilakukan secara purposif, yaitu pasar yang menyediakan semua jenis bahan makanan mentah dan olahan yang tercantum dalam *shopping list* masing-masing propinsi. Apabila jenis/varian makanan dalam *shopping list* tidak ditemukan di satu pasar, maka pengambilan sampel dilakukan pada pasar tradisional lainnya, swalayan, atau toko/penjual khusus, seperti pelelangan ikan, penjual roti dan martabak merek tertentu, dll, yang lokasinya terjangkau dari laboratorium pengolahan di masing-masing propinsi. Pasar tempat pengambilan sampel di masing-masing propinsi, tercantum pada Lampiran 2.

Setiap jenis sampel dibeli dari tiga pedagang secara purposif, masing-masing dua ulangan. Sampel dipilih dari penjual dengan tumpukan sampel < 50 kg, kecuali beras dipilih dari penjual yang menyediakan tumpukan sampel ≥ 50 kg. Sampel diambil mewakili bagian atas, tengah dan bawah tumpukan. Sampel yang berbentuk buah/tangkai/butir/ekor dibeli dengan berat satuan $< 0,5$ kg, kecuali buah semangka. Jumlah, rasa dan varian sampel yang dibeli mengacu pada *shopping list* masing-masing propinsi.

Instrumen yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah Formulir Rekapitulasi Belanja dan Buku Pedoman Pengambilan dan Penanganan Sampel di Lapangan. Waktu pengumpulan sampel adalah di bulan Oktober 2015 secara serentak.

2.2.2. Penanganan Sampel di Lapangan

Penanganan sampel makanan dilakukan di Laboratorium Pengolahan Pangan Politeknik Kesehatan (Poltekkes), Jurusan Gizi di 15 ibukota propinsi terpilih dan di Laboratorium Pengolahan Pusat Teknologi Terapan Kesehatan dan Epidemiologi Klinik, Badan Litbang Kesehatan di Bogor. Daftar laboratorium pengolahan Poltekkes tempat dilakukan penanganan sampel lapangan tersaji pada Lampiran 3.

Penanganan sampel di lapangan meliputi kegiatan penerimaan hasil belanja sampel, sub sampling, penyiapan sebelum pengolahan, pengolahan makanan, penyiapan sebelum pengemasan, pengemasan, penyimpanan dan pengiriman sampel dari lapangan ke pusat.

Proses sub sampling dilakukan dengan 3 cara, yaitu *quartering*, *mixing* dan sistematis random sampling. *Quartering* dilakukan untuk sampel padatan berupa bulir, tepung, buah berukuran kecil, dan sayuran. *Mixing* dilakukan untuk bahan makanan berbentuk cair (minyak, susu, santan, dll). Sistematis random sampling dilakukan untuk sampel yang lunak atau beresiko hancur seperti tahu atau telur, dan sampel yang dikemas dalam dus atau plastik seperti mie instan, bihun, wafer, dll.

Penyiapan sebelum pengolahan meliputi kegiatan pengupasan, pencucian dan pengecilan ukuran bahan makanan spesifik untuk setiap jenis bahan makanan. Dilakukan penghitungan berat kotor dan berat bersih bahan pangan. Pada tahap ini juga dilakukan penimbangan bahan makanan mentah untuk diolah dengan memperhitungkan konversi berat mentah-masak.

Sampel makanan mentah diolah dengan pengolahan dasar tanpa bumbu, yaitu dibakar, dipanggang, digoreng, dikukus, direbus dan diseduh. Jenis pengolahan dasar untuk setiap sampel ditentukan berdasarkan cara pengolahan yang dilakukan oleh $\geq 10\%$ penduduk untuk sampel tersebut. Penyiapan dan pengolahan dilakukan menggunakan peralatan berbahan dasar *stainless steell*, teflon dan plastik. Air yang digunakan untuk penyiapan dan pengolahan sampel adalah air bersih yang biasa digunakan oleh laboratorium pengolahan. Cara pengolahan untuk masing-masing sampel, secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Buku Pedoman Pengambilan dan Penanganan Sampel di Lapangan.

Penyiapan sebelum pengemasan meliputi kegiatan penirisan sampel terolah, memperkecil ukuran sampel dan penimbangan. Sampel yang telah diolah dikemas menggunakan plastik HDPE dan diberi stiker. Sampel yang mengandung cairan, dikemas rapat, dan sampel berupa padatan dikemas rapat hampa udara. Sampel yang

sudah dikemas dalam plastik dan berstiker dibekukan pada $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, setelah beku disusun ke dalam kotak pendingin (*cool box*) yang berisi gel pack beku. Sampel kering seperti tepung, bihun mentah, dikemas kembali menggunakan amplop kertas dan disusun ke dalam kardus. Kedua jenis sampel tersebut dikirim ke laboratorium pengolahan makanan Badan Litbangkes, dan diterima dalam jangka waktu paling lambat 24 jam. Rincian teknik penanganan sampel di lapangan dapat dilihat pada Buku Pedoman Pengambilan dan Penanganan Sampel di Lapangan.

Instrumen yang digunakan dalam penanganan sampel di lapangan terdiri dari:

- Buku Pedoman Pengambilan dan Penanganan Sampel di Lapangan
- Daftar Penerimaan Hasil Belanja (Form ACKM 02)
- Formulir Sub-sampling (Form ACKM 03)
- Formulir Penyiapan Bahan Makanan (Form ACKM 04)
- Form Pengolahan Sampel (Form ACKM 05)
- Formulir Penyiapan Sampel Sebelum Pengemasan (Form ACKM 06)
- Formulir pengiriman & penerimaan sampel lapangan per cool box (Form ACKM 07)
- Formulir pengiriman & penerimaan dokumen (Form ACKM 08)

2.2.3. Penanganan Sampel di Pusat

Penanganan sampel di pusat, meliputi kegiatan penerimaan, *batching*, homogenisasi, uji homogenisasi dan stabilitas, pengiriman sampel uji ke laboratorium uji, analisis senyawa kimia dan kontrol kualitas analisis. Sampel yang diterima dari lapangan diperiksa jumlahnya dan dicatat suhunya, kemudian disimpan di dalam *freezer* (ruang pendingin) bersuhu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan disusun dalam rak di ruang pendingin sesuai jenis sampel & pengolahan (*batching*).

Setiap jenis sampel dengan pengolahan dan ulangan yang sama dari setiap propinsi dikompositkan dan dihomogenkan menjadi sampel satu uji. Proses homogenisasi dilakukan menggunakan homogenizer Robot Coupe R.15.V.V & R.8.V.V. Sampel dihomogenkan dengan 2 (dua) cara, yaitu (1) Dihomogenisasi dengan menambahkan *dry ice* dan (2) tanpa *dry ice*. Secara umum sampel yang dihomogenkan dengan *dry ice* adalah sampel segar dan olahan kondisi beku. Sampel bubuk kering dan cair yang tidak dibekukan saat dikirim, dan sampel yang mengandung kadar air yang sangat tinggi ($\geq 90\%$) dihomogenkan tanpa *dry ice* seperti susu bubuk dan formula, minuman instan serbuk, kopi bubuk, teh serbuk,

gula tebu, minyak kelapa dan kelapa sawit, minuman beralkohol, air tawar, air dalam kemasan, minuman berkarbonasi, dan minuman isotonik.

Sampel uji yang telah homogen dikemas dalam kotak plastik ukuran 600 dan 800 ml untuk keperluan analisis, uji kontrol kualitas/QC, arsip sampel dan simpanan/*retain*. Sampel uji untuk keperluan analisis dan uji kontrol kualitas dikirim ke laboratorium pengujian dalam kondisi beku.

Pengujian senyawa kimia sampel dilakukan di satu laboratorium pengujian yang dipilih berdasarkan tender. Laboratorium terpilih memenuhi persyaratan kompetensi dalam analisis kimia yang dibutuhkan, memiliki historis pengujian senyawa yang diinginkan, dan telah terakreditasi. Kontrol kualitas dilakukan secara internal di laboratorium pengujian. Rincian teknik penanganan sampel di laboratorium pusat dapat dilihat pada Buku Pedoman Penanganan Sampel di Laboratorium Pusat, Penerimaan, *Batching*, Homogenisasi dan Pengiriman Sampel.

Instrumen yang digunakan dalam penanganan sampel di laboratorium pusat, terdiri dari:

- Buku Pedoman Penanganan Sampel di Laboratorium Pusat, Penerimaan, *Batching*, Homogenisasi dan Pengiriman Sampel.
- Formulir pengiriman & penerimaan sampel lapangan per *cool box* (Form ACKM 07)
- Formulir pengiriman & penerimaan dokumen (Form ACKM 08)
- Formulir homogenisasi sampel lapangan (Form. ACKM 09)
- Formulir pengiriman sampel uji ke laboratorium (Form. ACKM 10)



Gambar 2. Diagram Alir Sampling dan Penanganan Sampel

2.3. Pengambilan dan Penanganan Sampel

Sampel ACKM adalah bahan makanan mentah dan olahan dari jenis makanan yang ada di *food list*. Bahan makanan mentah diolah menggunakan pengolahan dasar, yaitu bakar, goreng, panggang, rebus, tumis, kukus, dan seduh. Cara pengolahan untuk tiap bahan makanan ditetapkan berdasarkan informasi dari SKMI. Diperoleh sampel uji berupa kombinasi makanan mentah dan matang sebanyak 227 jenis dengan dua ulangan.

Kegiatan pengambilan dan penanganan sampel dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu (1) Pengambilan, pengolahan dan pengiriman sampel di lapangan; (2) Penerimaan dan homogenisasi sampel makanan menjadi sampel uji komposit, dan (3) Analisis sampel uji di laboratorium, (4) Test homogenisasi dan stabilitas sampel, seperti tampak pada gambar 2.

2.4. Pemeriksaan Sampel

Sampel yang dianalisis berjumlah 227 x 2 ulangan. Jenis senyawa kimia yang dianalisis meliputi:

- Residu pestisida, terdiri dari pestisida golongan organoklorin, organofosfat, karbamat, piretroid, iprodion, chlorpirifos, dan profenofos.
- Logam berat, terdiri dari timbal (Pb), kadmium (Cd), arsen (As), metil merkuri dan total merkuri

- Aflatoksin, terdiri dari Aflatoksin B1, B2, G1, G2, M1 dan M2
- Bahan Tambahan Pangan, terdiri dari Sakarin, Siklamat, Na Benzoat dan Tartrazin.
- Mineral, terdiri dari besi (Fe), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), zink (Zn), selenium (Se), natrium (Na).

Dilakukan pula analisis kadar air untuk penghitungan kadar cemaran dalam berat kering. Rincian hasil analisis kadar air tersaji pada Lampiran 5.

Metode dan instrumen yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai LOD dan LOQ masing-masing analit dapat dilihat, berturut-turut pada Lampiran 6, 7, 8 dan 9.

Tabel 2. Metode dan Instrumen Analisis Cemaran Kimia

No.	Nama Analit	Metode Analisis	Instrumen	
<i>Residu Pestisida</i>				
1.	Chlorpirifos Profenofos	Ministry of Health, labour & welfare, Notification No. 370	GC/MS	
	Iprodione	Ministry of Health, labour & welfare, Notification No. 370	LC-MS/MS	
	Organoklorine	Ministry of Health, labour & welfare, Notification No. 370	GC/MS	
	Organofosfate	Ministry of Health, labour & welfare, Notification No. 370	GC/MS	
	Karbamat	Quechers	LC-MS/MS	
	Piretroid	Ministry of Health, labour & welfare, Notification No. 370	GC/MS	
<i>Logam Berat</i>				
2.	Pb Cd As Metil Merkuri Total Merkuri	AOAC 993.14 & 999.10:2005	ICP/MS	
<i>Aflatoksin</i>				
3.	Aflatoksin B1 Aflatoksin B2 Aflatoksin G1 Aflatoksin G2	AOAC 991.31 & 994.08 (edition 2005)	HPLC/FLD	
	Aflatoksin M1 Aflatoksin M2	Elisa	Elisa Reader	
<i>Bahan Tambahan Pangan</i>				
4.	Sakarin	Compendium of method for food analysis, first edision 2003 (SO)-(ID)-[CTS]-AN-243 refer to LBFD 03201 Modified jurnal of Chromatography A 1073 (2005) FAO of UNS. Manual of Food QC 17, Compendium of Method for Food Analysis (2003),Ch 1, p 54 – 59	HPLC/DAD	
	Siklamat			
	Na Benzoat			
	Tartrazin			
<i>Mineral</i>				
5.	Fe Ca K Mg Zn Se Na	AOAC 999.10 & 993.14	ICP-OES	
	6.	Kadar Air	AOAC, 2000	Oven

2.5. Jaminan Mutu Data

Laboratorium tempat dilakukannya analisis adalah laboratorium yang telah terakreditasi ISO 17025 sebagai laboratorium pengujian. Laboratorium memiliki nilai LOD dan LOQ metode yang spesifik untuk matriks bahan makanan yang berbeda. Sampel dianalisis dalam dua ulangan dengan menggunakan *blind* kode yang tidak diketahui identitasnya oleh laboratorium penguji. Data analisis dihasilkan dari rata-rata dua ulangan pengukuran. Bila terdapat satu nilai yang *outlayer* diantara dua ulangan, dilakukan analisis kembali untuk ulangan tersebut.

2.6. Analisis Data

Analisis risiko keterpaparan dihitung secara probabilistik, yaitu dengan menghitung nilai paparan setiap individu, baru kemudian dilakukan analisis risiko paparan terhadap populasi. Perhitungan dilakukan dengan pendekatan nilai bawah (lower bound) dan nilai atas (upper bound). Pada perhitungan lower bound seluruh hasil analisis cemaran dengan nilai tidak terdeteksi (ttd) diberi angka 0 dan nilai yang tidak bisa dikuantifikasi diberi nilai LOD. Pada perhitungan upper bound, seluruh hasil analisis cemaran dengan nilai tidak terdeteksi (ttd) diberi nilai LOD dan nilai yang tidak bisa dikuantifikasi diberi nilai LOQ.

Referensi standar kesehatan masing-masing senyawa kimia yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan paparan (mg/kg bb/hr) dan paparan (mg/hr), berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Referensi Standar Kesehatan untuk Paparan (mg/kg bb/hr) Bahan Tambahan Pangan, Pestisida dan Logam Berat

Jenis Cemar Kimia	Referensi Standar Kesehatan	Satuan	Referensi
Bahan Tambahan Pangan			
Sakarin	5 mg/kg bb		(WHO,1993) ⁷
Siklamat	11 mg/kg bb	ADI	(WHO,1993) ⁷
Natrium Benzoat (dalam asam benzoat)	5 mg/kg bb	(mg/kg bb/hari)	(WHO, 2015) ⁸
Tartrazin	7,5 mg/kg bb		(WHO, 1964) ⁹
Residu Pestisida			
Profenofos	0,03		JMPR, 2007 ¹⁰
Klorpirifos	0,01		JMPR, 2004 ¹¹
Iprodion	0,06		JMPR, 1995 ¹²
Lindan	0,005		JMPR, 2002 ¹³
Klordan α	0,0005		JMPR, 1994 ¹⁴
DDE-pp	0,01		JMPR, 2000 ¹⁵
DDT-pp	0,01		JMPR, 2000 ¹⁵
Endosulfan I	0,006	ADI	JMPR, 1998 ¹⁶
Endrin	0,0002	(mg/kg bb/hari)	JMPR, 1994 ¹⁷
Dikrotofos	0,00007		USEPA, 2006
Paration metil	0,003		JMPR, 1995 ¹⁸
Karbaril	0,008		JMPR, 2001 ¹⁹
Karbofuran	0,001		JMPR, 2008 ²⁰
Karbendazim	0,03		JMPR, 2005 ²¹
Sipermetrin	0,02		JMPR, 2006 ²²
Siflutrin	0,04		JMPR, 2006 ²³
Permetrin	0,05		JMPR, 2002 ²⁴
Logam Berat			
Pb	-		
Cd	7	PTWI	WHO (2010) ²⁵
	25	PTMI ($\mu\text{g/kg bb/bulan}$)	
Arsen	-		
Total Merkuri (Inorganik merkuri)	4	PTWI ($\mu\text{g/kg bb/minggu}$)	WHO (2011) ⁵
Metil Merkuri	1,6	PTWI ($\mu\text{g/kg bb/minggu}$)	WHO (2010) ²⁵

Keterangan: bb: berat badan

Tabel 4. Referensi Standar Kesehatan untuk Paparan (mg/hr) Mineral

Kelompok Umur	Upper Limits (UL) (mg/hr)								
	Ca	Cu	Fe	I	Mg	Mn	Na	Se	Zn
0 - 35 bln		1 ^{26, 28}	40 ²⁸	0,20 ^{28,29}	-			0,06 ³²	7 ^{26,28}
36 - 59 bln		2 ²⁶	40 ²⁸	0,25 ²⁹				0,09 ³²	10 ²⁶
5 - 12 th	2500 ^{26,27}	4 ²⁶	40 ²⁸	0,30 ^{28,29}	250 ³⁰	11 ²⁸	2300 ³¹	0,13 ³²	13 ²⁶
13 - 18 th		4 ²⁶	45 ²⁸	0,50 ²⁹				0,25 ³²	22 ²⁶
19 - 55 th		5 ²⁶	45 ²⁸	0,60 ²⁹				0,30 ³²	25 ²⁶
> 55 th		5 ²⁶	45 ²⁸	0,60 ²⁹				0,30 ³²	25 ²⁶

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Paparan senyawa kimia merupakan perkalian jumlah bahan makanan dikonsumsi (g/hari) dengan konsentrasi (mg/kg bahan) senyawa kimia tersebut di dalam bahan makanan. Paparan senyawa kimia terhadap individu dinyatakan dengan satuan mg/kg bb/hari. Rerata konsumsi bahan makanan penyusun *food list* yang dikonsumsi oleh populasi dan pengonsumsi dapat dilihat pada Tabel 5. Dasar perhitungan analisis paparan senyawa kimia dilakukan terhadap pengonsumsi. Jumlah total pengonsumsi dalam penelitian ini adalah 161.648 orang. Pada setiap kelompok umur, jumlah pengonsumsi yang digunakan sebagai dasar analisis data berbeda jumlahnya tergantung jenis cemaran kimia. Hal ini dikarenakan pengujian suatu jenis cemaran kimia tidak dilakukan pada seluruh sampel makanan, melainkan hanya pada sampel yang diduga merupakan sumber cemaran.

Tabel 5. Rerata Konsumsi Bahan Makanan Penyusun *Food List*

No	Nama Bahan Pangan	Jumlah dikonsumsi (g)			Jumlah dikonsumsi (g)		
		Populasi			Pengonsumsi		
		N	Rerata	Std Deviasi	N	Rerata	Std Deviasi
1	Nasi ketan	162044	1,44	13,48	3792	61,15	63,91
2	Nasi	162044	385,09	231,43	157663	394,21	226,35
3	Nasi Jagung	162044	3,81	43,96	2267	271,10	255,21
4	Jagung	162044	3,82	28,01	9717	63,46	96,17
5	Bihun	162044	1,83	11,70	9166	32,26	37,80
6	Bubur bayi	162044	0,17	4,61	460	61,31	60,93
7	Biskuit	162044	2,50	13,79	12623	31,97	38,60
8	Produk ekstrusi	162044	0,90	6,36	6268	23,13	22,95
9	Mie instan	162044	23,93	66,84	24770	155,91	92,37
10	Roti	162044	5,59	22,21	14312	63,08	44,04
11	Wafer	162044	1,06	7,43	6563	26,08	26,56
12	Kripik terigu	162044	0,27	3,97	1707	25,88	28,75
13	Ubi jalar	162044	6,45	73,26	4087	254,84	385,56
14	Talas umbi	162044	0,69	14,43	903	123,83	148,29
15	Kerupuk aci	162044	1,14	6,73	9380	19,59	20,44
16	Sagu aren	162044	1,41	23,39	2983	76,22	154,58
17	Kacang tanah	162044	2,34	10,83	15990	23,64	26,08
18	Kacang hijau	162044	1,02	12,12	3282	50,15	69,01
19	Tahu	162044	16,83	40,53	40362	67,30	56,32
20	Tempe kedelai	162044	23,94	47,92	54178	71,32	58,85
21	Bayam	162044	4,35	17,65	16229	43,28	37,60
22	Daun singkong	162044	5,11	25,11	13519	61,06	64,12
23	Kangkung	162044	4,13	17,75	14935	44,59	39,99

Tabel 3. Rerata Berat Bahan Makanan Penyusun *Food List* yang Dikonsumsi oleh Populasi dan Pengonsumsi (Lanjutan)

No	Nama Bahan Pangan	Jumlah dikonsumsi (g) Populasi			Jumlah dikonsumsi (g) Pengonsumsi		
		N	Rerata	Std Deviasi	N	Rerata	Std Deviasi
24	Sawi hijau	162044	2,62	13,33	12885	32,78	35,18
25	Ketimun	162044	2,36	15,33	8999	42,33	50,24
26	Terong	162044	3,57	19,58	10649	54,15	55,45
27	Tomat	162044	5,15	14,17	42502	19,55	21,92
28	Apel	162044	1,09	13,13	1808	97,10	77,90
29	Jeruk	162044	3,00	19,86	9853	49,20	64,70
30	Mangga	162044	2,65	26,60	3996	106,97	132,03
31	Pepaya	162044	2,67	22,40	3842	112,14	93,83
32	Pisang	162044	7,00	36,24	11504	98,22	97,29
33	Daging babi	162044	0,79	11,97	1237	103,26	90,06
34	Daging sapi	162044	2,22	14,12	7057	50,71	45,85
35	Daging ayam	162044	11,82	30,89	34061	56,02	45,23
36	Sosis sapi	162044	0,40	4,54	2046	31,74	25,17
37	Ikan air tawar	162044	11,07	35,29	23047	77,55	59,71
38	Ikan air laut	162044	19,65	48,72	36931	85,90	68,44
39	Ikan air laut kering asin	162044	3,93	15,43	19039	33,30	32,26
40	Udang	162044	1,13	9,46	5717	31,78	39,41
41	Telur ayam	162044	19,97	36,46	57239	56,32	41,25
42	Telur burung	162044	0,22	3,45	1057	34,24	25,46
43	Eskrim	162044	0,59	8,21	1281	74,74	54,33
44	Susu bubuk	162044	0,46	5,90	4110	17,95	32,47
45	Susu formula bayi	162044	0,13	5,66	256	79,70	117,94
46	Susu formula balita	162044	1,20	14,85	2192	88,03	92,71
47	Susu cair	162044	3,61	31,37	4716	123,45	137,45
48	Susu kental manis	162044	2,29	12,88	10570	34,93	37,33
49	Susu fermentasi	162044	0,30	6,16	565	87,12	57,18
50	Kelapa, buah	162044	1,45	9,76	10801	21,67	31,37
51	Minyak kelapa sawit	162044	16,62	18,34	142584	18,82	18,42
52	Santan	162044	16,03	44,59	39903	64,85	69,84
53	Produk olahan coklat	162044	0,32	3,20	3935	13,00	15,99
54	Gula tebu	162044	11,81	17,72	97705	19,50	19,20
55	Gula merah	162044	1,76	10,08	24226	11,71	23,67
56	Jelly/puding agar-agar	162044	1,31	14,90	3074	68,75	83,78
57	Permen keras	162044	0,22	2,19	3767	9,55	10,76
58	Cabai	162044	4,65	8,77	92640	8,10	10,29
59	Minuman berkarbonasi	162044	2,21	29,14	1696	210,62	192,08
60	Minuman beralkohol	162044	0,97	33,90	271	576,26	594,66
61	Minuman jus buah instan	162044	1,62	18,59	5548	47,04	88,99

Tabel 3. Rerata Berat Bahan Makanan Penyusun *Food List* yang Dikonsumsi oleh Populasi dan Pengonsumsi (Lanjutan)

No	Nama Bahan Pangan	Jumlah dikonsumsi (g)			Jumlah dikonsumsi (g)		
		Populasi			Pengonsumsi		
		N	Rerata	Std Deviasi	N	Rerata	Std Deviasi
62	Minuman kopi bubuk	162044	6,01	16,05	40243	24,10	24,42
63	Minuman teh serbuk	162044	1,90	16,86	50245	6,11	29,79
64	Minuman coklat	162044	0,42	7,76	1891	36,14	62,04
65	Minuman isotonic	162044	1,42	25,68	604	379,37	181,35
66	Air bening	162044	884,85	721,82	141048	1012,52	683,32
67	Air dalam kemasan	162044	384,32	706,60	55496	1117,74	795,19
68	Bakso sapi	162044	3,95	19,51	11119	57,33	49,65
69	Bawang merah	162044	4,28	6,25	109689	6,30	6,70
70	Bawang putih	162044	2,51	4,22	105058	3,85	4,71
71	Daun kol	162044	3,08	11,72	25270	19,68	23,47
72	Jambu	162044	0,46	9,99	727	101,17	109,48
73	Kaldu sapi	162044	1,10	13,03	2320	76,37	77,85
74	Kecap manis	162044	1,35	4,20	28809	7,56	7,21
75	Kentang	162044	3,42	15,94	14571	37,87	38,84
76	Mi basah	162044	5,74	30,33	10547	87,84	82,89
77	Minuman air kelapa	162044	1,34	21,40	986	219,14	164,93
78	Minyak kelapa	162044	0,80	4,62	8423	15,40	13,58
79	Oyong	162044	0,84	9,59	2549	52,99	55,32
80	Pisang meja	162044	8,11	36,12	13648	95,85	83,79
81	Sayur daun lainnya	162044	2,15	13,46	23173	14,97	32,70
82	Singkong	162044	4,52	31,21	7543	96,78	109,17
83	Tauge	162044	2,04	8,20	19001	17,30	17,51
84	Tepung singkong	162044	1,99	12,70	11777	27,28	38,98
85	Tepung terigu	162044	9,38	22,35	48657	31,12	31,32
86	Minuman teh cair	162044	14,29	92,12	10460	220,44	292,42
87	Minuman jus buah cair	162044	2,12	24,65	1629	209,61	129,21
88	Tepung beras	162044	1,19	8,82	7867	24,51	32,01
89	Mi kering	162044	1,91	18,06	3889	79,46	85,89
90	Daun kelor	162044	0,55	6,91	1843	47,75	43,87
91	Labu kuning	162044	0,68	9,06	2532	43,43	58,13
92	Labu siam	162044	2,66	15,96	10517	40,81	48,48
93	Nangka muda	162044	2,36	16,02	7422	51,30	55,42
94	Pepaya muda	162044	1,14	10,74	3908	47,06	51,04
95	Wortel	162044	3,85	12,10	27189	22,88	20,84
96	Buncis	162044	1,44	9,37	8206	28,27	31,13
97	Kacang panjang	162044	5,36	22,00	23569	36,69	46,52
98	Semangka	162044	2,16	21,73	2822	123,34	109,86
99	Garam	162044	3,44	3,95	155168	3,58	3,97

3.1 Pestisida

3.1.1 Kandungan Residu Pestisida dalam Makanan

Dari 227 jenis bahan makanan, dilakukan analisis kandungan residu pestisida terhadap 43 jenis bahan makanan pada kelompok sereal, umbi, kacang dan polong, sayuran, buah-buahan, ikan, bumbu, minuman dan air. Jenis residu pestisida yang positif terkandung pada sampel bahan makanan adalah profenofos, klorpirifos, paration metil, karbaril, karbofuran, karbendazim, sipermetrin, siflutrin dan permetrin. Sayuran merupakan kelompok bahan makanan yang mengandung semua residu pestisida tersebut, terutama sawi hijau dan sayuran daun lainnya.

Terdapat lima jenis bahan makanan yang positif mengandung residu profenofos, yaitu sawi hijau, tomat, sayuran daun lainnya, apel dan cabai dengan kadar antara 0,0025 – 0,4141 mg/kg bahan. Terdapat satu jenis bahan makanan yang positif mengandung residu klorpirifos, yaitu sayuran daun lainnya sebesar 0,0274 mg/kg. Terdapat 3 jenis bahan makanan yang mengandung residu paration metil, yaitu ubi jalar, tauge dan buncis dengan kadar antara 0,0050 – 0,0849 mg/kg bahan. Terdapat 3 jenis bahan makanan yang mengandung pestisida karbaril yaitu ubi jalar, kangkung, sawi hijau, ketimun, dan sayur daun lainnya dengan kadar antara 0,0025 - 0,0822 mg/kg bahan. Terdapat pada 5 jenis bahan makanan yang positif mengandung pestisida karbofuran yaitu Jagung, kangkung, sawi hijau, ketimun dan sayur daun lainnya dengan kadar 0,0005 – 0,0743 mg/kg bahan.

Terdapat 4 jenis bahan makanan yang mengandung residu karbendazim, yaitu sayuran daun lainnya, buncis, apel dan jeruk dengan kadar antara 0,0057 – 0,1897 mg/kg bahan. Residu sipermetrin dan siflutrin terkandung pada sawi hijau dengan kadar 0,0050 – 0,1657 dan 0,1114 mg/kg bahan. Residu permetrin terkandung pula pada sawi hijau dan tomat dengan kadar 0,0150 – 0,1293 mg/kg bahan.

Organofospat merupakan pestisida yang banyak digunakan di bidang pertanian. Pestisida golongan ini banyak digunakan karena mudah terurai. Dari 43 jenis sampel yang diuji residu pestisida, terdapat 3 jenis bahan makanan yang mengandung residu diklotopos yaitu pada kol, kangkung dan ketimun dengan kadar 0,0025 – 0,0050 mg/kg bahan. Residu pestisida jenis paration metil ditemukan pada 3 jenis bahan makanan yaitu ubi jalar, kangkung dan tauge dengan kadar 0,0050 – 0,0849 mg/kg bahan.

Terdapat 10 jenis bahan makanan yang positif mengandung residu karbaril, karbofuran dan karbendazim. Bahan makanan yang mengandung residu pestisida karbaril adalah jagung, ketimun, kangkung, sayur daun lainnya, cabai, dan ikan laut kering asin dengan kadar 0,0005 – 0,0822 mg/kg bahan. Bahan makanan yang mengandung residu pestisida karbofuran adalah ketimun dan sayur daun lainnya dengan kadar 0,0005 – 0,0743 mg/kg bahan. Bahan makanan yang mengandung residu karbendazim adalah umbi talas, apel dan jeruk dengan kadar 0,0017 – 0,1887 mg/kg bahan.

3.1.2 Analisis Risiko Paparan Pestisida

Residu pestisida adalah zat yang terkandung dalam hasil pertanian, bahan pangan, atau pakan hewan, baik sebagai akibat langsung maupun tidak langsung dari penggunaan pestisida. Residu pestisida mencakup senyawa turunan pestisida, seperti senyawa hasil konversi, metabolit, hasil reaksi, dan zat pengotor yang dapat memberikan pengaruh toksikologis³³. Penggunaan pestisida dalam tata cara budidaya pertanian berhubungan dengan analisis resiko paparan senyawa tersebut. Prinsip penggunaan pestisida harus sesuai dengan cara penggunaan pestisida yang secara resmi dianjurkan, dan dalam pelaksanaannya diterapkan pada setiap tahapan proses produksi, penyimpanan, transportasi, distribusi, dan pengolahan bahan pangan, hasil pertanian dan pakan hewan. Penggunaan pestisida seharusnya memenuhi jumlah minimum yang diperlukan untuk pengendalian hama yang memadai, dan hanya meninggalkan residu dalam jumlah minimum yang tidak melebihi dari batas dari *Acceptabel Daily Intake* (ADI) yang disyaratkan.

Nilai ADI residu pestisida adalah jumlah residu pestisida yang dapat dikonsumsi oleh manusia setiap hari seumur hidup tanpa menyebabkan risiko kesehatan. Nilai ADI untuk residu pestisida telah tersaji pada Tabel 4. Nilai paparan populasi terhadap residu pestisida dibandingkan dengan ADI untuk mengkarakterisasi risiko. Di semua parameter residu pestisida, kelompok usia 0-35 bulan merupakan kelompok yang memiliki paparan tertinggi per kilo gram berat badan, karena kelompok ini memiliki rerata berat badan terendah diantara kelompok usia lainnya.

3.1.2.1 Profenofos

Estimasi nilai paparan residu profenofos untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Nilai Paparan Residu Profenofos untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Profenofos (mg/kg bb/hari)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹⁰	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
		Total Pengonsumsi	Rerata		0,0000	- 0,0002
	P 95	0,0002	- 0,0005	0,59	- 1,55	
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0004	0,03	0,13	- 1,19
	P 95	0,0002	- 0,0009		0,67	- 3,09
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0004		0,14	- 1,20
	P 95	0,0002	- 0,0008		0,70	- 2,62
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,13	- 0,89
	P 95	0,0002	- 0,0006		0,66	- 1,94
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,11	- 0,60
	P 95	0,0002	- 0,0004		0,56	- 1,31
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,11	- 0,59
	P 95	0,0002	- 0,0004		0,58	- 1,30
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002	0,12	- 0,65	
	P 95	0,0002	- 0,0004	0,67	- 1,40	

Estimasi nilai paparan residu profenofos untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan nilai bawah dan nilai atas rerata pengonsumsi adalah sebesar 0,11- 0,66 % ADI dan pada 95 persentil pengonsumsi adalah 0,59 - 1,50 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu profenofos tertinggi pada kelompok umur 0-35 bulan, yaitu setara dengan 3,09 % ADI. Dengan nilai ini, paparan residu profenofos masuk dalam kategori aman (Tabel 6).

3.1.2.2 Klorpirifos

Klorpirifos memiliki nama kimia (IUPAC): O,O-dietil O-3,5,6-trikloro-2-piridil fosforotioat, (CA) : O- O-dietil O- (3,5,6-trikloro-2-piridinil) fosforotioat. Klorpirifos berumur pendek dengan waktu paruh kurang dari seminggu dan tidak persisten di dalam tanah, sehingga kadang-kadang risiko kesehatannya diabaikan. Proses penghilangan residu klorpirifos dari lingkungan adalah dengan cara penguapan. Kajian efek kesehatan residu klorpirifos oleh *Join Meeting on Pesticides Residues* (JMPR) WHO-FAO pada tahun 1999 memperkirakan asupan harian yang tidak menimbulkan efek kesehatan bagi manusia adalah sampai dengan 0,01 mg/ kg berat badan dan referensi dosis akut (RFD akut) pada 0,1 mg/ kg berat badan. Klasifikasi bahaya senyawa kimia klorpirifos menurut WHO adalah "cukup berbahaya, Kelas II".

Estimasi nilai paparan residu klorpirifos untuk pengonsumsi di Indonesia tersaji pada Tabel 7. Nilai paparan residu klorpirifos untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan nilai atas rerata pengonsumsi setara dengan 1,32 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi setara 2.68% ADI. Paparan tersebut lebih tinggi dibandingkan paparan klorpirifos pada pengonsumsi di Kanada sebesar 0,08 % ADI dan India sebesar 0,02 % ADI³⁴. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu klorpirifos tertinggi terdapat pada 95 persentil kelompok umur 0-35 bulan sebesar 4,97 % nilai ADI. Dengan nilai ini, paparan residu klorpirifos masuk dalam kategori aman

Tabel 7. Estimasi Nilai Paparan Residu Klorpirifos untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Klasifikasi	Paparan Klorpirifos (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹¹	% Paparan terhadap ADI	
	Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000 - 0,0001	0,01	0,01	- 1,32
	P 95	0,0000 - 0,0003		0,03	- 2,68
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,01	- 2,11
	P 95	0,0000 - 0,0005		0,03	- 4,97
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,01	- 2,26
	P 95	0,0000 - 0,0005		0,04	- 4,74
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,01	- 1,80
	P 95	0,0000 - 0,0004		0,04	- 3,71
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0001		0,01	- 1,25
	P 95	0,0000 - 0,0002		0,02	- 2,47
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0001	0,01	- 1,20	
	P 95	0,0000 - 0,0002	0,03	- 2,27	
> 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0001	0,01	- 1,23	
	P 95	0,0000 - 0,0002	0,03	- 2,31	

3.1.2.3 Iprodion

Iprodion adalah suatu fungisida non-sistemik yang digunakan luas dibidang pertanian. Pestisida ini aktif terhadap spora dan miselium dari sejumlah jamur parasite dan digunakan sebagai fungisida tertentu dan untuk mengontrol penyakit dari berbagai buah, tanaman merambat, tanaman sayuran, sereal, minyak lobak, bunga matahari, tanaman hias dan rumput. Iprodion terhidrolisa secara lambat pada pH 5 namun kecepatannya meningkat pada pH lebih tinggi dan mengalami degradasi secara lambat dengan fotolisis. *Join Expert Meeting on Pesticides residue* menyebutkan nilai ADI residu iprodion adalah sebesar 0,06 mg/kg bb/hr, didasarkan pada NOAEL sebesar 6 mg/kg bb/hr^{35,36}.

Dari 43 jenis bahan makanan yang dianalisis tidak ada yang positif mengandung residu iprodion. Estimasi nilai paparan iprodion untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 8.

Tabel 8. Estimasi Nilai Paparan Iprodion untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Klasifikasi		Paparan Iprodion (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹²	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,06	0,00	- 0,05
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,12
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,10
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,00	- 0,26
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,10
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,22
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,00	- 0,07
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,15
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,00	- 0,05
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,10
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,00	- 0,05
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,09
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,00	- 0,05
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,10

Estimasi nilai paparan residu iprodion (nilai atas) untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan rerata pengonsumsi adalah 0,05 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi setara dengan 0,12 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan nilai atas residu iprodion tertinggi terdapat pada kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 0,26 % nilai ADI. Dengan nilai ini, paparan residu iprodion masuk dalam kategori aman

3.1.2.4 Lindan

Lindan merupakan nama umum dari isomer gama *hexachlorocyclohexane* (HCH). Secara teknis HCH adalah campuran isomer dari 5 bentuk senyawa yaitu alfa-, beta-, gama-, delta-, dan epsilon-HCH. Lindan digunakan secara luas sebagai insektisida untuk biji, tanah, dan tanaman berkayu untuk melawan ektoparasit. Produksi lindan telah berkurang jauh selama beberapa tahun dan hanya sedikit negara yang masih memproduksi lindan. Lindan merupakan senyawa persisten, terakumulasi secara mudah pada rantai makanan dan terkonsentrasi secara cepat.

Selain insektisida, lindan juga digunakan sebagai terapi pada pengobatan skabies dan kutu rambut³⁷.

Analisis kandungan residu lindan dilakukan pada 43 jenis bahan makanan dari total 227 sampel. Bahan makanan yang dianalisis termasuk di dalamnya kelompok sereal dan jenis olahannya, umbi dan jenis olahannya, polong-polongan, kacang dan jenis olahannya, sayuran dan olahannya, buah-buahan dan olahannya, ikan dan olahannya, bumbu, minuman teh serbuk, dan air. Estimasi nilai paparan residu lindan untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 9.

Tabel 9. Estimasi Nilai Paparan Lindan untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur	Paparan Lindan (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹³	% Paparan terhadap ADI			
	Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas		
Total	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,00	-	1,90
Pengonsumsi	P 95	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,93
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,06
	P 95	0,0000	-	0,0004	0,00	-	7,23
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,19
	P 95	0,0000	-	0,0003	0,00	-	6,74
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,0050	0,00	2,51
	P 95	0,0000	-	0,0003		0,00	-
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,00	-	1,76
	P 95	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,57
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,00	-	1,74
	P 95	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,38
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,00	-	1,81
	P 95	0,0000	-	0,0002	0,00	-	3,51

Paparan residu lidan (nilai atas) pada rerata pengonsumsi adalah setara dengan 3,11 % ADI. dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 6,87 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu lindan tertinggi terdapat pada kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 15,41 % nilai ADI. Estimasi nilai paparan residu lindan untuk pengonsumsi di Indonesia ini masih jauh dibawah nilai ADI. Dengan nilai ini paparan residu lindan masuk dalam kategori aman

3.1.2.5 Klordan- α

Klordan- α umumnya digunakan sebagai pestisida mengusir rayap di rumah dan pada tanaman seperti jagung dan jeruk. Klordan- α teknis merupakan campuran kompleks lebih dari 120 struktur senyawa kimia. Penggunaan klordan- α sudah dilarang pada tahun 1988 dan *United States Environmental Protection Agency* merekomendasikan agar anak-anak tidak meminum air yang mengandung klordan- α lebih dari 60 ppb per hari. Klordan- α termasuk pestisida yang persisten di lingkungan karena tidak mudah terurai dengan waktu paruh satu tahun³⁷. Estimasi nilai paparan residu klordan- α untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 10.

Tabel 10. Estimasi Nilai Paparan Residu Klordan- α untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan residu Klordan- α (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹⁴	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0002	0,0005	0,00	- 42,11
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,00	- 87,87
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0004		0,00	- 77,04
	P 95	0,0000	- 0,0009		0,00	- 180,32
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0004		0,00	- 78,83
	P 95	0,0000	- 0,0008		0,00	- 158,49
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,00	- 57,76
	P 95	0,0000	- 0,0006		0,00	- 116,95
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,00	- 38,76
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,00	- 76,01
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,00	- 37,48
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,00	- 72,50
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,00	- 40,32
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,00	- 75,07

Analisis kandungan residu klordan- α dilakukan pada bahan makanan kelompok sereal dan jenis olahannya, umbi dan jenis olahannya, polong-polongan, kacang dan jenis olahannya, sayuran dan olahannya, buah-buahan dan olahannya, ikan dan olahannya, bumbu, minuman teh serbuk, dan air.

Paparan residu klordan- α (nilai atas) pada rerata pengonsumsi adalah setara 42,11 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 87,87 % ADI. Bila

dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu klordan- α tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 158,49 % nilai ADI.

Nilai LOD residu klordan- α dengan untuk berbagai matriks sampel bahan makanan antara 0,0050 - 0,0100 mg/kg dan LOQ untuk berbagai matriks sampel bahan makanan antara 0,0100 – 0,0300 mg/kg. Sebagai perbandingan, nilai LOD untuk penentuan kadar residu klordan α di dalam berbagai matriks sampel bahan makanan yang dilakukan oleh negara-negara lain adalah 0,01 ppb atau 0,00001 mg/kg⁶⁰ yaitu seribu kali lebih rendah dari nilai LOD residu klordan penelitian ini. Nilai LOD dan LOQ yang tinggi menyebabkan derajat ketidakpastian pengukuran yang juga tinggi. Untuk mendapatkan nilai paparan yang tidak terlalu besar kisarannya dengan derajat ketidakpastian yang juga rendah, perlu dilakukan peningkatan kemampuan analisis sampel sehingga dapat diperoleh nilai LOD dan LOQ yang cukup rendah.

3.1.2.6 Dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE-pp)

Dichlorodiphenyldichloroethylene adalah senyawa yang terbentuk dari dehidrohalogenasi *diklorodifeniltrikloroetan* (DDT) dan merupakan satu dari beberapa produk degradasi yang biasa terbentuk. Penggunaan DDT sangat masif pada era pertengahan abad 20. DDE secara luas dapat ditemukan pada sampel jaringan hewan dan larut dalam lemak seperti golongan organoklorin lainnya. Karena larut dalam lemak, residu DDE sangat jarang diekskresi tubuh, terakumulasi sehingga konsentrasinya meningkat sepanjang hidup. Residu DDE dapat diekskresikan melalui Air Susu Ibu (ASI), hal ini menyebabkan residu DDE dapat berada pada tubuh anak manusia atau hewan³⁸. Estimasi nilai paparan residu DDE-pp untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 11.

Analisis residu DDE dilakukan terhadap 43 jenis bahan makanan pada kelompok sereal, umbi, polong-polongan dan , sayuran, buah-buahan, ikan, bumbu, dan olahannya, serta minuman teh serbuk, dan air. Berdasarkan nilai *nilai bawah*, semua jenis sampel tidak mengandung residu DDE, sedangkan berdasarkan nilai *upperbound*, paparannya masih jauh dibawah nilai ADI, yaitu 2,11 % ADI pada rerata pengonsumsi dan 4.39 % ADI pada 95 persentil pengonsumsi.

Tabel 11. Estimasi Nilai Paparan Residu DDE-pp untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur	Paparan Residu DDE pp (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹⁵	% Paparan terhadap ADI	
	Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000 - 0,0002	0,01	0,00	- 2,11
	P 95	0,0000 - 0,0004		0,00	- 4,39
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0004		0,00	- 3,85
	P 95	0,0000 - 0,0009		0,00	- 9,02
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0004		0,00	- 3,94
	P 95	0,0000 - 0,0008		0,00	- 7,92
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0003		0,00	- 2,89
	P 95	0,0000 - 0,0006		0,00	- 5,85
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,00	- 1,94
	P 95	0,0000 - 0,0004		0,00	- 3,80
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,00	- 1,87
	P 95	0,0000 - 0,0004		0,00	- 3,63
> 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0002		0,00	- 2,02
	P 95	0,0000 - 0,0004		0,00	- 3,75

Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu DDE-pp tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 0,0009 mg/kg bb/hr atau setara 9,02 % nilai ADI. Residu DDE dan pestisida organoklorin lainnya dapat meningkatkan kejadian penyakit leukimia secara signifikan pada orang yang terpapar langsung dengan senyawa ini^{39,40}. Paparan residu DDE dan pestisida golongan organoklorin lebih dari tiga bulan dapat mengganggu metabolisme glukosa dan pelepasan insulin dalam tubuh⁴¹. Paparan residu DDE juga mengganggu pembentukan hormon⁴².

Nilai paparan residu DDE populasi Indonesia masih di bawah rerata paparan masyarakat USA (0,0000149 mg/kgbb/hr) dan Jerman 0,018 mg/kgbb/hr. Nilai paparan DDE populasi Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI.

3.1.2.7 Diklorodifeniltrikloroetan (DDT-pp)

Diklorodifeniltrikloroetan (DDT-PP) merupakan pestisida golongan organoklorin yang berbentuk kristal tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Pestisida ini mempunyai berbagai bentuk formula di antaranya dalam larutan silen,

atau larutan petroleum, konsentrat, serbuk, granul, aerosol, lotion dan lain lain⁴³. Pestisida ini dilarang di Amerika Serikat sejak tahun 1972 karena sifatnya yang persisten. DDT mempunyai waktu paruh dalam tanah sekitar 2 hingga 15 tahun, sedangkan waktu paruh DDT dalam lingkungan akuatik dapat mencapai 150 tahun⁴⁴. Melalui *Stockholm Convention on Organic Pollutants*, DDT dilarang digunakan sebagai pestisida dalam pertanian namun dibatasi untuk penggunaan pengendalian vektor penyakit. Masyarakat terpapar residu DDT melalui makanan seperti daging, ikan dan produk susu. Dalam tubuh manusia, residu DDT diubah menjadi *diklorofenildikloroetan* (DDE). Residu DDT dan DDE disimpan dalam jaringan lemak. Senyawa ini juga dapat menembus plasenta dan keduanya ditemukan pada susu ibu, sehingga bayi dapat terpapar melalui air susu ibu (ASI).

Dampak paparan residu DDT dengan konsentrasi rendah pada lingkungan belum diketahui, namun paparan residu DDT pada dosis tinggi pada manusia dapat mengakibatkan muntah, tremor dan kejang-kejang. Pada hewan coba residu DDT dapat mengganggu hati dan sistem reproduksi. Pada manusia residu DDT diduga menyebabkan kanker. CDC melaporkan pada *Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals (Fourth Report)* tentang DDT dan metabolitnya DDE dalam serum dari 1956 partisipan selama tahun 2003 – 2004. Residu DDT kadarnya sangat rendah dibandingkan dengan residu DDE karena DDE menetap dalam tubuh lebih lama dibandingkan dengan DDT. Adanya residu DDE dalam tubuh menunjukkan paparan telah lama terjadi.

Estimasi nilai paparan residu DDT-pp untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 12. Paparan (nilai atas) residu DDT pada rerata pengonsumsi di Indonesia adalah sebesar 0,0001 mg/kgbb/hr atau setara dengan 2,86 % ADI. Nilai paparan ini masih dibawah paparan rerata populasi USA sebesar 0,0008 mg/kgbb/hr. Estimasi nilai paparan residu DDT-pp untuk pengonsumsi di Indonesia ini masih jauh dibawah nilai ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan nilai atas residu DDT-pp tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan adalah 0,0003 mg/kg bb/hr atau setara dengan 2,86 % nilai ADI.

Tabel 12. Estimasi Nilai Paparan Residu DDT-pp untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu DDT pp (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ¹⁵	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total	Rerata	0,0000	- 0,0001	0,01	0,00	- 0,75
Pengonsumsi	P 95	0,0000	- 0,0002		0,00	- 1,51
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,27
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 2,86
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,33
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 2,63
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,03
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,00	- 2,06
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,71
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,37
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,68
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,27
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 0,70
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,00	- 1,30

3.1.2.8 Endosulfan-1

Endosulfan-1 adalah suatu pestisida organoklorin yang berfungsi sebagai insektisida dan askarisida. Di bidang pertanian endosulfan-1 digunakan mengendalikan lalat, kutu, wereng, kumbang, cacing di kubis dan lain-lain. Penggunaan pestisida ini kontroversial karena toksisitas akut yang dihasilkannya, potensi bioakumulasi, dan potensinya dalam mengganggu kerja kelenjar endokrin. Penggunaan endosulfan-1 dilarang sesuai dengan Konvensi Stockholm pada April 2011 karena tingkat toksisitasnya yang tinggi terhadap manusia dan lingkungan. US EPA mengelompokkan residu endosulfan-1 dalam kategori 1, yaitu sangat toksik secara akut berdasarkan nilai LD50 sebesar 30 mg/kg untuk tikus. Sedangkan WHO mengelompokkan dalam kategori 2, dengan toksisitas menengah (*moderately hazardous*), berdasarkan data nilai LD50 di tikus yaitu sebesar 80 mg/kg¹⁶. Estimasi nilai paparan residu endosulfan-1 untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 13.

Tabel 13. Estimasi Nilai Paparan Residu Endosulfan-1 untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur	Paparan Residu Endosulfan-1 (mg/kg bb/hr)				ADI (mg/kg bb/hr) ¹⁶	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	-	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
	Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	-		0,0001	0,006
	P 95	0,0000	-	0,0002	0,00 - 2,52		
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 2,11	
	P 95	0,0000	-	0,0003		0,00 - 4,77	
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 2,22	
	P 95	0,0000	-	0,0003		0,00 - 4,38	
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 1,71	
	P 95	0,0000	-	0,0002		0,00 - 3,43	
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 1,18	
	P 95	0,0000	-	0,0001		0,00 - 2,28	
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 1,13	
	P 95	0,0000	-	0,0001		0,00 - 2,11	
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,0001	0,006	0,00 - 1,17	
	P 95	0,0000	-	0,0001		0,00 - 2,17	

Paparan (nilai atas) residu endosulfan-1 untuk rerata pengonsumsi di Indonesia adalah 0,0003 mg/kg bb atau setara dengan 1.25 % ADI, dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 0,0002 mg/kg bb/hr atau setara 2,52 % ADI. Nilai paparan ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan paparan rerata populasi Amerika Serikat sebesar 0,0012 mg/kgbb/hr⁴⁵, Eropa sebesar 0,05 mg/kgbb/hr, dan Kamerun sebesar 0.105 µg/kg bb/hr. Paparan pada 95 persentil populasi Indonesia juga jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai paparan populasi Kamerun yang sebesar 0,174 µg/kg bb/hr atau setara 6 % ADI³⁴ dan dengan populasi penduduk di Korea yang sebesar 0,0020 µg/kg bb/hr. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan nilai atas residu endosulfan-1 tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 4.77 % nilai ADI.

3.1.2.9 Endrin

Endrin adalah suatu pestisida organoklorin yang digunakan sejak tahun 1950an, berbentuk kristal padat, sedikit berbau, stabil pada suhu kamar dan digunakan untuk mengendalikan serangga khususnya pada kapas, padi, dan tebu, jagung. Senyawa ini juga digunakan sebagai rodentisida dan avisida. Waktu paruh

residu endrin pada tanah mencapai 12 tahun. Pada Mei 2004, residu endrin ditetapkan sebagai salah satu senyawa kimia yang dilarang karena sifatnya yang persisten dan dikelompokkan sebagai salah satu senyawa *Persistent Organic Pollutants* (POPs) melalui *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Estimasi nilai paparan residu endrin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 14.

Tabel 14. Estimasi Nilai Paparan Residu Endrin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Endrin (mg/kg bb/hr)		ADI ¹⁷ (mg/kg bb/hr)	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0002	0,0002	0,00	- 77,74
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 171,77
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,00	- 151,27
	P 95	0,0000	- 0,0008		0,00	- 385,13
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,00	- 151,84
	P 95	0,0000	- 0,0006		0,00	- 320,96
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,00	- 106,88
	P 95	0,0000	- 0,0005		0,00	- 226,25
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 70,29
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 144,11
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 68,51
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 139,81
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002	0,00	- 75,65	
	P 95	0,0000	- 0,0003	0,00	- 147,03	

Paparan (nilai bawah dan nilai atas) residu endrin untuk rerata pengonsumsi di Indonesia adalah sebesar 0,0002 – 0,0003 mg/kgbb atau setara dengan 77,74 – 171,77 % ADI. Nilai paparan ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan paparan populasi USA sebesar <0,0000001 mg/kgbb/hr dan Kanada sebesar 0,000001 mg/kg bb/hr. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu endrin tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 0,0008 mg/kg bb/hr atau setara 385,13 % nilai ADI.

Walaupun penggunaan endrin sudah dilarang, adanya residu endrin di dalam bahan makanan dapat disebabkan panjangnya waktu paruh endrin yaitu sekitar 12 tahun. Pelarangan penggunaan endrin baru dilakukan pada tahun 2004, sehingga penggunaan endrin sebelum tahun itu masih meninggalkan residu hingga sekarang.

Penelitian kandungan residu endrin dalam makanan di Amerika Serikat menunjukkan jumlah residu endrin yang ditemukan dalam makanan menurun seiring waktu. Rerata paparan residu endrin dalam makanan tahun 1965 adalah 0,009 $\mu\text{g/kgbb/hr}$, tahun 1970 sekitar 0,0005 $\mu\text{g/kgbb/hr}$, Rerata paparan residu endrin di Amerika Serikat tahun 1978 di bawah 0,001 $\mu\text{g/kgbb/hr}$, namun di tahun 1979 – 1982 tidak ditemukan lagi di dalam makanan⁴⁶.

3.1.2.10 Dikrotofosis

Estimasi nilai paparan residu dikrotofosis untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 15.

Tabel 15. Estimasi Nilai Paparan Residu Dikrotofosis untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Dikrotofosis (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr)	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0001	0,00007	0,53	- 135,95
	P 95	0,0000	- 0,0002		3,17	- 273,96
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,60	- 223,84
	P 95	0,0000	- 0,0004		3,16	- 519,06
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,79	- 237,82
	P 95	0,0000	- 0,0003		5,36	- 481,05
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,61	- 186,28
	P 95	0,0000	- 0,0003		4,00	- 377,42
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,55	- 128,95
	P 95	0,0000	- 0,0002		3,22	- 251,21
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,51	- 122,73
	P 95	0,0000	- 0,0002		3,00	- 230,01
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,50	- 126,39
	P 95	0,0000	- 0,0002		3,08	- 235,76

Estimasi nilai paparan residu dikrotofosis untuk pengonsumsi di Indonesia berada di atas jumlah aman untuk konsumsi (ADI). Paparan residu dikrotofosis untuk 95 persentil pengonsumsi adalah dalam kisaran 0,0000-0,0002 mg/kg bb/hr atau setara dengan 3,17–273,84 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu dikrotofosis tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 3,16 – 519,06 % ADI.

Kisaran paparan residu dikrotofós yang sangat lebar disebabkan karena nilai LOD dan LOQ analisis laboratorium yang tidak cukup rendah, yaitu antara 0,0050 - 0,0070 mg/kg. Nilai LOD yang tinggi menyebabkan derajat ketidakpastian pengukuran yang tinggi, karena nilai paparan *nilai atas* untuk sampel yang tidak terdeteksi dihitung berdasarkan nilai LOD. Dilain pihak nilai ADI residu pestisida ini sangat rendah yaitu 0,00007 mg/kg bb/hr, menyebabkan persentase paparan *nilai atas* residu dikrotofós terhadap ADI menjadi sangat tinggi.

3.1.2.11 Paration Metil

Estimasi nilai paparan residu paration metil untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 16. Estimasi nilai paparan residu aration metil untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai batas paparan yang diperbolehkan (ADI).

Tabel 16. Estimasi Nilai Paparan Residu Paration Metil untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Paration Metil (mg/kg bb/hr)		ADI ¹⁸ (mg/kg bb/hr)	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
		Total Pengonsumsi	Rerata		0,0000	- 0,0001
	P 95	0,0000	- 0,0003	0,00	- 10,77	
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003	0,003	0,00	- 9,47
	P 95	0,0000	- 0,0007		0,00	- 24,86
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,00	- 9,46
	P 95	0,0000	- 0,0006		0,00	- 20,25
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 6,58
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,00	- 14,17
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 4,29
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 8,96
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,00	- 4,19
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 8,77
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001	0,00	- 4,67	
	P 95	0,0000	- 0,0003	0,00	- 9,23	

Paparan (nilai atas) residu parathion metil untuk rerata pengonsumsi adalah setara dengan 4,77 % nilai ADI, sedangkan untuk 95 persentil pengonsumsi setara dengan 6,88 % nilai ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan

residu paration metil tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi di kelompok umur 0-35 bulan, yaitu setara dengan 6,05 % nilai ADI.

3.1.2.12 Karbaril

Estimasi nilai paparan residu karbaril untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 17.

Tabel 17. Estimasi Nilai Paparan Residu Karbaril untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Karbaril (mg/kg bb/hr)		ADI ¹⁹ (mg/kg bb/hr)	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,0080	0,07	- 0,47
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,32	- 1,08
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,08	- 0,84
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,44	- 2,17
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,10	- 0,86
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,50	- 1,86
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,09	- 0,63
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,38	- 1,37
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,07	- 0,42
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,27	- 0,90
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,07	- 0,42	
	P 95	0,0000	- 0,0001	0,30	- 0,89	
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,08	- 0,46	
	P 95	0,0000	- 0,0001	0,37	- 0,99	

Estimasi nilai paparan residu karbaril untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan rerata pengonsumsi adalah setara dengan 0,47 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 1,08 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan karbaril tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi di kelompok umur 0-35 bulan, setara dengan 2,17 % nilai ADI.

3.1.2.13 Karbofuran

Estimasi nilai paparan residu karbofuran untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 18.

Tabel 18. Estimasi Nilai Paparan Residu Karbofuran untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Karbofuran (mg/kg bb/hr)		ADI ²⁰ (mg/kg bb/hr)	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,0010	0,32	- 3,45
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,25	- 7,84
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,37	- 6,43
	P 95	0,0000	- 0,0002		1,72	- 16,47
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,38	- 6,48
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,99	- 13,69
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,40	- 4,69
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,53	- 10,04
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,28	- 3,11
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,04	- 6,58
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,30	- 3,06
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,15	- 6,42
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,37	- 3,42
	P 95	0,0000	- 0,0001		1,53	- 6,97

Estimasi nilai paparan residu karbofuran untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan nilai atas rerata pengonsumsi adalah setara dengan 3,45 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah setara dengan 7,84 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu karbofuran tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu setara dengan 13,69 % nilai ADI.

3.1.2.14 Karbendazim

Estimasi nilai paparan residu karbendazim untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 19.

Tabel 19. Estimasi Nilai Paparan Residu Karbendazim untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Karbendazim (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ²¹	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0000	0,03	0,04	- 0,14
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,14	- 0,34
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,06	- 0,26
	P 95	0,0001	- 0,0002		0,18	- 0,62
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,09	- 0,30
	P 95	0,0001	- 0,0002		0,22	- 0,55
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,05	- 0,20
	P 95	0,0001	- 0,0001		0,17	- 0,40
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,04	- 0,13
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,11	- 0,27
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,04	- 0,13
	P 95	0,0000	- 0,0001		0,13	- 0,28
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0000		0,04	- 0,14
	P 95	0,0001	- 0,0001		0,17	- 0,31

Estimasi nilai paparan residu karbendazim untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan nilai atas rerata pengonsumsi adalah 0,14 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah setara dengan 0.34 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu karbendazim tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0 – 35 tahu, yaitu setara 62 % nilai ADI. Tidak ditemukan data-data dari negara lain tentang paparan residu pestisida golongan karbamat (karbaril, karbufuran dan karbendazim).

3.1.2.15 Sipermetrin

Salah satu residu pestisida golongan piretroid yang dianalisis adalah yaitu sipemetrin, siflutrin dan permetrin. Pengujian pada residu pestisida golongan ini dilakukan pada 14 jenis bahan makanan. Untuk golongan piretroid terdapat 1 jenis bahan makanan yang positif mengandung residu piretroid yaitu sayuran dan olahannya. Estimasi nilai paparan residu sipermetrin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur tersaji pada Tabel 20.

Tabel 20. Estimasi Nilai Paparan Residu Sipermetrin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur	Paparan Residu Sipermetrin (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ²²	% Paparan terhadap ADI	
	Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total					
Pengonsumsi	Rerata	0,0000 - 0,0003	0,02	0,04	- 1,60
	P 95	0,0000 - 0,0007		0,01	- 3,58
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0006		0,07	- 3,10
	P 95	0,0000 - 0,0016		0,00	- 7,94
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000 - 0,0006		0,07	- 3,10
	P 95	0,0000 - 0,0013		0,00	- 6,69
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0004		0,05	- 2,19
	P 95	0,0000 - 0,0009		0,01	- 4,67
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0003		0,04	- 1,44
	P 95	0,0000 - 0,0006		0,01	- 2,98
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0003	0,04	- 1,41	
	P 95	0,0000 - 0,0006	0,02	- 2,93	
> 55 Tahun	Rerata	0,0000 - 0,0003	0,04	- 1,55	
	P 95	0,0000 - 0,0006	0,01	- 3,05	

Berdasarkan nilai bawah, semua jenis sampel tidak mengandung residu sipemetrin. Estimasi nilai paparan sipemetrin untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan pada rerata pengonsumsi setara dengan 0,00 - 1,60 % ADI dan pada 95 persentil pengonsumsi adalah setara dengan 0,01 – 3,58% ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu sipemetrin tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 7,94 % nilai ADI.

Nilai LOD pada paparan residu sipemetrin untuk berbagai matriks sampel bahan makanan berkisar antara 0,010 - 0,0110 mg/kg dan LOQ untuk berbagai matriks sampel bahan makanan antara 0,0270 – 0,0360 mg/kg. Kemampuan deteksi laboratorium ini lebih baik dibandingkan dengan kemampuan deteksi residu sipemetrin pada penelitian di Banglades tahun 2012, dimana nilai LOD adalah sebesar 0,01 mg/kg dan nilai LOQ sebesar 0,06 mg/kg⁴⁷.

Estimasi nilai paparan residu sipemetrin untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan *upperbound* untuk rerata pengonsumsi adalah 0,0003 mg/kg bb/hr (0,64 % ADI) dan untuk 95 persentil pengonsumsi

adalah 0,0007 mg/kg bb/hr (1,43 % ADI). Paparan residu sipermetrin tersebut 48 kali lebih rendah dibandingkan nilai paparan sipermetrin pada populasi di Yaounde Kamerun. TDS Kamerun tahun 2006 melaporkan bahwa paparan residu sipermetrin pada rerata pengonsumsi adalah 0,121 µg/kg bb/hr dan pada 95 persentil adalah 0,211 µg/kg bb/hr (50 % ADI)³⁴. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu sipermetrin tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 3,18 % nilai ADI.

3.1.2.16 Siflutrin

Estimasi nilai paparan residu siflutrin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 21.

Tabel 21. Estimasi Nilai Paparan Residu Siflutrin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan Residu Siflutrin (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ²³	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0002	0,04	0,01	- 0,40
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,02	- 0,90
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,01	- 0,78
	P 95	0,0000	- 0,0008		0,00	- 1,95
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0003		0,01	- 0,78
	P 95	0,0000	- 0,0007		0,00	- 1,64
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 0,55
	P 95	0,0000	- 0,0005		0,00	- 1,17
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,01	- 0,37
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,06	- 0,75
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,01	- 0,36
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,04	- 0,73
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 0,39
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,00	- 0,77

Estimasi nilai paparan residu siflutrin untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan rerata pengonsumsi adalah setara 0,40 % ADI dan untuk 95 persentil pengonsumsi setara dengan 0.90 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu siflutrin tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, setara 1,95 % nilai ADI.

3.1.2.17 Permetrin

Estimasi nilai paparan residu permetrin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 22. Estimasi nilai paparan residu permetrin untuk pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Paparan nilai atas rerata pengonsumsi adalah 0,0001 mg/kg bb/hr atau setara dengan 0,26 % ADI, dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 0,0003 mg/kg bb/hr atau setara dengan 0,57 % ADI. Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan residu permetrin tertinggi terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, yaitu 0,0006 mg/kg bb/hr atau setara dengan 1,26 % nilai ADI. Hasil estimasi rerata paparan per hari residu permetrin pada TDS di Australia tertinggi pada anak usia 2 tahun yaitu sebesar 0,0205 ug/kg bb/hr, akan tetapi besar paparan di Australia pada kelompok umur tersebut 29,3 kali lebih besar dari di Indonesia⁴⁸.

Tabel 22. Estimasi Nilai Paparan Residu Permetrin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

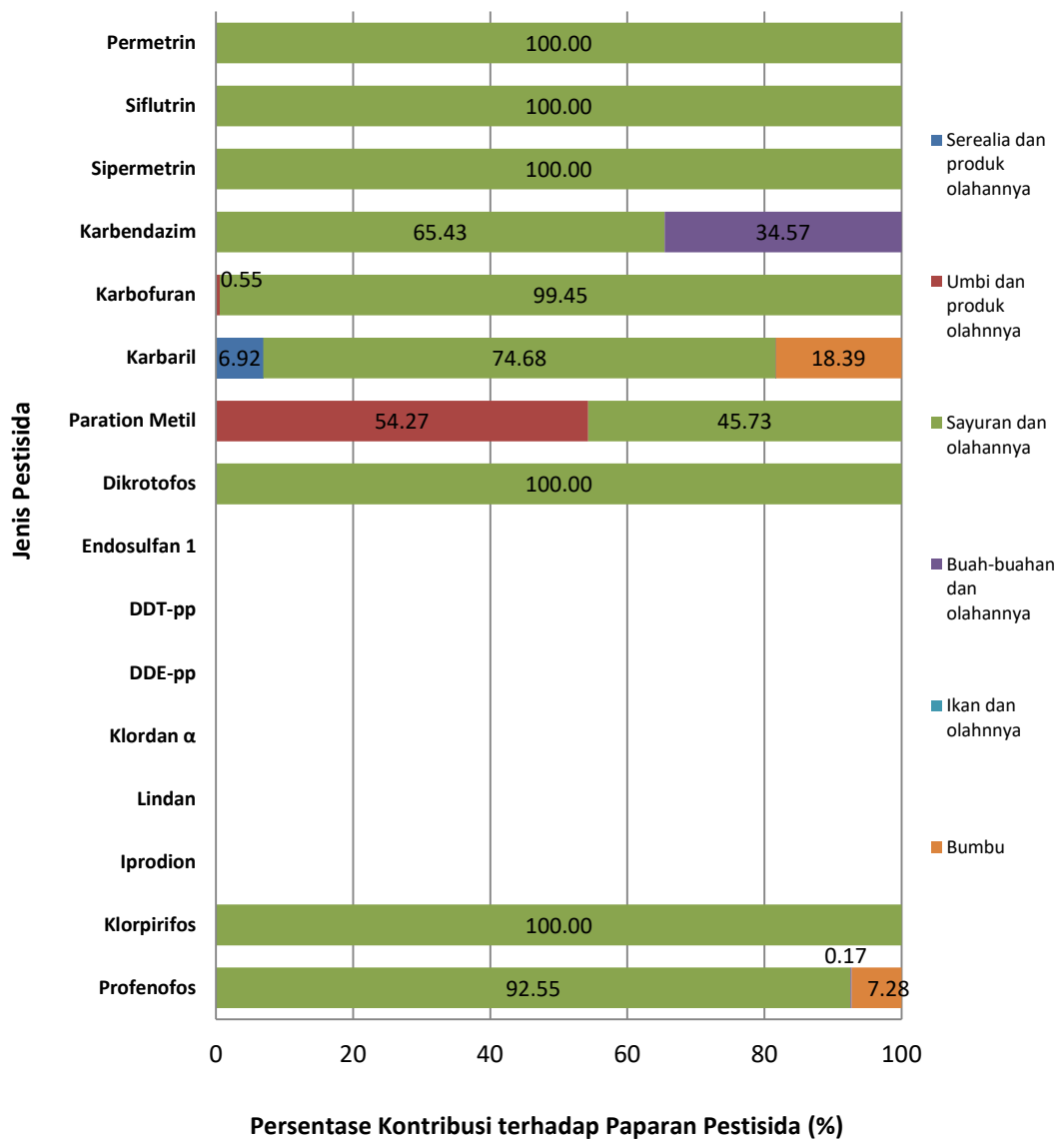
Kelompok Umur		Paparan Residu Permetrin (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ²⁴	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0000	- 0,0001	0,0500	0,01	- 0,26
	P 95	0,0000	- 0,0003		0,04	- 0,57
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 0,49
	P 95	0,0000	- 0,0006		0,01	- 1,26
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 0,50
	P 95	0,0000	- 0,0005		0,02	- 1,06
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0002		0,01	- 0,35
	P 95	0,0000	- 0,0004		0,02	- 0,74
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,01	- 0,23
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,06	- 0,48
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,01	- 0,23
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,04	- 0,47
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0001		0,01	- 0,25
	P 95	0,0000	- 0,0002		0,02	- 0,49

3.1.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Pestisida

Persentase kontribusi kelompok bahan makanan dan jenis makanan terhadap paparan residu pestisida dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 3 dan Tabel 23. Kelompok bahan makanan utama yang berkontribusi bagi paparan residu pestisida

adalah sayuran (0,62-100 %). Jenis sayuran yang berkontribusi bagi pada sebagian besar paparan pestisida adalah sawi hijau dan sayuran daun lainnya.

Sayuran merupakan kontibutor utama terhadap paparan residu profenofos. Sayuran merupakan kontributor paling besar (92,56 %) setelah itu bumbu (7,27 %), dan buah-buahan (0,17 %) (Tabel 23). Jenis sayuran yang memberikan berkontribusi terbesar bagi paparan residu profenofos adalah sayuran daun lainnya. Untuk mengurasi paparan residu profenofos adalah dengan melakukan pengurangan penggunaan profenofos pada sayuran, selain itu upaya pengurangan yang dapat dilakukan adalah pencucian sayuran berulang-ulang dengan menggunakan air bersih.



Gambar 3. Persentase Kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Residu Pestisida

Sayuran merupakan satu-satunya kontributor makanan terhadap paparan residu klorpirifos, dikrotofos, sipermetrin, siflutrin dan permetrin. Jenis sayuran yang memberikan berkontribusi terbesar bagi paparan sipermetrin, siflutrin dan permetrin adalah sawi hijau, dengan persentase kontribusi berturut-turut 100 %, 100% dan 86.60%.

Kontributor paparan residu paration metil sebagian berasal dari kelompok umbi (54.27%) dan sayuran (45.73 %). Jenis umbi yang menjadi kontributor utama paparan adalah ubi jalar dan jenis sayuran yang menjadi kontributor utama adalah tauge.

Sumber paparan residu karbaril berasal dari kelompok sayuran (74,68 %), bumbu (18,39%), dan serealialia (6,92%). Jenis sayuran sebagai kontributor utama adalah sayur daun lainnya dan sawi hijau, jenis bumbu yang berkontribusi utama adalah cabai, dan jenis serealialia adalah jagung.

Sumber utama paparan residu karbofuran sebagian besar berasal dari sayuran (99,45 %), yaitu jenis sayur daun lainnya dan sawi hijau.

Sumber utama paparan residu karbendazim adalah sayuran (65,43 %), dan buah (34,57 %). Jenis sayuran yang berkontribusi adalah jenis sayuran daun lainnya dan buncis, sedangkan jenis buah adalah apel dan jeruk.

Tabel 23. Persentase Kontribusi Jenis Bahan Makanan Terhadap Paparan Pestisida, Pengonsumsi, Pendekatan Nilai Bawah (*Lower Bound*)

Kelompok Bahan Makanan	Nama Bahan Makanan	Kontribusi terhadap Paparan Pestisida (%)													
		Profenofos	Klorpirifos	Dikrotofos	Paration Metil	Karbaril	Karbofuran	Karbendazim	Sipermetrin	Siflutrin	Permetrin				
Sereal dan produk olahannya	Jagung				6,92										
	Ubi jalar			54,27											
	Umbi talas						0,55								
Umbi dan produk olahannya	Kangkung					0,62									
	Sawi hijau	34,81				12,89				6,15		100,00			86,60
	Ketimun			16,11		0,91				0,71					
	Tomat	1,50													13,40
Sayuran dan olahannya	Daun kol			83,89											
	Sayur daun lainnya	56,24	100,00			60,26				92,59		59,49			
	Tauge						44,19								
Buah-buahan dan olahannya	Buncis						1,54					5,93			
	Apel	0,17										31,86			
	Jeruk											2,71			
Ikan dan olahannya	Ikan air laut, Kering asin								0,01						
	Bumbu								18,39						
Persentase Total		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

3.2 Logam Berat

3.2.1 Kandungan Logam Berat dalam Makanan

Dilakukan analisis kandungan logam berat timbal (Pb), cadmium (Cd), arsen (As) terhadap 227 jenis bahan makanan, analisis kandungan metil merkuri (Met-Hg) terhadap 9 jenis bahan makanan, serta analisis total merkuri (Tot-Hg) terhadap 14 jenis bahan makanan.

Timbal merupakan jenis logam berat yang paling banyak dijumpai di dalam sampel bahan makanan, kemudian kadmium, arsen dan total merkuri. Terdapat 102 jenis sampel yang positif mengandung timbal yang terdistribusi di seluruh kelompok bahan makanan. Terdapat 81 jenis sampel yang positif mengandung kadmium, pada kelompok sereal, polong-polongan dan kacang, sayuran, ikan, susu, gula dan konfeksioneri, bumbu, minuman dan air. Terdapat 54 jenis sampel yang mengandung arsen, pada kelompok sereal, polong-polongan dan kacang, sayuran, daging dan unggas, ikan, susu, minyak dan lemak, minuman serta air. Terdapat 9 sampel yang positif mengandung total merkuri pada kelompok ikan dan *seafood*, dan tidak ada jenis makanan yang positif mengandung metil merkuri.

Untuk analisis metil merkuri, terdapat derajat ketidakpastian pengukuran yang cukup besar dibandingkan senyawa lainnya. Nilai LOD (*limit of detection*) pengukuran metil merkuri cukup tinggi, yaitu 100 µg/kg. Dengan nilai LOD yang cukup tinggi ini nilai “tidak terdeteksi” adalah suatu nilai antara 0 sampai dengan 100 µg/kg, oleh karena itu, terdapat perbedaan nilai yang cukup besar pada hasil analisis menurut perhitungan nilai bawah (*lower bound*) dengan atas (*upper bound*).

3.2.2. Timbal (Pb)

Timbal pada bumi ada dalam bentuk senyawa timbal sulida, timbal sulfat dan timbal karbonat. Timbal terdapat di lingkungan baik secara natural atau akibat aktivitas penambangan, produksi logam, produksi baterai dan penggunaan bahan bakar bertimbal. Kontaminasi timbal ke dalam bahan makanan dapat berasal dari lingkungan, atau berasal dari aktifitas pengolahan, penanganan dan pengemasan makanan. Udara yang mengandung timbal juga dapat mengontaminasi bahan makanan melalui pengendapan di tanaman, dan air juga merupakan sumber kontaminasi timbal pada bahan makanan. Walaupun keberadaan timbal dapat berupa senyawa organik dan anorganik, tapi hanya timbal anorganik yang dapat dideteksi di dalam bahan pangan.

3.2.2.1 Analisis Paparan Timbal (Pb)

Paparan timbal, telah terbukti berhubungan dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk di dalamnya adalah gangguan fungsi ginjal, gangguan sistem kardiovaskuler, gangguan sistem reproduksi, sistem syaraf, dan efek terhadap kesehatan gigi. Penyerapan timbal dari saluran pencernaan dipengaruhi oleh faktor-faktor fisiologi serta karakteristik fisiko kimia dari senyawa timbal yang masuk ke dalam saluran pencernaan. Biasanya absorpsi timbal lebih besar pada anak-anak dibandingkan dengan dewasa. Timbal yang diabsorpsi kemudian ditransfer ke jaringan lunak, termasuk hati dan ginjal dan ke jaringan tulang, dimana kemudian terakumulasi seiring usia. Timbal juga dapat lewat melalui plasenta dan dapat ditransfer ke dalam ASI. Pada manusia *half-life* timbal adalah 30 hari pada darah dan 10-30 tahun pada tulang.

European Food Safety Authority/EFSA (2010) mengidentifikasi tiga pengaruh paparan timbal terhadap kesehatan yang menyediakan cukup bukti yang konsisten untuk dilakukannya analisis risiko, yaitu 1) Gangguan perkembangan syaraf pada anak balita, yang diukur dengan penurunan nilai IQ, 2) Efek kardiovaskuler pada orang dewasa, yang diukur dengan kenaikan tekanan darah sistolik, dan 3) peningkatan kejadian penyakit ginjal kronis pada dewasa, yang diukur dengan penurunan *Glomerular Filtration Rate* (GFR) atau laju filtrasi glomerulus pada ginjal⁴⁹.

Estimasi paparan timbal pada rerata pengonsumsi adalah sebesar 0,4717-1,7355 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr. Paparan tertinggi rerata pengonsumsi adalah pada kelompok usia 36 – 59 bulan yaitu 1,0540 – 3,6762 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr. Risiko paparan terhadap kesehatan yang dilakukan adalah analisis efek paparan terhadap penurunan IQ balita dan terhadap kenaikan tekanan darah sistolik pada dewasa.

Estimasi nilai paparan Pb untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Estimasi Paparan Timbal pada Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Klasifikasi		Estimasi Paparan Timbal ($\mu\text{g/kg bb/hr}$)		
		Nilai Bawah	-	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,4724	-	1,7355
	P95	1,5381	-	3,6910
0 - 35 bulan	Rerata	1,0054	-	3,2638
	P95	4,0620	-	7,3478
36 - 59 bulan	Rerata	1,0577	-	3,6762
	P95	3,2890	-	7,2562
5 - 12 tahun	Rerata	0,6926	-	2,6207
	P95	2,1729	-	5,1891
13 - 18 tahun	Rerata	0,4444	-	1,7016
	P95	1,3756	-	3,2679
19 - 55 tahun	Rerata	0,4215	-	1,5145
	P95	1,3502	-	2,8683
>55 tahun	Rerata	0,3332	-	1,3878
	P95	1,1343	-	2,6247

Efek paparan timbal terhadap perkembangan syaraf pada anak, terjadi pada konsentrasi timbal darah yang cukup kecil dibandingkan dengan efek lainnya. Walaupun estimasi penurunan IQ per mikrogram kadar di dalam milimeter darah kelihatannya kecil dampaknya terhadap anak secara individu, namun penurunan IQ ini akan dianggap penting saat diinterpretasikan sebagai penurunan IQ populasi. Estimasi hubungan paparan timbal dalam makanan dengan IQ, menggunakan model bilinear, tersaji pada Tabel 25. Sebagai contoh, saat nilai IQ turun 3 poin dari 100 ke 97, dimana standar deviasi dan karakteristik lain dari distribusi tetap sama, akan ada kenaikan sekitar 8 % jumlah individu yang memiliki nilai IQ dibawah 100, dan sekitar 57 % kenaikan jumlah individu yang memiliki IQ dibawah 70, yaitu skor IQ yang menjadi *cut off* gangguan kognitif. Atas dasar ini *Join Expert Committee on Food Additive and Contaminant* JECFA (2011) memandang bahwa hubungan paparan timbal dengan penurunan skor IQ merupakan penanda penting untuk efek paparan timbal terhadap perkembangan syaraf lainnya⁵⁰.

Tabel 25. Estimasi hubungan paparan timbal dalam makanan dengan IQ, menggunakan model bilinier*

Penurunan IQ pada anak	Paparan dari makanan ($\mu\text{g/hr}$)*	Paparan pada anak dengan berat 20 kg ($\mu\text{g/kg bb/hr}$)*
0,5	6 (2-124)	0,3 (0,1-6,2)
1	12 (4-145)	0,6 (0,2-7,2)
1,5	19 (6-170)	0,9 (0,3-8,5)
2	25 (8-193)	1,3 (0,4-9,7)
2,5	31 (9-217)	1,6 (0,5-10,9)
3	38 (11-237)	(0,6-11,8)

*Estimasi median dengan 5-95 persentil *confidence interval* di dalam kurung

Estimasi hubungan kadar timbal pada darah dengan penurunan IQ pada anak dilakukan dengan menggunakan model dosis-respon⁵¹. Hubungan kadar timbal pada darah dengan paparan timbal dari makanan adalah antara 0.052 dan 0.16 $\mu\text{g/dl}$ untuk setiap paparan timbal 1 $\mu\text{g/hari}$. Hubungan paparan timbal dengan penurunan IQ adalah bahwa setiap paparan 30 μg timbal per hari berhubungan dengan penurunan IQ 1 poin.

Paparan timbal pada balita dihitung menggunakan pendekatan nilai bawah dan nilai atas pada pengonsumsi (Tabel 26). Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa balita terpapar sebanyak 1,03 – 3,47 μg timbal/kg bb/hr. Maka diestimasi terdapat penurunan IQ antara 1,64 – 5,43 poin, yang menyebabkan perubahan persentase balita yang memiliki IQ di bawah 70, dari 2,28 % menjadi 2,93-5,07 %.

Tabel 26. Rerata Paparan Timbal pada Anak Balita, Pengonsumsi, dan Analisis Risikonya dengan Perhitungan Nilai Bawah (*Lower Bound*) dan Nilai Atas (*Upper Bound*)

Kelompok umur (0-59 bulan)	Paparan Pb ($\mu\text{g/kg bb/hari}$)	Penurunan IQ	% Anak dgn IQ dibawah 70 (distribusi normal)	Perubahan % anak dengan IQ di bawah 70	% Anak yg jatuh ke IQ dibawah 70 karena paparan Pb
Nilai Bawah	1,03	1,64	2,28	2,93	0,66
Nilai Atas	3,47	5,43	2,28	5,07	2,80

Pada orang dewasa, analisis yang menyediakan cukup bukti ilmiah yang konsisten adalah hubungan paparan timbal dengan kenaikan tekanan darah sistolik, dimana konsentrasi timbal yang kecil di dalam darah sudah dapat menyebabkan kejadian yang konsisten terhadap kenaikan tekanan darah sistolik. Tabel 27 memperlihatkan estimasi slope antara kadar timbal darah dengan tekanan darah sistolik.

Tabel 27. Estimasi Slope Antara Kadar Timbal Darah Dengan Tekanan Darah Sistolik

Referensi	Estimasi slope (mmHg per 1 µg/dl)	
	Estimasi median	Standar deviasi
Glenn <i>et al</i> (2003) ⁵²	0,25	0,12
Vupputuri <i>et al</i> (2003) ⁵³	0,47	0,20
Nash <i>et al</i> (2003) ⁵⁴	0,32	0,19
Glenn <i>et al.</i> (2006) ⁵²	0,09	0,05
Rerata	0,28	0,15

Bila dilihat secara individu, hubungan paparan timbal dengan kenaikan tekanan darah sistolik juga terlihat kecil, namun jika dipandang sebagai pergeseran distribusi tekanan darah di populasi, maka akan menjadi penting. Kenaikan tekanan darah sistolik berhubungan dengan kenaikan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskuler. Hubungan antara paparan timbal dari makanan dengan kenaikan tekanan darah sistolik pada orang dewasa dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 28. Paparan Timbal pada Dewasa, Pengonsumsi dan Analisis Risikonya dengan Perhitungan Nilai Bawah dan Nilai Atas

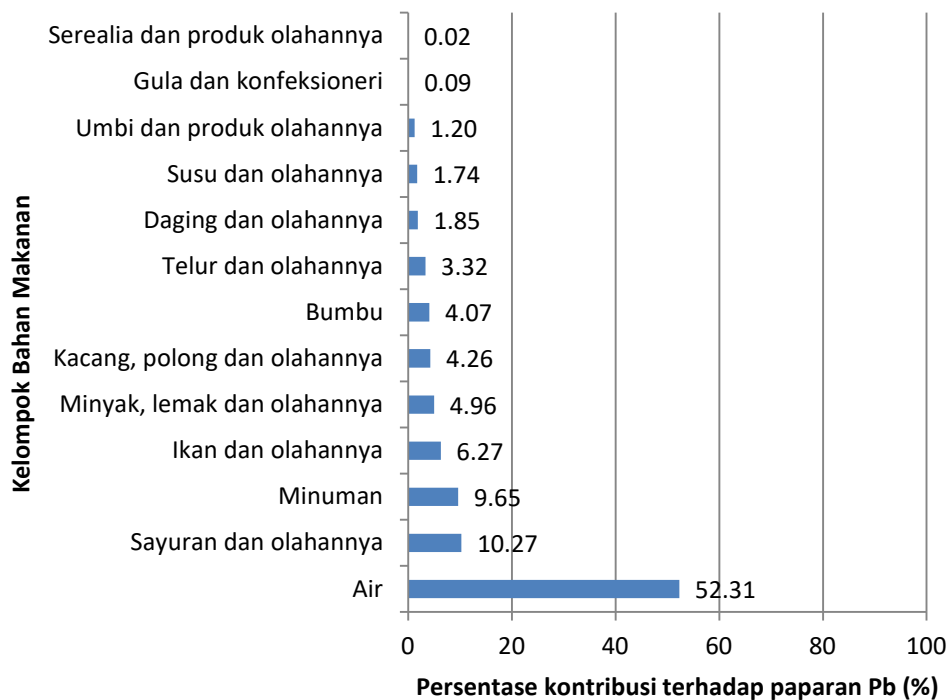
Kelompok umur, dewasa >18 tahun	Paparan Pb (µg/kg bb/hr)	Kenaikan pada tekanan darah sistolik	Referensi WHO
Nilai Bawah	0,3997	0,5196	Resiko relatif sebesar 1,01 - 1,4 untuk kejadian penyakit jantung iskemik dan serebrovaskular strok dengan kenaikan tekanan darah sebesar 0,3 - 3,7 mmHg
Nilai Atas	1,5346	1,9950	

Kadar timbal darah kemudian dikonversi ke paparan makanan, yaitu kadar timbal darah antara 0,023-0,07 µg/dl merupakan akibat dari paparan timbal sebesar 1 µg/hr. Sehingga diketahui bahwa setiap paparan timbal dari makanan sebanyak 80 µg per hari atau 1,3 (µg/kg bb/hr) dengan asumsi berat badan dewasa sebesar 60 kg, dapat

menyebabkan kenaikan tekanan darah sistolik 1 mmHg⁵⁰. Paparan timbal pada dewasa dihitung menggunakan pendekatan nilai bawah dan atas pada pengonsumsi. Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa orang dewasa di Indonesia terpapar sebanyak 0,3997 – 1,5436 µg timbal/kg bb/hr. Maka diestimasi terdapat kenaikan tekanan darah sistolik antara 0,52 – 2 mmHg. Kenaikan ini menyebabkan orang dewasa di Indonesia memiliki resiko relatif terkena penyakit jantung iskemik dan serebrovaskular strok di dalam kisaran 1,01 – 1,4 dengan risiko yang lebih tinggi pada orang yang usianya lebih muda.

3.2.2.2 Kontribusi Bahan Makanan Terhadap Asupan Timbal (Pb)

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi pada cemaran timbal tersaji berturut-turut pada Gambar 4 dan Tabel 29.



Gambar 4. Persentase Kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Timbal

Air merupakan jenis bahan yang paling tinggi menyumbangkan paparan timbal, kontribusinya adalah sekitar 52 % dari total paparan. Jenis bahan makanan lainnya yang menyumbangkan paparan timbal adalah sayuran terutama daun singkong dan bayam, serta kelompok minuman, yaitu minuman teh cair dan teh serbuk.

Tabel 29. Persentase Kontribusi Bahan Makanan terhadap Paparan Pb

Kelompok Bahan Makanan	Paparan Pb (%)	Jenis Bahan Makanan	Paparan Pb (%)
Umbi dan produk olahannya	1,20		
Kacang, polong dan olahannya	4,26	Tempe kedelai	2,58
Sayuran dan olahannya	10,27	Bayam	1,44
		Daun singkong	2,83
		Kangkung	1,04
		Kacang panjang	1,03
Daging dan olahannya	1,85	Sosis sapi	0,10
		Bakso sapi	0,49
Ikan dan olahannya	6,27	Ikan air laut	4,70
Telur dan olahannya	3,32	Telur ayam	3,27
Susu dan olahannya	1,74		
Minyak, lemak dan olahannya	4,96	Minyak kelapa sawit	2,40
		Santan	2,40
Minuman	9,65	Minuman kopi bubuk	1,70
		Minuman Teh serbuk	3,03
		Minuman teh cair	3,70
Bumbu	4,07	Garam	1,75
		Cabai	1,12
Air	52,31	Air minum	52,31

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

3.2.3 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam berat berwarna perak-putih yang membentuk garam anorganik. Kadmium terdapat secara alami di lapisan bumi sebagai bagian dari material geologi seperti kadmium sulfida, dan terdapat di lingkungan karena emisi vulkanik dan pengikisan bebatuan dan mineral, kemudian menyebar melalui kegiatan peleburan logam lain, pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran barang bekas, dan penggunaan pupuk yang berasal dari kotoran atau lumpur. Senyawanya ada yang larut dalam air, dan ada yang tidak, dan ditemukan paling banyak dalam bentuk garam anorganik. Keberadaan kadmium di dalam bahan makanan biasanya terkait dengan kontaminasi dari tanah atau air. Peningkatan kadar kadmium di dalam tanah akan meningkatkan serapannya oleh tanaman, sehingga menyebabkan kadar kadmium yang meningkat di dalam jaringan tanaman. Pada hewan air, kadmium diserap paling banyak

dalam bentuk bebas Cd^{2+} . Hewan air jenis kerang kerangan dan krustasea serta tumbuhan jamur merupakan jenis organisme yang dapat mengakumulasi kadmium di dalam jaringan tubuhnya.

Berdasarkan studi studi epidemiologi, paparan kadmium berhubungan dengan beberapa masalah kesehatan. Ginjal merupakan organ yang paling menderita akibat paparan kadmium jangka panjang, termasuk di dalamnya adalah kerusakan sel epitel pada tubula proksima, fibrosis pada interstisial, dan kerusakan glomerulus. Selain ginjal, tulang merupakan organ tubuh lainnya yang terkena efek paparan kadmium. Kadmium mengubah metabolisme kalsium, fosfor dan vitamin D, sehingga memengaruhi densitas tulang. Kadmium juga diklasifikasikan sebagai senyawa karsinogen oleh IARC (*International Agency for Research on Cancer*) dan dapat menyebabkan kanker paru, ginjal, hati dan prostat. Peningkatan kadar kadmium pada darah dan urin juga berhubungan dengan berbagai masalah kardiovaskuler seperti infark myocardial, strok, gagal jantung, hipertensi dan perubahan fungsi pembuluh arteri⁵⁰. Berdasarkan efek kesehatan yang ditimbulkannya, *Join Expert Committee on Food Additives and Contaminants* menetapkan nilai PTMI (*Provisional Tolerable Monthly Intake*) untuk kadmium adalah sebesar 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan²⁵.

3.2.3.1 Analisis Paparan Kadmium (Cd)

Paparan kadmium untuk rerata pengonsumsi di Indonesia adalah sebesar 0,1262 – 0,3795 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr atau sekitar 3,7852 – 11,39 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan. Paparan nilai bawah masih berada di bawah paparan USA (4,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan) akan tetapi di atas Australia (2,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan). Paparan nilai atas berada di atas negara-negara Eropa (9,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan), Cina (9,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan), namun dibawah paparan pengonsumsi di Jepang (12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/bulan)⁵. Paparan kadmium pada pengonsumsi di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 30.

Tabel 30. Estimasi Paparan Kadmium dari Pengonsumsi, Sebagai Persentase terhadap Nilai PTMI (25 µg/kg bb/bulan)

Klasifikasi		Estimasi paparan kadmium (µg/kg bb/hari)			% Paparan terhadap PTMI		
		Nilai Bawah	-	Nilai Atas		-	
Total Pengonsumsi	Rerata	0,1262	-	0,3795	15,14	-	45,54
	P 95	0,2783	-	0,7728	33,40	-	92,73
0 - 35 bulan	Rerata	0,1949	-	0,6443	23,39	-	77,32
	P 95	0,5130	-	1,4035	61,56	-	168,42
36 - 59 bulan	Rerata	0,2293	-	0,7301	27,52	-	87,61
	P 95	0,5332	-	1,3995	63,98	-	167,94
5 - 12 tahun	Rerata	0,1841	-	0,5592	22,09	-	67,11
	P 95	0,4041	-	1,0828	48,49	-	129,93
13 - 18 tahun	Rerata	0,1230	-	0,3724	14,77	-	44,69
	P 95	0,2617	-	0,7121	31,41	-	85,45
19 - 55 tahun	Rerata	0,1127	-	0,3347	13,53	-	40,16
	P 95	0,2296	-	0,6147	27,55	-	73,76
> 55 tahun	Rerata	0,1105	-	0,3267	13,26	-	39,20
	P 95	0,2321	-	0,6079	27,85	-	72,95

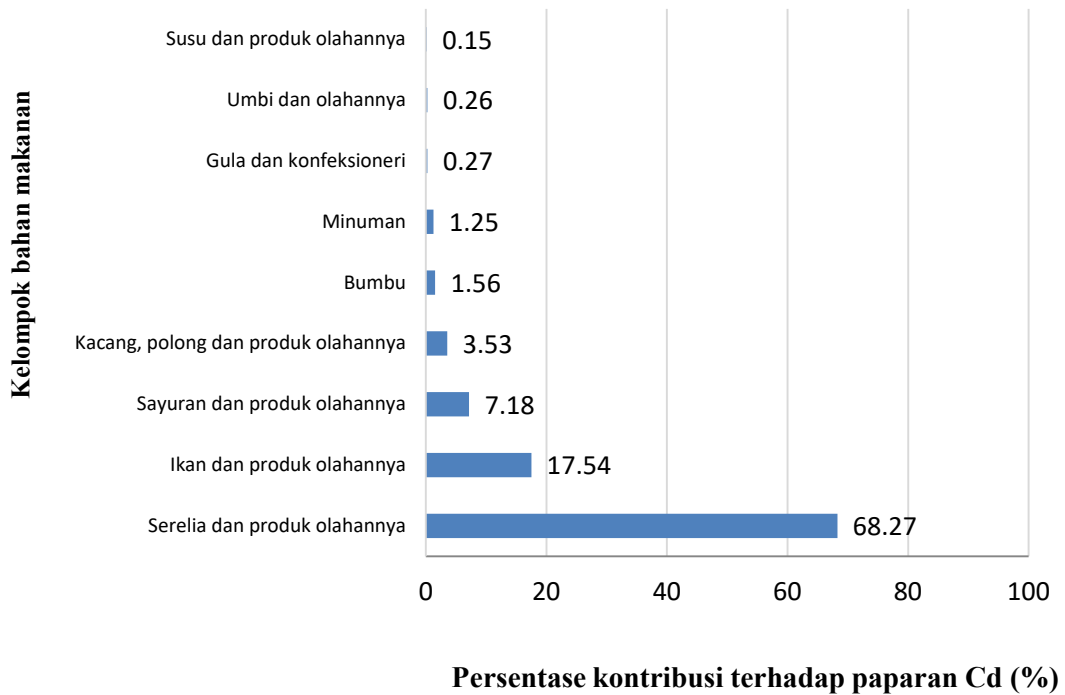
Bila dibandingkan dengan nilai PTMI, paparan kadmium untuk total pengonsumsi dan orang dewasa di Indonesia, masih berada di bawah 100 % PTMI. Akan tetapi bila dilihat pada kelompok usia anak-anak, nilai paparan *nilai atas* sudah melebihi standar kesehatan, yaitu 168 % PTMI pada balita, dan 130 % PTMI pada anak usia sekolah.

Kisaran paparan kadmium yang sangat lebar antara nilai *bawah* dan *nilai atas* terjadi karena nilai LOD dan LOQ kadmium yang tinggi, yaitu 10 dan 30 µg/kg. Sebagai perbandingan, nilai LOD untuk penentuan kadar kadmium di dalam berbagai matriks sampel bahan makanan yang dilakukan oleh negara-negara lain adalah antara 0,0002-0,01 mg/kg (Perancis), 0,04 mg/kg (Singapura), dan 0,001-0,004 mg/kg (USA)⁵. Nilai LOD dan LOQ yang tinggi menyebabkan derajat ketidakpastian pengukuran yang juga tinggi. Untuk mendapatkan nilai paparan yang tidak terlalu besar kisarannya dengan derajat ketidakpastian yang juga rendah, perlu dilakukan peningkatan

kemampuan analisis sampel agar memiliki kemampuan analisis yang lebih tepat dengan nilai LOD dan LOQ yang rendah.

3.2.3.2 Kontribusi Bahan Makanan Terhadap Paparan Kadmium (Cd)

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan kadmium dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 6 dan Tabel 31.



Gambar 6. Persentase Kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Kadmium

Sereal dan produk olahannya merupakan kontributor utama terhadap paparan kadmium, yaitu menyumbangkan 68,27 % dari total paparan, dan sebanyak 65 % adalah berasal dari nasi. Kelompok bahan makanan lain yang juga cukup besar kontribusinya adalah kelompok ikan dan produk olahannya, yang menyumbangkan 17,54 % dari total paparan dengan ikan laut (10,96 %) dan ikan laut kering asin (6,12 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Kelompok bahan makanan ketiga adalah sayuran dan produk olahannya yang menyumbangkan 7,18 % dari total paparan kadmium, dengan bayam (3,4 %) sebagai kontributor utama.

Tabel 31. Persen Kontribusi Jenis Bahan Makanan Terhadap Paparan Kadmium (Cd), Pendekatan *Nilai bawah*

Kelompok Bahan Makanan	% Kontribusi terhadap total paparan Cd	Jenis makanan	% Kontribusi terhadap total paparan Cd*
Serealia dan produk olahannya	68,27	Nasi	64,95
Kacang, polong dan produk olahannya	3,53	Kacang tanah	1,75
		Tahu	1,77
Sayuran dan produk olahannya	7,18	Bayam	3,40
		Sawi hijau	1,13
Ikan dan produk olahannya	17,54	Ikan air laut	10,96
		Ikan air laut, Kering asin	6,12
Bumbu dan olahannya	1,56		
Minuman	1,25		

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

Dengan diketahuinya jenis makanan yang berkontribusi ke dalam paparan kadmium, dapat dilakukan strategi untuk menurunkan tingkat paparan melalui pengontrolan cemaran terhadap makanan yang berkontribusi paling besar. Nasi merupakan makanan yang memiliki kontribusi terbesar dari seluruh jenis bahan yang dianalisis, pengurangan cemaran kadmium yang ada di dalam nasi akan mengurangi 65% paparan kadmium populasi, terutama pada anak-anak, sehingga tidak melebihi batas yang dapat menjamin kesehatan.

3.2.4 Arsen (As)

Arsen merupakan logam berat yang terdapat dalam bentuk anorganik dan organik di lingkungan, ditemukan secara alami atau akibat aktivitas manusia. Arsen terdapat pada makanan dan air karena kondisi kimia tanah, sehingga akan sangat berbeda antara daerah yang satu dengan yang lainnya, utamanya karena kandungan air tanah yang digunakan untuk air minum.

Arsen anorganik dapat mematikan hewan atau manusia, sifat toksiknya tergantung pada kelarutan, bentuk kimia dan jalur bagaimana ia masuk ke dalam tubuh. Paparan melalui jalur pencernaan terhadap arsen anorganik menyebabkan beberapa efek kesehatan. Sifat toksik senyawa ini berpengaruh terhadap sistem imun, sistem syaraf, kardiovaskuler, ginjal dan perkembangan janin. Studi epidemiologi yang mengukur

kandungan arsen pada air minum terhadap kejadian kanker menunjukkan bahwa arsen anorganik merupakan senyawa karsinogen untuk manusia.

3.2.4.1 Analisis Paparan Arsen (As)

Estimasi paparan arsen untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 32. Paparan arsen pada rerata pengonsumsi di Indonesia adalah antara 1,53–1,87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr. Nilai paparan ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan paparan di negara Eropa (0,02-0,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/ hr), USA (0,08 - 0,20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr), Cina (0,24 - 0,76 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr) dan Jepang (0,36 - 0,46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr), akan tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan paparan di Chili (2,08-21,48 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr) atau Bangladesh (1,68-3,00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr)⁵.

Tabel 32. Estimasi Paparan Arsen untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Klasifikasi	Estimasi Rerata paparan arsen ($\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr) pada pengonsumsi		BMD _{0,5} Kanker paru ($\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr)
	Nilai Bawah	Nilai Atas	
Total Pengonsumsi	1,5294	-	1,8680
0 - 35 Bulan	2,0775	-	2,7261
36 - 59 Bulan	2,9957	-	3,7167
5 - 12 Tahun	2,4018	-	2,9143
13 - 18 Tahun	1,4642	-	1,7960
19 - 55 Tahun	1,3584	-	1,6502
> 55 Tahun	1,2794	-	1,5636

*Insiden kanker paru di Asia Tenggara adalah 178.3 - 281.2 pada laki-laki, dan 168.3 - 219.1 pada perempuan per 100.000 penduduk

Sampai saat ini belum ada suatu nilai ambang batas paparan arsen yang dapat ditoleransi, sehingga risiko paparan arsen yang sudah memiliki dasar yang cukup kuat adalah menggunakan model *dose response* dan penghitungan *benchmark dose* 0,5 (BMD_{0,5}) paparan arsen terhadap kejadian kanker. Dosis BMD_{0,5} adalah dosis yang dapat menyebabkan kenaikan 0,5 % kejadian kanker. Nilai BMD_{0,5} untuk kejadian kanker paru-paru dan kanker kandung kemih tersaji di dalam Tabel 33. Saat ini, insiden kanker paru di Asia Tenggara adalah sebanyak 178 - 281 pada laki-laki dan 168 -219 pada perempuan per 100.000 penduduk.

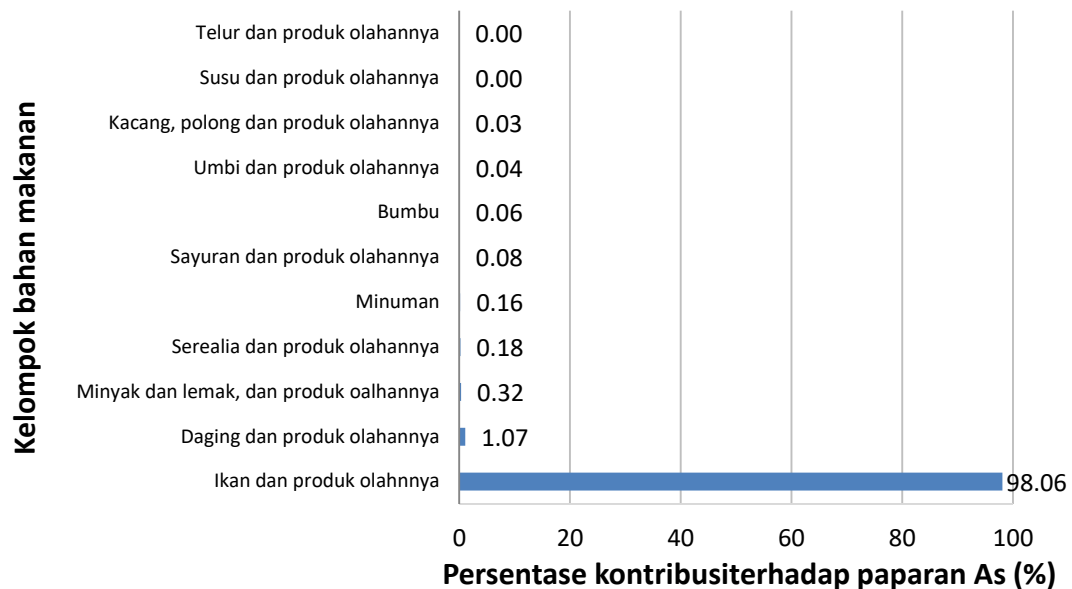
Tabel 33. Kisaran BMD_{0.5} dan BMDL_{0.5} Untuk Kejadian Kanker Paru dan Kanker Kandung Kemih Akibat Paparan Arsen Dari Makanan, Berdasarkan Estimasi Paparan Rerata.

Referensi	BMD _{0.5} (µg/kg bb/hr)	BMDL _{0.5} (µg/kg bb/hr)
Kanker paru (Chen, 2010a) ⁵⁵	4,5 - 7,3	3,0 - 5,0
Kanker kandung kemih (Chen, 2010b) ⁵⁶	7,9 - 13,9	5,2 - 11,4

BMD_{0.5} paparan arsen suatu populasi yang dapat meningkatkan 0,5 % kejadian kanker paru disebut nilai BMDL_{0.5}. Nilai BMDL_{0.5} paparan arsen populasi Indonesia (nilai bawah dan nilai atas) adalah antara 3,0 – 5,0 ug/kb bb/hr. Nilai bawah paparan berada di bawah rentang nilai BMD_{0.5}, akan tetapi nilai atas masuk ke dalam rentang nilai BMD_{0.5}.

3.2.4.2 Kontribusi Makanan terhadap Paparan Arsen (As)

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan arsen dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 7 dan Tabel 34. Jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan arsen adalah ikan dan produk olahannya dengan kontribusi adalah 98 % dari total paparan arsen. Jenis makanan di dalam kelompok ini yang berkontribusi adalah terutama ikan laut (76,27 %), olahan ikan laut kering asin (13,74 %), serta ikan air tawar (5,33 %).



Gambar 7. Persentase Kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Arsen

Tabel 34. Persen Kontribusi Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Arsen, Pendekatan Nilai Bawah

Kelompok Bahan Makanan	% Kontribusi terhadap Total Paparan As	Jenis Bahan Makanan	% Kontribusi terhadap Total Paparan As
Daging, unggas dan produk olahannya	1,067		
Ikan dan produk olahannya	98,057	Ikan air tawar	5,3300
		Ikan air laut	76,2796
		Ikan air laut, Kering asin	13,7419
		Udang	2,7058

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

3.2.5 Merkuri (Hg)

Logam berat merkuri terdapat di lapisan bumi, dalam bentuk merkuri sulfida. Logam ini dapat menyebar ke lingkungan melalui berbagai proses, baik itu alami atau akibat kegiatan yang dilakukan manusia. Emisi alami merkuri di dunia diperkirakan 2400 ton per tahun⁵⁷. Sementara penyebaran yang disebabkan kegiatan manusia adalah sekitar 2200 ton per tahun⁵⁸. Merkuri terdapat di alam terutama dalam tiga bentuk, yaitu elemental merkuri, ion merkuri monovalen dan ion merkuri divalen. Bentuk merkuri elemental dan ion divalen merupakan bentuk yang paling penting. Ada beberapa jenis senyawa merkuri organik, yang paling umum ditemui di lingkungan dan di perairan adalah metil merkuri.

Efek toksikologi merkuri ditentukan oleh bentuk senyawa, karena memiliki perbedaan dalam absorpsi, biotransformasi di dalam tubuh, retensi dan ekskresinya. Sebagai contoh, absorpsi dan bioavailabilitas garam merkuri anorganik bervariasi dari 2-38 % pada orang dewasa dengan estimasi yang paling mendekati sekitar 10-15 %⁵⁹. Garam merkuri anorganik tidak larut lemak dan tidak dapat menembus membran darah-otak atau plasenta. Akan tetapi merkuri metal dan organik dapat mengalami perubahan bentuk menjadi anorganik karena adanya oksidasi dan demetilisasi sehingga dapat terakumulasi di jaringan dan menembus membran otak, janin dan ginjal. Merkuri anorganik juga dapat diekskresikan melalui air susu ibu.

Paparan jangka panjang merkuri anorganik pada dosis 1-5 mg/kg berat badan dapat menyebabkan beberapa efek kesehatan. Efek kesehatan yang dapat ditimbulkannya adalah kerusakan ginjal dan menyebabkan infertilitas⁵. Toksikologi efek dari metil merkuri yang paling utama adalah pada awal kehidupan karena dapat

mengganggu pertumbuhan janin serta merupakan senyawa toksik untuk perkembangan sel syaraf anak-anak⁶⁰. Efek paparan metil merkuri pada anak-anak adalah gangguan perkembangan, tidak bisa tidur, dan agresif⁶¹.

3.2.5.1 Analisis Paparan Merkuri

Estimasi paparan total merkuri untuk pengonsumsi pada berbagai kelompok umur tersaji pada Tabel 35. Paparan total merkuri pada rerata populasi Indonesia adalah 0,0240-0,0288 ug/kg bb/hr. Jumlah ini hampir mirip dengan rerata paparan populasi Australia (0,01-0,08 ug/kg bb/hr), lebih tinggi dari paparan populasi Kanada (0,010–0,012 ug/kg bb/hr), Jepang (0,17 ug/kg bb/hr) akan tetapi lebih rendah dari paparan populasi Cina (0,08 ug/kg bb/hr), Korea (0,04 ug/kg bb/hr) dan Selandia Baru (0,1 ug/kg bb/hr)⁵. Rerata populasi Indonesia terpapar oleh total merkuri sebesar 4,20 – 5,05 % dari nilai PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) sebesar 4 ug/kg bb/minggu⁵. Paparan terbesar ada pada anak-anak usia 36-59 bulan, akan tetapi nilai persentase paparannya hanya 10,16 % dari PTWI.

Tabel 35. Estimasi Paparan Total Merkuri dari Pengonsumsi, Sebagai Persentase terhadap Nilai PTWI (4 µg/kg bb)

Kelompok Umur		Estimasi Paparan Total Merkuri (µg/kg bb/hr) pada Pengonsumsi		% dari nilai PTWI			
		Nilai Bawah	Nilai Atas				
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0240	-	0,0288	4,20	-	5,05
	P 95	0,1172	-	0,1205	20,51	-	21,09
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0346	-	0,0442	6,05	-	7,73
	P 95	0,2398	-	0,2496	41,97	-	43,67
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0473	-	0,0580	8,28	-	10,16
	P 95	0,2659	-	0,2733	46,53	-	47,82
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0381	-	0,0451	6,67	-	7,90
	P 95	0,1977	-	0,2022	34,60	-	35,38
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0234	-	0,0277	4,09	-	4,84
	P 95	0,1177	-	0,1197	20,60	-	20,95
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0213	-	0,0255	3,72	-	4,46
	P 95	0,1016	-	0,1044	17,78	-	18,26
> 55 Tahun	Rerata	0,0198	-	0,0244	3,47	-	4,26
	P 95	0,1024	-	0,1052	17,92	-	18,42

Estimasi paparan total merkuri untuk pengonsumsi pada berbagai kelompok umur tersaji pada Tabel 36. Rerata paparan metil merkuri populasi Indonesia adalah 0 - 0,1524 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr, Nilai ini memberikan nilai 0 - 66,67 % dari nilai PTWI. Paparan metil merkuri tertinggi terdapat pada kelompok usia 0-36 bulan yaitu antara 0 – 0,4455 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr atau 0 - 194,48 % dari nilai PTWI.

Tabel 36. Estimasi Paparan Metil Merkuri dari Pengonsumsi, Sebagai Persentase terhadap Nilai PTWI

Klasifikasi		Estimasi Paparan Metil Merkuri ($\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hari) pada Pengonsumsi		% Kontribusi terhadap PTWI (1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/minggu atau setara 0.22 /kg bb/hari)		
		Nilai Bawah		Nilai Atas		
Total						
Pengonsumsi	Rerata	0,0000	-	0,1524	0,00	- 66,67
	P 95	0,0000	-	0,4418	0,00	- 193,28
0-36 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,4445	0,00	- 194,48
	P 95	0,0000	-	1,2613	0,00	- 551,80
36-59 Bulan	Rerata	0,0000	-	0,4089	0,00	- 178,89
	P 95	0,0000	-	1,0716	0,00	- 468,81
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,2624	0,00	- 114,79
	P 95	0,0000	-	0,7347	0,00	- 321,43
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,1568	0,00	- 68,62
	P 95	0,0000	-	0,4444	0,00	- 194,44
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,1261	0,00	- 55,16
	P 95	0,0000	-	0,3494	0,00	- 152,85
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	-	0,1343	0,00	- 58,76
	P 95	0,0000	-	0,3681	0,00	- 161,04

Kisaran paparan metil merkuri sangat lebar antara nilai bawah dan nilai atas. Hal ini terjadi karena nilai LOD dan LOQ metil merkuri yang tinggi. Metode analisis menggunakan instrument ICP-MS sebenarnya mampu memberikan hasil yang akurat dan tepat sampai dengan nilai LOD $<3 \mu\text{g}/\text{kg}^5$, akan tetapi dalam hal ini, satu-satunya laboratorium yang mampu melakukan analisis metil merkuri di Indonesia memiliki nilai LOD dan LOQ yang besar, yaitu 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dan 250 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Nilai LOD dan LOQ ini sangat jauh di atas nilai PTWI sebesar 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb menyebabkan penghitungan nilai atas paparan melebihi ratusan kali nilai PTWI.

Nilai LOD dan LOQ yang tinggi menyebabkan derajat ketidakpastian pengukuran yang juga tinggi. Untuk mendapatkan nilai paparan dengan derajat

ketidakpastian yang lebih rendah, perlu dilakukan analisis sampel di laboratorium yang memiliki nilai LOD dan LOQ yang rendah.

3.2.5.2. Kontribusi Makanan terhadap Paparan Merkuri

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan total merkuri dapat dilihat berturut-turut pada Tabel 37.

Tabel 37. Persentase Kontribusi Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Total Merkuri, Pendekatan Perhitungan Nilai Bawah

Kelompok Bahan Makanan	% Terhadap Paparan Total Merkuri	Jenis Bahan Makanan	% terhadap Paparan Total Merkuri
Ikan dan produk olahannya	100,00	Ikan air laut	80,156
		Ikan air laut, Kering asin	17,785
		Udang	2,058

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

Paparan merkuri pada makanan datang dari kelompok ikan, *seafood* dan produk olahannya. Konsentrasi merkuri dari ikan dan seafood kira-kira 10-100 kali lebih besar dibandingkan dengan makanan lainnya termasuk sereal, kentang, sayuran, buah, daging, unggas, telur, susu dan produk olahannya⁶². Sejalan dengan ini, analisis kandungan total merkuri dan metil merkuri di Indonesia dilakukan pada kelompok ikan, *seafood* dan produk olahannya. Ikan air laut segar merupakan kontributor utama paparan total merkuri dengan kontribusi sebesar 80 % paparan, dan ikan air olahan kering asin merupakan kontributor kedua dengan kontribusi sebesar 17 % paparan. Menurut analisis berdasarkan nilai bawah, semua hasil analisis metil merkuri adalah 0, sehingga tidak ada jenis makanan yang berkontribusi terhadap paparan metil merkuri.

3.3. Aflatoksin

3.3.1 Kandungan Aflatoksin Dalam Bahan Makanan

Mikotoksin yang paling utama terdapat di dalam bahan pangan adalah aflatoksin. Aflatoksin B1, B2, G1 dan G2 diproduksi oleh spesies jamur *aspergillus*, baik *A. flavus*, *A. parasiticus* maupun spesies *Aspergillus* lainnya yang mengkontaminasi bahan pangan. Aflatoksin M1 diproduksi oleh hewan ternak yang merupakan konversi metabolik 1 - 2 % dari konsumsi aflatoksin B1, yang disekresikan dalam susu⁶³.

Dari 227 sampel bahan makanan yang dikumpulkan, dilakukan pemeriksaan aflatoksin terhadap 88 jenis makanan pada 7 kelompok makanan yang berpotensi mengandung aflatoksin B1, B2, G1 dan G2 yaitu kelompok sereal dan olahannya, umbi dan produk olahannya, kacang-kacangan/polong-polongan dan olahannya, daging dan olahannya, minyak/lemak dan olahannya, bumbu serta minuman. Sementara untuk analisis aflatoksin M1 dalam studi ini dilakukan terhadap 11 jenis makanan pada kelompok susu dan produk olahannya.

Aflatoksin B1, B2, G1 dan G2 terutama ditemukan pada kelompok sereal yaitu pada jagung dan produk olahannya seperti nasi jagung dan produk ekstrusi serta tepung terigu dan produk olahannya seperti mi dan wafer. Kelompok yang kedua adalah kelompok polong-polongan dan kacang, seperti kacang tanah, kacang hijau dan produk olahan dari kacang kedelai seperti tempe dan tahu, Kelompok yang ketiga adalah kelompok bumbu dan olahannya, yaitu ditemukan pada bawang merah dan cabai. Kelompok yang keempat pada umbi-umbian dan olahannya yaitu ditemukan pada kerupuk aci. Kelompok yang terakhir adalah kelompok minuman, dimana jenis minuman yang terkontaminasi adalah minuman coklat. Aflatoksin B1 maupun aflatoksin yang lain (B2, G1 dan G2) tidak ditemukan pada kelompok daging dan olahannya serta minyak, lemak dan produk olahannya.

Di antara jenis aflatoksin tersebut, aflatoksin B1 adalah jenis aflatoksin yang paling sering dijumpai pada bahan pangan yaitu ditemukan pada 24 jenis makanan. Hasil yang sama ditemukan pada penelitian di sebuah desa di Cina, yang mendeteksi Aflatoksin B1 pada 76,7 % sampel jagung, 66,7 % minyak kacang dan 23,3 % sampel nasi⁶⁴.

Kadar aflatoksin B1 pada jagung dan pada kacang tanah adalah berkisar antara 0,336 - 12,750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dan 0 - 1,130 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Hasil ini jauh lebih rendah dibandingkan dari penelitian yang pernah dilakukan di Indonesia sebelumnya yaitu pada 6 - 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pada jagung olahan, dan 5 sampai 870 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pada kacang tanah olahan⁶⁵.

Selain aflatoksin B1, ditemukan 8 jenis makanan positif aflatoksin B2 dan G1, dan 3 jenis sampel yang mengandung aflatoksin G2. Tiga diantara jenis makanan tersebut yaitu nasi jagung, kacang tanah dan Kacang hijau mengandung aflatoksin B1, B2, G1 dan G2, akan tetapi jenis pengolahan berpengaruh terhadap kehadiran aflatoksin ini. Aflatoksin B1 maupun aflatoksin yang lain (B2, G1 dan G2) tidak ditemukan pada kelompok daging dan olahannya serta minyak, lemak dan produk olahannya.

Analisis kandungan aflatoksin M1 dari 11 jenis makanan dalam studi ini, mengidentifikasi sebanyak 4 jenis makanan dari kelompok susu dan produk olahannya yang positif mengandung aflatoksin M1. Kandungan aflatoksin M1 pada susu dan produk olahannya ini cukup rendah yaitu 1,6 – 26,7 ng/kg atau 0,0016 – 0,0267 ppb. Nilai ini masih jauh di bawah kadar aflatoksin M1 yang rekomendasikan FDA yaitu < 0,5 ppb⁶⁷. Meskipun berada dalam level yang cukup rendah dan masih dalam batas aman, namun hal ini menandakan bahwa pakan ternak sapi penghasil susu yang dikonsumsi masyarakat Indonesia telah tercemar oleh aflatoksin M1. Cemaran aflatoksin M1 pada susu di Indonesia jika dibandingkan dengan beberapa negara lain juga masih jauh dibawah nilai kontaminasi aflatoksin M1 pada susu dari Cuba, Korea dan Thailand yaitu masing-masing 0,05 – 0,37; 0,05 – 0,28 dan 0,5 – 6,6 ppb⁶⁷.

3.3.2 Analisis Risiko Paparan Aflatoksin

Berdasarkan Joint Expert in Food Additives dan Contaminat⁶⁸, aflatoksin memiliki potensi sebagai pencetus kanker (karsinogenik), akan tetapi belum ada informasi yang cukup untuk mengembangkan suatu batas paparan yang dapat ditoleransi. Asupan aflatoksin dari bahan makanan seharusnya serendah mungkin, sehingga dapat menjauhkan dari risiko kesehatan yang ditimbulkannya.

Aflatoksin merupakan senyawa mutagenik dan karsinogenik yang paling potensial. Telah banyak bukti-bukti riset yang menunjukkan bahwa aflatoksin sebagai pencetus terjadinya kanker hati baik pada riset hewan coba, riset metabolisme *in vitro* dan *in vivo*, maupun studi epidemiologi. Penelitian epidemiologi menunjukkan korelasi positif antara paparan aflatoksin B1 dan peningkatan kejadian kanker hati. Potensi kanker hati pada individu dengan aflatoksin HBsAg⁺ secara substansial lebih tinggi sekitar 30 kali dibanding individu HBsAg⁻⁶⁹. Dengan demikian asupan aflatoksin pada populasi dengan prevalensi tinggi HBsAg⁺ akan memiliki dampak yang lebih besar menderita kanker hati dari pada populasi dengan prevalensi rendah HbsAg⁺. Sehingga analisis toksikologi terhadap potensi aflatoksin terhadap kesehatan terbagi dua, yaitu untuk individu tanpa infeksi hepatitis B (HBsAg⁻) dan untuk individu dengan infeksi kronis hepatitis B (HBsAg⁺).

Hasil review nilai potensi aflatoksin terhadap kejadian kanker hati adalah sebagai berikut : nilai potensi paparan aflatoksin terhadap kejadian kanker adalah sebesar 0,3 kanker per tahun per 100.000 populasi untuk setiap ng aflatoksin per kg berat badan per hari, pada individu dengan infeksi hepatitis B (HBsAg⁺), dan sebesar

0,01 kanker per tahun per 100.000 populasi untuk setiap ng aflatoxin per kg berat badan per hari, pada individu yang tidak terinfeksi hepatitis B (HBsAg⁻).

Analisis risiko paparan aflatoxin yang dilakukan pada laporan ini menggunakan penghitungan estimasi tinggi, yaitu dengan asumsi bahwa seluruh populasi terinfeksi hepatitis B atau HBsAg⁺. Perhitungan estimasi tinggi dilakukan untuk melihat risiko terburuk yang akan dihasilkan dari paparan. Jika pada estimasi tinggi populasi dalam keadaan aman, maka pada kondisi yang sesungguhnya, populasi berada dalam tingkat risiko yang lebih rendah. Analisis yang lebih mendekati kondisi sebenarnya baru dapat dilakukan jika prevalensi infeksi kronik hepatitis B pada populasi Indonesia sudah diketahui. Estimasi nilai paparan aflatoxin untuk rata-rata pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, dapat dilihat pada Tabel 38 – 43.

Tabel 38. Estimasi Paparan Aflatoxin terhadap Rerata Pengonsumsi dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai Bawah dan Nilai Atas

Jenis Aflatoxin	Paparan (ng/kg bb/hari)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi / tahun ¹	
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Populasi				
Aflatoxin B1	0,7237	- 1,0100	0,2171	- 0,3030
Aflatoxin B2	0,0285	- 1,4757	0,0086	- 0,4427
Aflatoxin G1	0,1299	- 2,6492	0,0390	- 0,7948
Aflatoxin G2	0,0685	- 1,1502	0,0205	- 0,3451
Aflatoxin M1 ²	0,0073	- 0,0405	0,0000	- 0,0012
Total Aflatoxin	0,9578	6,3257	0,29	1,90

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/hr.

² Potensi aflatoxin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoxin lainnya

Hasil analisis risiko paparan total aflatoxin pada pengonsumsi, menunjukkan bahwa dengan paparan terhadap rerata populasi antara 0,9578 – 6,3257 ng/kg bb/hr berpotensi menyebabkan menyebabkan kejadian 0,2873 – 1,8977 kanker hati per 100.000 populasi per tahun. Dengan perhitungan *nilai bawah*, jenis aflatoxin yang menyumbangkan paparan paling tinggi adalah aflatoxin B1, dimana jumlah paparannya 10 kali lebih tinggi dibandingkan jenis aflatoxin lainnya. Jenis bahan makanan yang berkontribusi utama terhadap paparan aflatoxin B1 adalah sereal terutama jenis nasi jagung.

Tabel 39. Estimasi Paparan Aflatoksin terhadap Rerata Pengonsumsi Usia 0-4 tahun dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai bawah dan Nilai Atas

Jenis Aflatoksin	Paparan (ng/kg bb/hr)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi / tahun ¹			
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas		
Anak 0 - 4 tahun						
Aflatoksin B1	1,2460	-	2,1010	0,3738	-	0,6303
Aflatoksin B2	0,0376	-	3,0259	0,0113	-	0,9078
Aflatoksin G1	0,1413	-	4,7636	0,0424	-	1,4291
Aflatoksin G2	0,0739	-	2,3822	0,0222	-	0,7147
Aflatoksin M1 ²	0,1754	-	7,6570	0,0053	-	0,2297
Total Aflatoksin	1,6743	-	19,9298	0,50	-	5,98

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/ 100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/hr.

² Potensi aflatoksin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoksin lainnya

Tabel 40. Estimasi Paparan Aflatoksin terhadap Rerata Pengonsumsi Usia 5-12 tahun dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai Bawah dan Nilai Atas

Jenis Aflatoksin	Rerata Paparan (ng/kg bb/hr)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi/tahun ¹			
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas		
Anak 5 - 12 tahun						
Aflatoksin B1	1,2088	-	1,4251	0,3626	-	0,4275
Aflatoksin B2	0,0397	-	2,0545	0,0119	-	0,6164
Aflatoksin G1	0,1618	-	3,8200	0,0485	-	1,1460
Aflatoksin G2	0,0959	-	1,5966	0,0288	-	0,4790
Aflatoksin M1 ²	0,1618	-	5,8526	0,0049	-	0,1756
Total Aflatoksin	1,6680	-	14,7489	0,50	-	4,42

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/ 100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/ hari.

² Potensi aflatoksin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoksin lainnya

Tabel 41. Estimasi Paparan Aflatoksin terhadap Rerata Pengonsumsi Usia 13-18 tahun dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai Bawah dan Nilai Atas

Jenis Aflatoksin	Rerata Paparan (ng/kg bb/hr)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi/tahun ¹	
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas
Remaja 13 - 18 tahun				
Aflatoksin B1	0,7421	- 0,8969	0,2226	- 0,2691
Aflatoksin B2	0,0257	- 1,3142	0,0077	- 0,3943
Aflatoksin G1	0,1135	- 2,5640	0,0341	- 0,7692
Aflatoksin G2	0,0573	- 1,0159	0,0172	- 0,3048
Aflatoksin M1 ²	0,1135	- 3,9282	0,0034	- 0,1178
Total Aflatoksin	1,0523	- 9,7193	0,32	2,92

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/hr.

² Potensi aflatoksin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoksin lainnya

Tabel 42. Estimasi Rerata Paparan Aflatoksin terhadap Rerata Pengonsumsi Usia 19-55 tahun dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai Bawah dan Nilai Atas

Jenis Aflatoksin	Rerata Paparan (ng/kg bb/hr)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi/tahun ¹	
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas
Dewasa 19 - 55 tahun				
Aflatoksin B1	0,5875	- 0,8696	0,1763	- 0,2609
Aflatoksin B2	0,0259	- 1,2821	0,0078	- 0,3846
Aflatoksin G1	0,1199	- 2,3307	0,0360	- 0,6992
Aflatoksin G2	0,0652	- 0,9986	0,0196	- 0,2996
Aflatoksin M1 ²	0,1199	- 3,5709	0,0036	- 0,1071
Total Aflatoksin	0,9185	- 9,0520	0,28	2,72

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/hr.

² Potensi aflatoksin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoksin lainnya

Tabel 43. Estimasi Rerata Paparan Aflatoksin terhadap Rerata Usia >55 tahun dan Analisis Risikonya, Pendekatan Nilai Bawah dan Nilai Atas

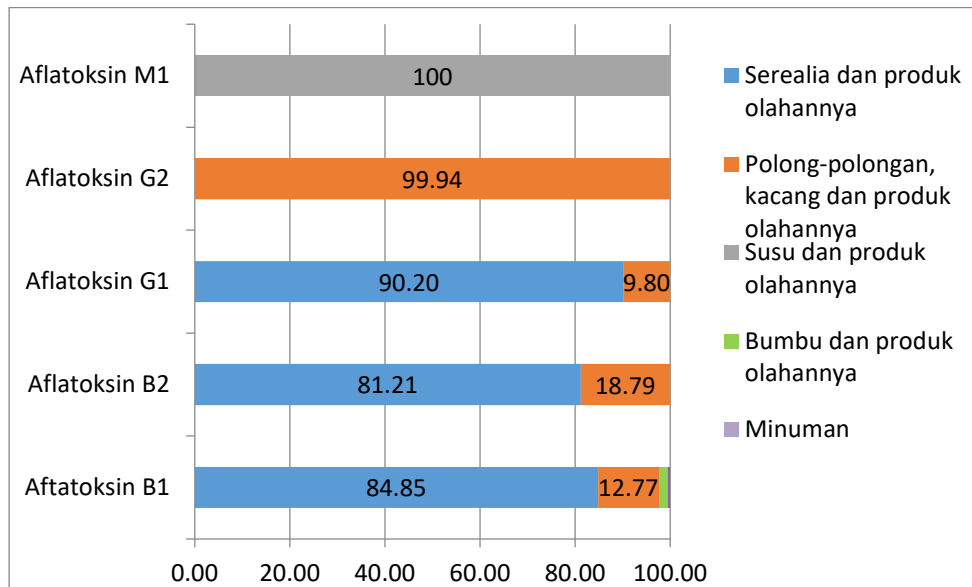
Jenis Aflatoksin	Rerata Paparan (ng/kg bb/hr)		Potensi kejadian kanker /100,000 populasi / tahun ¹	
	Nilai Bawah	Nilai Atas	Nilai Bawah	Nilai Atas
Dewasa > 55 tahun				
Aflatoksin B1	0,7241	- 1,0108	0,2172	- 0,3032
Aflatoksin B2	0,0310	- 1,4559	0,0093	- 0,4368
Aflatoksin G1	0,1622	- 2,4345	0,0487	- 0,7304
Aflatoksin G2	0,0683	- 1,1414	0,0205	- 0,3424
Aflatoksin M1 ²	0,1622	- 3,7299	0,0049	- 0,1119
Total Aflatoksin	1,1478	- 9,7724	0,34	2,93

¹ Diasumsikan seluruh populasi adalah HBsAg⁺ (estimasi tinggi) potensi untuk populasi ini adalah 0.3 kanker/ 100,000 populasi per ng paparan aflatoxin/kg bb/hr.

² Potensi aflatoksin M1 dalam menyebabkan kanker adalah sepuluh kali lebih rendah dari jenis aflatoksin lainnya

3.3.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Aflatoksin

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan aflatoksin dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 8 dan Tabel 44.



Gambar 8. Persentase kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Aflatoksin

Tabel 44. Persentase Kontribusi Jenis Bahan Makanan Terhadap Paparan Aflatoksin, Pendekatan Nilai Bawah

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Bahan Baku	Kontribusi terhadap Paparan Aflatoksin (%)				
		B1	B2	G1	G2	M1
Sereal dan produk olahannya	Nasi jagung (kering)	53,13	40,69	74,99	0,06	
	Jagung	5,97	40,52	15,21		
	Produk ekstrusi	7,13				
	Mi instan	12,91				
	Wafer	3,15				
	Tepung terigu	2,40				
Polong-polongan, kacang dan produk olahannya	Kacang tanah	1,29	18,42	9,68	99,79	
	Tahu	9,37				
	Tempe	2,02	0,05			
Susu dan produk olahannya					100,00	
Bumbu dan produk olahannya	Cabai	1,01				

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

3.4. Bahan Tambahan Pangan (BTP)

3.4.1 Kandungan BTP di dalam Makanan

Dari 227 Bahan makanan, dilakukan analisis kandungan pemanis sakarin dan siklamat dan pengawet benzoat terhadap 56 jenis bahan makanan olahan pada kelompok sereal, umbi, kacang dan polong, daging dan unggas, susu, gula dan konfeksioneri, bumbu dan minuman serta produk olahannya, dan analisis kandungan pewarna tartrazin terhadap 52 jenis bahan makanan olahan pada kelompok yang sama.

Terdapat 2 jenis sampel yang positif mengandung pemanis sakarin, yaitu es krim dan minuman teh cair. Terdapat 12 jenis bahan makanan yang positif mengandung pemanis siklamat yaitu pada kelompok bahan makanan sereal, yaitu roti isi dan produk ekstrusi, pada kelompok umbi yaitu kerupuk aci, pada kelompok susu yaitu es krim, pada kelompok gula dan konfeksioneri yaitu produk olahan coklat dan jelly pudding, serta yang paling banyak ditemukan adalah pada kelompok minuman yaitu pada minuman teh cair instan, minuman coklat, minuman jus buah cair, dan minuman jus buah instan.

Pengawet benzoat ditemukan pada semua kelompok bahan makanan yang diperiksa. Pada kelompok olahan sereal ditemukan kandungan tertinggi pada mi basah, kemudian mi kering, roti, dan mi instan. Pada kelompok olahan umbi, jenis

pengawet ini ditemukan pada kerupuk aci. Pada kelompok olahan polong-polongan dan kacang, bahan pengawet ini ditemukan pada tahu, sementara pada kelompok susu, ditemukan pada hampir semua sampel susu, yaitu pada susu kental manis, susu fermentasi, susu cair, dan susu bubuk. Benzoat juga ditemukan pada kelompok gula dan konfeksioneri, yaitu produk olahan coklat dan jelly pudding. Pada kelompok minuman, pengawet ini terdapat pada teh cair instan, minuman coklat, minuman jus buah cair, minuman berkarbonasi dan minuman isotonik.

Pewarna tartrazin juga ditemukan pada semua kelompok bahan makanan yang dianalisis. Pada kelompok olahan sereal, bahan makanan yang positif mengandung tartrazin adalah mi basah, mi kering, mi instan, produk ekstrusi dan wafer. Pada kelompok olahan umbi, zat pewarna ini terdapat pada kerupuk aci. Pada kelompok olahan polong-polongan dan kacang, tartrazin juga ditemukan pada tahu, di kelompok olahan daging dan unggas, ditemukan pada bakso sapi. Di kelompok susu, pengawet ini hanya ditemukan pada susu bubuk, sedangkan pada kelompok minuman pada minuman jus buah instan.

3.4.2 Analisis Risiko Paparan Bahan Tambahan Pangan

Bahan tambahan pangan (BTP) merupakan senyawa (baik bernilai gizi atau tidak) yang tidak dikonsumsi langsung dan biasanya ditambahkan ke dalam bahan pangan dengan sengaja, memiliki fungsi tertentu untuk memenuhi tujuan teknologi pengolahan, penyiapan, pengemasan, transport yang dapat memengaruhi karakteristik makanan (CAC, 2016). Prinsip penambahan BTP ke dalam bahan makanan adalah menurut cara produksi yang baik (CPPB) dan tidak melebihi dari batas dari *Acceptabel Daily Intake* (ADI) yang disyaratkan, yaitu nilai dimana suatu BTP dapat dikonsumsi oleh manusia setiap hari seumur hidup tanpa memiliki risiko kesehatan. Nilai ADI untuk sakarin adalah 5 mg/kg bb per hari, untuk siklamat 0-2,5 mg/kg bb/hr⁷, benzoate 0-5 mg/kg bb/hr⁸, dan tartrazin 0 -7,5 mg/kg bb/hr⁹.

3.4.2.1 Sakarin

Estimasi nilai paparan sakarin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 45.

Tabel 45. Estimasi Nilai Paparan Sakarin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ⁷	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0011	- 0,0038	5	0,07	- 0,23
	P95	0,0049	- 0,0198		0,30	- 1,19
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0040	- 0,0146		0,24	- 0,88
	P95	0,0184	- 0,0644		1,10	- 3,87
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0073	- 0,0196		0,44	- 1,18
	P95	0,0386	- 0,0891		2,32	- 5,35
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0040	- 0,0105		0,24	- 1,13
	P95	0,0165	- 0,0475		0,99	- 2,85
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0014	- 0,0048		0,08	- 0,29
	P95	0,0065	- 0,0225		0,39	- 1,35
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0003	- 0,0016		0,02	- 0,10
	P95	0,0001	- 0,0080	0,01	- 0,49	
> 55 Tahun	Rerata	0,0000	- 0,0007	0,01	- 0,05	
	P95	0,0000	- 0,0018	0,00	- 0,11	

Estimasi nilai paparan sakarin untuk rerata pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Rerata paparan adalah 0,0038 (0,23 % ADI) dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 0,0198 (1,19 % ADI). Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan sakarin tertinggi adalah 0,06891 mg/kg bb/hr atau 5,35 % nilai ADI. Paparan tertinggi ini terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 2-4 tahun, Jenis makanan yang berkontribusi bagi paparan sakarin adalah es krim (50,28 %) dan minuman teh (49,72 %). Di negara lain, paparan pemanis sakarin juga masih dibawah dari nilai ADI. Sebagai contoh di Belgia pada tahun 2012 Rerata asupan pemanis sakarin populasi di atas 15 tahun jauh lebih rendah dibandingkan nilai ADI. Bahkan konsumen dengan paparan tinggi tidak masuk dalam tingkat berlebihan yaitu pada persentil ke-95 (P95) adalah 17 % untuk sakarin⁷⁰.

3.4.2.2 Siklamat

Estimasi nilai paparan siklamat untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, dapat dilihat pada Tabel 46.

Tabel 46. Estimasi Nilai Paparan Siklamat untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ⁷	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,2658	- 0,2731	11	2,42	- 2,48
	P95	1,2710	- 1,2825		11,55	- 11,66
0 - 35 Bulan	Rerata	0,5454	- 0,5738		4,96	- 5,22
	P95	2,0502	- 2,1031		18,64	- 19,12
36 - 59 Bulan	Rerata	1,1828	- 1,2073		10,75	- 10,98
	P95	6,0217	- 6,0680		54,74	- 55,16
5 - 12 Tahun	Rerata	0,9725	- 0,9854		8,84	- 8,96
	P95	5,2904	- 5,3120		48,09	- 48,29
13 - 18 Tahun	Rerata	0,3882	- 0,3960		3,53	- 3,60
	P95	2,2218	- 2,2271		20,20	- 20,25
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0891	- 0,0941		0,81	- 0,86
	P95	0,2821	- 0,2903	2,56	- 2,64	
> 55 Tahun	Rerata	0,0402	- 0,0439	0,37	- 0,40	
	P95	0,0727	- 0,0764	0,66	- 0,69	

Estimasi nilai paparan siklamat untuk Rerata pengonsumsi di Indonesia juga masih dibawah nilai ADI. Rerata paparan adalah 0,2731 (2,48 % ADI) dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 1,2825 (11,66 % ADI). Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan siklamat tertinggi adalah 6,0680 mg/kg bb/hr atau 55,16 % ADI. Paparan tertinggi ini terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 2-4 tahun. Jenis makanan utama yang berkontribusi terhadap paparan siklamat adalah jus buah serbuk instan (72,03 %) dan minuman teh (11,29 %). Sebagai perbandingan dengan negara lain seperti di Belgia bahwa rerata asupan siklamat juga masih lebih rendah dari nilai ADI. Bahkan konsumen dengan asupan (*intake*) tinggi (P95), asupannya setara dengan 30 % ADI⁷⁰.

3.4.2.3 Benzoat

Estimasi nilai paparan benzoat untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 47.

Tabel 47. Estimasi Nilai Paparan Benzoat untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ⁸	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,1552	- 0,1553	5	3,10	- 3,11
	P95	0,6925	- 0,6925		13,85	- 13,85
0 - 35 Bulan	Rerata	0,3044	- 0,3046		6,09	- 6,09
	P95	1,6132	- 1,6144		32,26	- 32,29
36 - 59 Bulan	Rerata	0,4870	- 0,4873		9,74	- 9,75
	P95	2,2217	- 2,2217		44,43	- 44,43
5 - 12 Tahun	Rerata	0,3458	- 0,3459		6,92	- 6,92
	P95	1,4214	- 1,4216		28,43	- 28,43
13 - 18 Tahun	Rerata	0,2085	- 0,2085		4,17	- 4,17
	P95	0,7963	- 0,7964		15,93	- 15,93
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0996	- 0,0997		1,99	- 1,99
	P95	0,4107	- 0,4109		8,21	- 8,22
> 55 Tahun	Rerata	0,0754	- 0,0755	1,51	- 1,51	
	P95	0,3081	- 0,3081	6,16	- 6,16	

Dari hasil analisis risiko, estimasi nilai paparan benzoat (nilai bawah dan nilai atas) pengonsumsi di Indonesia masih dibawah nilai ADI. Untuk rerata pengonsumsi adalah 0,15 (3,1 % nilai ADI) dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 1,42 mg/kg bb/hr (13,85 % ADI). Bila dibandingkan dengan negara lain, paparan benzoat pada populasi Indonesia sedikit lebih rendah, yaitu 0,18 mg/kg bb/hr paparan populasi Jepang dan 2,3 mg/kg bb/hr paparan populasi USA. Untuk 95 persentil pengonsumsi, ada negara-negara yang melebihi batas ADI seperti USA 7,3 mg/kg bb/hr atau 150 % dari ADI, dan Cina 14 mg/kg bb/hr atau 280 % ADI⁷¹.

Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan benzoat maksimal adalah 2,22 mg/kg bb/hr atau 44,44 % nilai ADI. Nilai ini terdapat pada kelompok umur 36-59 bulan, dimana bobot tubuh masih rendah akan tetapi sudah mulai mengonsumsi jenis makanan olahan yang mengandung pengawet benzoat. Jika ditelusuri sumber utama makanan yang berkontribusi terhadap paparan benzoat, terlihat

bahwa kelompok minuman, terutama minuman teh menyumbangkan paparan benzoat yang tertinggi yaitu 39,23 % paparan, dan kontributor kedua terhadap paparan benzoat adalah tahu, yaitu sebesar 23,1 % paparan. Dari hasil analisis risiko di negara-negara lain (Australia, Perancis, Selandia baru, UK, USA), minuman non alkohol juga merupakan penyumbang terbesar, dimana sumber utamanya adalah minuman berperisa berkarbonasi. Di India paparan Rerata tertinggi natrium benzoat adalah pada grup anak-anak usia 2-7 tahun yaitu 33 % dari nilai ADI⁷².

3.4.2.4 Tartrazin

Estimasi nilai paparan tartrazin untuk pengonsumsi di Indonesia pada berbagai kelompok umur, tersaji pada Tabel 48.

Tabel 48. Estimasi Nilai Paparan Tartrazin untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

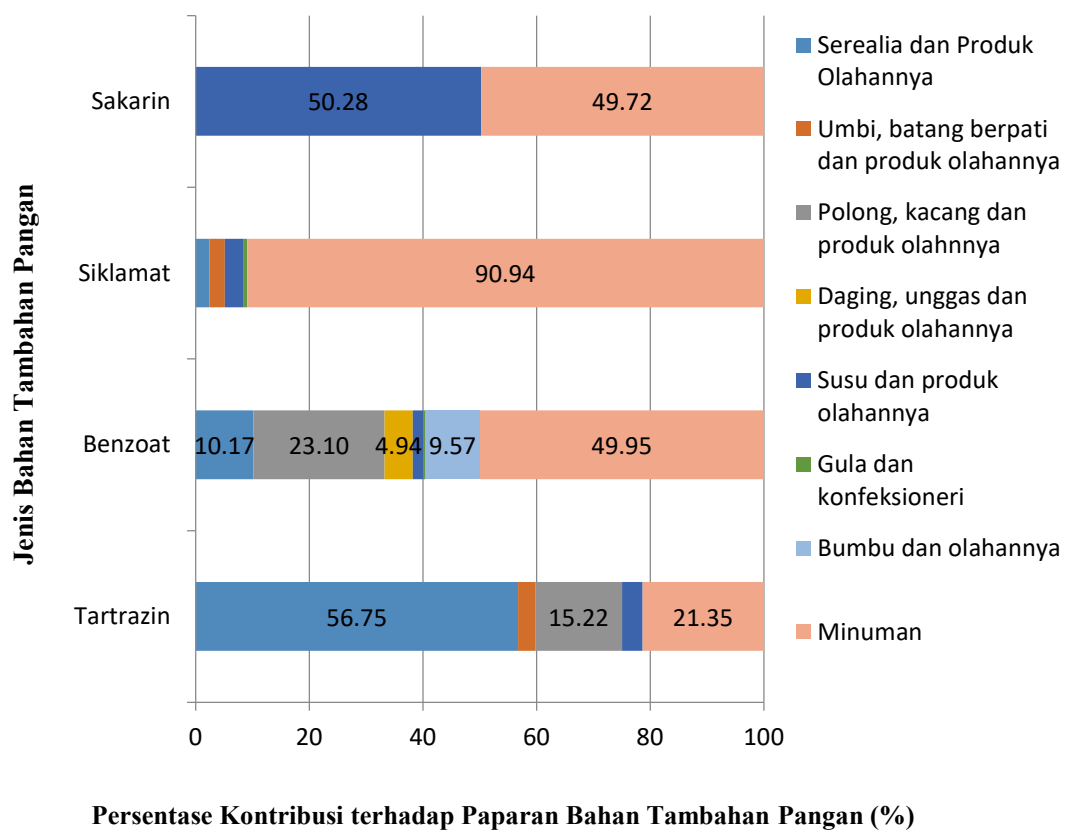
Kelompok Umur		Paparan (mg/kg bb/hr)		ADI (mg/kg bb/hr) ⁹	% Paparan terhadap ADI	
		Nilai Bawah	Nilai Atas		Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0104	- 0,0128	7,5	0,14	- 0,17
	P95	0,0418	- 0,0475		0,56	- 0,63
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0168	- 0,0289		0,22	- 0,39
	P95	0,0741	- 0,0903		0,99	- 1,20
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0290	- 0,0385		0,39	- 0,51
	P95	0,1305	- 0,1385		1,74	- 1,85
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0246	- 0,0288		0,33	- 0,38
	P95	0,0907	- 0,0949		1,21	- 1,27
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0143	- 0,0163		0,19	- 0,22
	P95	0,0505	- 0,0530		0,67	- 0,71
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0068	- 0,0083		0,09	- 0,11
	P95	0,0267	- 0,0298		0,36	- 0,40
> 55 Tahun	Rerata	0,0046	- 0,0061		0,06	- 0,08
	P95	0,0192	- 0,0226		0,26	- 0,30

Estimasi nilai paparan tartrazin untuk rerata pengonsumsi di Indonesia masih jauh dibawah nilai ADI. Rerata paparan adalah 0,0128 (0,17% ADI) dan untuk 95 persentil pengonsumsi adalah 0,0475 (0,63 % ADI). Bila dikategorisasi berdasarkan kelompok umur, paparan tartrazin tertinggi adalah 0,1385 mg/kg bb/hr atau setara 1,85 % nilai ADI. Paparan tertinggi ini terdapat pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 36 – 59 bulan. Jenis makanan yang berkontribusi bagi paparan tartrazin

adalah mi instan (32,99 %), jus buah serbuk instan (21,35 %) dan tahu (15,22 %). Sebagai perbandingan hasil analisis yang dilakukan di Korea menunjukkan bahwa dari 704 sampel makanan yang dianalisis, sebanyak 471 sampel mengandung warna alura merah dan tartrazin. Jenis makanan yang sebagai kontributor paparan pewarna tartrazin adalah minuman, minuman keras, coklat dan es krim. Nilai estimasi paparan Rerata populasi adalah sebesar 2,5 % ADI, dan paparan 95 persentil populasi adalah sebesar 37 % ADI⁷³.

3.4.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Bahan Tambahan Pangan (BTP)

Kelompok dan jenis bahan makanan yang berkontribusi terhadap paparan bahan tambahan pangan dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 9 dan Tabel 49



Gambar 9. Persentase Kontribusi Kelompok Bahan Makanan terhadap Paparan Bahan Tambahan Pangan

Tabel 49. Persentase Kontribusi Jenis Bahan Makanan Terhadap Paparan Bahan Tambahan Pangan, pada Pengonsumsi, Pendekatan *Nilai bawah*

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Makanan	Kontribusi Terhadap Paparan BTP (%)			
		Sakarin	Siklamat	Benzoat	Tartrazin
Serealia dan olahannya	Produk ekstrusi		1,31		3,55
	Roti		1,14	1,13	
	Mi instan			1,21	32,99
	Wafer				2,77
	Mi basah			7,54	11,56
	Mi kering				4,28
	Biskuit				1,60
Umbi dan olahannya	Kerupuk aci		2,69		3,08
Polong-polongan, kacang dan olahannya	Tahu			23,10	15,22
Daging, unggas dan olahannya	Bakso daging sapi			4,53	
Susu dan olahannya	Es krim	50,28	3,34		
	Susu bubuk				3,60
Bumbu	Kecap manis			9,57	
Minuman	Jus buah serbuk		72,03		21,35
	Minuman coklat		1,09		
	Minuman teh	49,72	11,29	39,23	
	Jus buah cair		6,53	6,47	
	Minuman berkarbonasi			3,70	

*Kontributor lebih kecil dari 1% tidak dicantumkan

3.5. Mineral

3.5.1. Kandungan Mineral dalam Bahan Makanan

Mineral merupakan komponen penting dari diet manusia, namun bila dikonsumsi berlebihan akan menimbulkan efek kesehatan. Asupan atau paparan (mg/hr) mineral dievaluasi menggunakan batas atas, *tolerable upper level intake* (UL). Asupan mineral tidak boleh melebihi batas atas (UL) yang disarankan.

Dari 227 bahan makanan ACKM, dilakukan analisis kandungan mineral Kalsium (Ca), Tembaga (Cu), Zat besi (Fe), Iodium (I), Kalium (K), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Natrium (Na), Selenium (Se), dan Seng (Zn) terhadap 14 kelompok bahan makanan. Pada umumnya, kandungan mineral di dalam bahan makanan yang dianalisis bervariasi tergantung jenis bahan. Tidak semua jenis bahan makanan mengandung semua jenis mineral yang diperiksa.

3.5.2. Analisis Risiko Paparan Mineral

3.5.2.1. Kalsium

Kalsium merupakan komponen utama dari kerangka tubuh manusia, sekitar 99 % dari total kalsium tubuh ditemukan pada tulang dan gigi, Bentuk kalsium penyusun tulang dan gigi adalah dalam bentuk kalsium hidroksiapatit ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$) yang memiliki peran dalam membangun struktur dan diperlukan untuk kekakuan, kekuatan dan elastisitas jaringan. Tulang adalah penyimpan cadangan kalsium dan nutrisi anorganik lainnya, dan berperan dalam homeostasis mineral tubuh melalui proses pembentukan dan resorpsi tulang⁷⁴.

Kekurangan kalsium akan menyebabkan kalsium dilepaskan dari kerangka untuk mempertahankan konsentrasinya dalam darah agar sel dan jaringan berfungsi normal. Hal ini dapat menyebabkan penurunan massa tulang, yang menyebabkan osteopenia dan osteoporosis, gangguan skeletal termasuk rakhitis dan osteomalacia⁷⁵. Sementara itu kelebihan asupan kalsium menyebabkan hiperkalsemia, yaitu kondisi dimana konsentrasi kalsium serum lebih dari 2,75 mmol/L atau 11 mg/dL⁷⁶. Estimasi paparan kalsium untuk pengonsumsi pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 50.

Paparan kalsium pada rerata dan 95 persentil pengonsumsi berdasarkan perhitungan *nilai bawah* atau *nilai atas* masih dalam batas aman. Rerata dan P95 paparan kalsium dengan perhitungan nilai bawah hampir sama dengan perhitungan nilai atas, baik pada total pengonsumsi maupun kelompok umur. Hal ini terjadi karena semua sampel terdeteksi mengandung kalsium. Paparan kalsium pada 95 persentil pengonsumsi adalah 683,47 – 683,52 mg/hr atau 27,34 % UL. Nilai UL kalsium adalah 2500 mg/hr²⁶ yang ditentukan berdasarkan pengamatan efek samping pada ginjal⁷⁷. Paparan kalsium pada 95 persentil anak umur 0 - 35 bulan adalah paling tinggi diantara kelompok umur lainnya, yaitu 45,88 % UL. Kelompok umur 5-12 tahun memiliki paparan kalsium pada persentil 95 yang paling rendah, yaitu 23,15 % UL.

Tabel 50. Estimasi Nilai Paparan Kalsium untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Total Pengonsumsi		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	277,6269	- 277,7310	2500	IOM, 1998 ²⁷ & SCF/EFSA, 2003 ²⁶	11,11	- 11,11
	P95	683,4710	- 683,5225			27,34	- 27,34
0 - 35 Bulan	Rerata	322,5471	- 322,5880	2500	IOM, 1998 ²⁷	12,90	- 12,90
	P95	1.146,9221	- 1.147,0994			45,88	- 45,88
36-59 Bulan	Rerata	312,8085	- 312,8706	2500	IOM, 1998 ²⁷ , SCF/EFSA, 2003 ²⁶	12,51	- 12,51
	P95	950,7098	- 950,8212			38,03	- 38,03
5 - 12 Tahun	Rerata	234,1320	- 234,2122	2500	IOM, 1998 ²⁷ , SCF/EFSA, 2003 ²⁶	9,37	- 9,37
	P95	578,7088	- 578,7615			23,15	- 23,15
13-18 Tahun	Rerata	247,6038	- 247,6989	2500	IOM, 1998 ²⁷ , SCF/EFSA, 2003 ²⁶	9,90	- 9,91
	P95	613,0008	- 613,0462			24,52	- 24,52
19-55 Tahun	Rerata	289,2640	- 289,3804	2500	IOM, 1998 ²⁷ , SCF, 2003 ²⁶	11,57	- 11,58
	P95	690,4507	- 690,5067			27,62	- 27,62
> 55 Tahun	Rerata	271,9860	- 272,0811	2500	IOM, 1998 ²⁷ , SCF/EFSA, 2003 ²⁶	10,88	- 10,88
	P95	643,9441	- 643,9817			25,76	- 25,76

Perbandingan paparan kalsium populasi dewasa Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 51. Rerata dan 95 persentil populasi dewasa Indonesia memiliki paparan kalsium paling rendah dibandingkan dengan populasi Hongkong, Amerika, Prancis dan Australia.

Tabel 51. Perbandingan Paparan Kalsium Populasi Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Ca (mg/hari)	
	Rerata	95 Persentil
Indonesia 2015	289 ^a	690 ^a
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	430 ^b	840 ^b
USA 1991-1996 ⁷⁹	510-800 ^c	-
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	790 ^d	1,400 ^d
Australia 2008 ⁸¹	700-1,200 ^e	1,200-2,100 ^e

Keterangan

^aData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun

^bData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

^cData di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas

^dData di atas meliputi umur 18-79 tahun

^eData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas

3.5.2.2. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah mineral transisi yang terdistribusi secara luas di jaringan biologi, termasuk hewan dan tumbuhan. Mineral tembaga diperlukan untuk pertumbuhan bayi, mekanisme pertahanan tubuh, kekuatan tulang, pematangan sel darah merah dan sel darah putih, transportasi zat besi, serta metabolisme glukosa dan kolesterol³⁰. Gejala defisiensi tembaga meliputi anemia, neutropenia, hipopigmentasi rambut dan kulit, pembentukan tulang abnormal dan osteoporosis, kelainan pembuluh darah dan rambut⁸². Kasus kekurangan tembaga secara klinis pada manusia jarang terjadi³⁰. Estimasi paparan tembaga untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 52.

Paparan tembaga pada rerata pengonsumsi dan semua kelompok umur baik dengan perhitungan nilai atas maupun bawah masih dalam batas aman. Semakin rendah kelompok umur, maka nilai paparan akan semakin tinggi. Paparan tembaga pada 95 persentil pengonsumsi kelompok umur 0-35 dan 36-59 bulan berada dalam batas tidak aman, berturut-turut 193,57 – 210,49 % dan 110,63 – 122,57 % dari nilai UL nya. Nilai UL tembaga ditentukan berdasarkan kelompok umur²⁶. Nilai UL untuk dewasa ditetapkan berdasarkan atas pengamatan efek samping pada hati⁷⁷.

Tabel 52. Estimasi Nilai Paparan Cu untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	1,7352	- 1,9937	5	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	34,70	- 39,87
	P95	3,4866	- 3,8508			69,73	- 77,02
0 - 35 Bulan	Rerata	0,8109	- 0,9169	1	SCF/EFSA, 2003 ²⁶ & IOM, 2001 ²⁸	81,09	- 91,69
	P95	1,9357	- 2,1049			193,57	- 210,49
36 - 59 Bulan	Rerata	1,1588	- 1,3197	2	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	57,94	- 65,99
	P95	2,2126	- 2,4514			110,63	- 122,57
5 - 12 Tahun	Rerata	1,3200	- 1,5225	4	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	33,00	- 38,06
	P95	2,4921	- 2,7592			62,30	- 68,98
13 - 18 Tahun	Rerata	1,5797	- 1,8268	4	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	39,49	- 45,67
	P95	3,0408	- 3,3994			76,02	- 84,98
19 - 55 Tahun	Rerata	1,9156	- 2,1984	5	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	38,31	- 43,97
	P95	3,7722	- 4,1315			75,44	- 82,63
> 55 Tahun	Rerata	1,6799	- 1,9316	5	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	33,60	- 38,63
	P95	3,2186	- 3,5562			64,37	- 71,12

Perbandingan paparan tembaga populasi Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 53. Penduduk dewasa di Indonesia memiliki paparan tembaga pada rerata dan persentil 95 populasi yang hampir sama dengan Prancis, namun lebih tinggi dibandingkan penduduk Kanada, Amerika, Hongkong dan Australia.

Tabel 53. Perbandingan Paparan Tembaga Penduduk Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Cu ($\mu\text{g}/\text{hari}$)	
	Rerata	95 Persentil
USA 1991-1996 ⁷⁹	730-1400 ^a	-
Kanada 2007 ⁸³	900-1500 ^{b,c}	-
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	920 ^d	1700 ^d
Australia 2008 ⁸¹	1200-1900 ^e	1700-2900 ^e
Indonesia 2015	1916-2198 ^f	3772-4131 ^f
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	1900 ^g	4100 ^g

Keterangan:

^adata di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas; ^bData di atas meliputi dewasa umur 20 tahun ke atas

^cAsupan makanan rerata dewasa 15-25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr (yaitu sekitar 900-1500 $\mu\text{g}/\text{hr}$ untuk 60 kg dewasa

^dData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun; ^eData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas

^fData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun; ^gData di atas meliputi umur 18-79 tahun

3.5.2.3. Zat besi (Fe)

Zat besi merupakan elemen penting yang berfungsi sebagai pembawa oksigen dalam hemoglobin oleh sel darah merah, media transportasi elektron dalam sel dan sebagai bagian terpadu dan penting dalam sistem reaksi enzim jaringan tubuh²⁸. Kekurangan asupan zat besi menyebabkan anemia, terganggunya perkembangan kinerja kerja psikomotor dan fungsi kekebalan tubuh³⁰. Kelebihan asupan zat besi jarang terjadi, tergantung jumlah zat besi yang diserap. Efek dari kelebihan asupan zat besi adalah gangguan sistemik pencernaan. Beberapa individu dengan kondisi tertentu (hemokromatosis) rentan terhadap kelebihan zat besi⁷⁷.

Estimasi paparan zat besi untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 54. Paparan pada rerata dan P95 pengonsumsi pada semua kelompok umur, baik dengan perhitungan nilai atas dan bawah masih dalam batas aman, yaitu di bawah 50 % UL. Semakin tinggi kelompok umur, terdapat kecenderungan semakin meningkatnya paparan Fe. Nilai UL zat besi adalah 40-45 mg/hr, tergantung kelompok umur²⁸. Nilai UL untuk dewasa ditetapkan berdasarkan atas pengamatan efek samping pada saluran cerna⁷⁷.

Tabel 54. Estimasi Nilai Paparan Fe untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	9,6893	- 11,1337	45	IOM, 2001 ²⁸	21,53	- 24,74
	P95	19,6823	- 21,4869			43,74	- 47,75
0 - 35 Bulan	Rerata	6,4097	- 6,9910	40	IOM, 2001 ²⁸	16,02	- 17,48
	P95	16,3224	- 16,8350			40,81	- 42,09
36 - 59 Bulan	Rerata	8,1940	- 9,0976	40	IOM, 2001 ²⁸	20,49	- 22,74
	P95	17,5845	- 18,4081			43,96	- 46,02
5 - 12 Tahun	Rerata	8,5899	- 9,6854	40	IOM, 2001 ²⁸	21,47	- 24,21
	P95	17,3660	- 18,5727			43,42	- 46,43
13 - 18 Tahun	Rerata	9,7543	- 11,0859	45	IOM, 2001 ²⁸	21,68	- 24,64
	P95	20,3209	- 21,9649			45,16	- 48,81
19 - 55 Tahun	Rerata	10,2189	- 11,8059	45	IOM, 2001 ²⁸	22,71	- 26,24
	P95	20,4874	- 22,3498			45,53	- 49,67
> 55 Tahun	Rerata	9,0102	- 10,4635	45	IOM, 2001 ²⁸	20,02	- 23,25
	P95	17,5055	- 19,4666			38,90	- 43,26

Perbandingan paparan zat besi populasi Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 55. Populasi dewasa di Indonesia memiliki rerata dan persentil 95 paparan Fe paling tinggi dibandingkan penduduk Hongkong, Amerika, Prancis dan Australia.

Tabel 55. Perbandingan Paparan Zat besi Populasi Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Fe (mg/hari)	
	Rerata	95 Persentil
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	7,7 ^a	13 ^a
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	8 ^b	17 ^b
Australia 2008 ⁴²	8,7-15 ^c	13-24 ^c
USA 1991-1996 ⁷⁹	9,0-14 ^d	-
Indonesia 2015	10,21-11,8 ^e	20,49-22,35 ^e

Keterangan:

^aData di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun

^bData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

^cData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas

^ddata di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas

^eData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun

3.5.2.4. Iodium (I)

Iodium merupakan mineral mikro penting bagi tubuh manusia⁴³. Iodium bermanfaat untuk memacu pertumbuhan otak, menyehatkan kelenjar tiroid, menyehatkan proses tumbuh kembang janin, dan menjaga pertumbuhan kelenjar gondok atau tiroksin⁸⁴. Defisiensi iodium dapat dikenali dengan mudah pada penderita penyakit gondok.

Ibu hamil atau menyusui membutuhkan asupan iodium lebih besar daripada kondisi normal. Hal ini berpengaruh pada perkembangan kecerdasan otak dan mental bayi. Kekurangan iodium bisa menimbulkan keterlambatan perkembangan kecerdasan anak hingga tahap bayi mengalami keterbelakangan mental bahkan bisa menyebabkan cacat mental⁸⁵. Asupan iodium dalam jumlah tertentu bersifat toksik. Toksisitas ini berasal dari sifat oksidasif yang membuatnya mampu untuk men-denaturasi protein (termasuk enzim). Dosis mematikan bagi orang dewasa adalah 30 mg/kg, yaitu sekitar 2,1-2,4 gram untuk orang dengan berat 70 sampai 80 kg. Kelebihan iodium bisa lebih toksik dengan adanya defisiensi selenium⁸⁶. Suplementasi iodium pada populasi yang kekurangan selenium akan bermasalah karena alasan ini⁸⁷.

Estimasi paparan iodium untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 56. Paparan iodium nilai bawah pada Rerata dan P95 pengonsumsi masih dalam batas aman, yaitu sebesar 0,1904 (31,73 % UL) dan 0,4288 mg/hr (71,47 % UL), namun untuk nilai atas paparan iodium pada persentil 95 pengonsumsi berada dalam batas tidak aman, yaitu 0,7569 mg/hr (126,15 % UL). Berdasarkan perhitungan nilai bawah rerata paparan iodium pada berbagai kelompok

umur masih berada dalam batas aman. Namun, berdasarkan perhitungan nilai atas rerata paparan iodium untuk kelompok umur 0-35, 36-59 bulan dan 5-12 tahun, sudah melebihi batas aman yaitu berturut-turut 121,01 ; 140,96 dan 129,41 % dari nilai UL. Nilai atas paparan iodium pada 95 persentil populasi berada dalam batas tidak aman, yaitu sudah mencapai 114 – 303 % dari nilai UL.

Tabel 56. Estimasi Nilai Paparan Iodium untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,1904	- 0,4195	0,6	SCF/EFSA, 2002 ²⁹	31,73	- 69,92
	P95	0,4288	- 0,7569			71,47	- 126,15
0 - 35 Bulan	Rerata	0,1403	- 0,2420	0,2	SCF/EFSA, 2002 ²⁹ & IOM, 2001 ²⁸	70,15	- 121,01
	P95	0,4184	- 0,5953			209,21	- 297,66
36 - 59 Bulan	Rerata	0,2067	- 0,3524	0,25	SCF/EFSA, 2002 ²⁹	82,67	- 140,96
	P95	0,5963	- 0,7576			238,52	- 303,06
5 - 12 Tahun	Rerata	0,2136	- 0,3882	0,3	SCF/EFSA, 2002 ²⁹ & IOM, 2001 ²⁸	71,20	- 129,41
	P95	0,5535	- 0,7720			184,51	- 257,34
13 - 18 Tahun	Rerata	0,2029	- 0,4142	0,5	SCF/EFSA, 2002 ²⁹	40,57	- 82,84
	P95	0,4463	- 0,7439			89,25	- 148,79
19 - 55 Tahun	Rerata	0,1919	- 0,4439	0,6	SCF/EFSA, 2002 ²⁹	31,99	- 73,98
	P95	0,4264	- 0,7712			71,06	- 128,53
> 55 Tahun	Rerata	0,1589	- 0,3855	0,6	SCF/EFSA, 2002 ²⁹	26,49	- 64,26
	P95	0,3728	- 0,6867			62,13	- 114,45

3.5.2.5. Kalium

Kalium merupakan basa, unsur logam. Hal ini tidak ditemukan dalam bentuk unsur di alam dan selalu ditemukan dikombinasikan dengan zat lain, paling sering sebagai garam klorida (KCl)⁸⁸. Bahan makanan sumber kalium adalah kentang, buah, sayuran, produk susu dan kacang-kacangan. Kalium adalah nutrisi penting bagi cairan tubuh, asam dan keseimbangan elektrolit dan diperlukan untuk fungsi sel normal³⁰.

Untuk menjaga keseimbangan jumlah kalium dalam tubuh, hal itu ditentukan pada jumlah natrium dan magnesium yang terdapat pada darah. Jika terlalu banyak natrium dalam darah, maka akan meningkatkan kebutuhan akan kalium. Diare, muntah serta berkeringat dalam jumlah banyak juga meningkatkan kebutuhan kalium bagi tubuh. Penelitian para ahli menunjukkan adanya hubungan positif antara makanan yang mengandung kadar kalium tinggi dengan kesehatan tulang⁸⁰.

Paparan kalium untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 57. Paparan kalium pada rerata dan P95 pengonsumsi berturut-turut adalah antara 665,54 - 669,29 dan 1.443,27 – 1.449,64 mg/hr. Paparan tertinggi pada rerata dan 95 persentil populasi adalah pada kelompok umur 19-55 tahun yaitu berturut-turut 726,20 – 730,37 dan 1.539,63 – 1.545,07 mg/hr. Sampai saat ini, belum ada nilai UL untuk kalium, sehingga nilai paparan tersebut belum dapat dikarakterisasi.

Tabel 57. Estimasi Nilai Paparan Kalium untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Ref.	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	665,5365	-	669,2901		-	-
	P95	1.443,2721	-	1.449,6471		-	-
0 - 35 Bulan	Rerata	453,3071	-	454,8688		-	-
	P95	1.304,9745	-	1.305,8607		-	-
36 - 59 Bulan	Rerata	543,5562	-	545,9519		-	-
	P95	1.251,8218	-	1.255,3578		-	-
5 - 12 Tahun	Rerata	513,6779	-	516,4975		-	-
	P95	1.087,9443	-	1.091,0379		-	-
13 - 18 Tahun	Rerata	578,4190	-	581,7333		-	-
	P95	1.214,0096	-	1.218,4051		-	-
19 - 55 Tahun	Rerata	726,1986	-	730,3666		-	-
	P95	1.539,6348	-	1.545,0723		-	-
> 55 Tahun	Rerata	656,6751	-	660,3847		-	-
	P95	1.423,2015	-	1.430,1768		-	-

Perbandingan paparan (g/hr) kalium penduduk Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 58. Rerata dan 95 persentil populasi dewasa di terpapar kalium lebih rendah dibandingkan populasi Hongkong, Amerika, Prancis dan Australia.

Tabel 58. Perbandingan Paparan Kalium Penduduk Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Harian Kalium (g/hari)	
	Rerata	95 Persentil
Indonesia 2015	0,7 ^a	1,54 ^a
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	1,9 ^b	3,2 ^b
USA 1991-1996 ⁷⁹	1,9-2,7 ^c	-
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	64 ^d	4,3 ^d
Australia 2008 ⁴²	97-170 ^e	4,2-6,4 ^e

Keterangan:

^aData diambil kelompok dewasa umur 18-55 tahun

^bData diambil dari kelompok dewasa umur 20-84 tahun

^cData diambil dari kelompok dewasa umur 25 tahun ke atas

^ddata diambil dari kelompok dewasa umur 18-79 tahun.

^eData diambil dari kelompok dewasa umur 19 tahun ke atas

3.5.2.6. Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur yang paling berlimpah kedelapan dalam kerak bumi. Magnesium dalam makanan terdapat dalam sayuran berdaun dan kacang-kacangan. Magnesium berfungsi sebagai kofaktor dari banyak enzim yang terlibat dalam metabolisme energi, sintesis protein, sintesis DNA dan RNA, dan pemeliharaan potensial elektrik dari jaringan syaraf dan membran sel saraf. Magnesium juga penting untuk fungsi normal kelenjar paratiroid dan metabolisme vitamin D^{88,89}.

Kekurangan magnesium jarang dijumpai pada orang dewasa kecuali asupan magnesium relatif rendah disertai dengan diare berkepanjangan atau penggunaan diuretika juga dapat menyebabkan kekurangan magnesium. Kekurangan magnesium dikaitkan dengan kardiovaskular, skeletal, gastrointestinal dan gangguan sistem saraf^{88,89}.

Tidak ada efek samping dikaitkan dengan konsumsi magnesium sebagai zat alami dalam makanan. Namun asupan magnesium berlebihan sebagai konsekuensi dari penggunaan berbagai garam magnesium untuk tujuan farmakologi/obat. Konsumsi berlebihan magnesium dari sumber non – makanan menyebabkan diare osmotik, yang reversibel⁸⁸. Estimasi paparan magnesium untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 59.

Tabel 59. Estimasi Nilai Paparan Magnesium (Mg) untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	153,8818	- 154,3452	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	61,55	- 61,74
	P95	301,5480	- 302,2442			120,62	- 120,90
0 - 35 Bulan	Rerata	77,6634	- 77,8587			-	-
	P95	187,8038	- 187,8925			-	-
36 - 59 Bulan	Rerata	105,8307	- 106,1333	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	42,33	- 42,45
	P95	208,9413	- 209,0073			83,58	- 83,60
5 - 12 Tahun	Rerata	120,5979	- 120,9585	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	48,24	- 48,38
	P95	230,1565	- 230,6221			92,06	- 92,25
13 - 18 Tahun	Rerata	140,7862	- 141,2181	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	56,31	- 56,49
	P95	270,8590	- 271,3891			108,34	- 108,56
19 - 55 Tahun	Rerata	167,4548	- 167,9741	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	66,98	- 67,19
	P95	319,9116	- 320,6197			127,96	- 128,25
> 55 Tahun	Rerata	155,0995	- 155,5002	250	SCF/EFSA, 2006 ³⁰	62,04	- 62,20
	P95	298,3359	- 299,4196			119,33	- 119,77

Paparan magnesium pada rerata pengonsumsi di semua kelompok umur berada dalam batas aman. Namun paparan magnesium pada persentil 95 populasi berada dalam batas tidak aman, yaitu 120,62 – 120,90 % dari nilai UL. Demikian pula dengan paparan magnesium pada persentil 95 populasi mulai 13 tahun ke atas berada dalam batas tidak aman, yaitu 108,34 - 108,56 (13-18 tahun); 127,96 – 128,25 (19-55 tahun) dan 119,33 – 119,77 % (> 55 tahun) dari nilai UL nya. Semakin tinggi kelompok umur, paparan (mg/hr) magnesium cenderung semakin tinggi (Tabel 59). Nilai UL magnesium adalah 250 mg/hr untuk semua kelompok umur³⁰, kecuali kelompok umur 0-35 bulan, belum diketahui nilai UL.

Perbandingan paparan magnesium populasi Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 60. Paparan penduduk dewasa di Indonesia lebih rendah dibandingkan dengan populasi Hongkong, Amerika, dan Prancis.

Tabel 60. Perbandingan Paparan Magnesium Populasi Indonesia Dengan Negara Lain

	Paparan Magnesium (mg/hari)	
	Rerata	95 Persentil
Indonesia 2015	167 ^a	320 ^a
USA 1991-1996 ⁷⁹	180-260 ^b	-
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	210 ^c	360 ^c (P95)
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	300 ^d	460 ^d (P95)

Keterangan:

^aData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun

^bData di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas

^cData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

^dData di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun

3.5.2.7. Mangan

Mangan adalah suatu unsur kimia yang mempunyai nomor atom 25 dan memiliki simbol Mn. Mangan memiliki massa atom 54,9 Da. Mangan memiliki nilai oksidasi mulai dari -3 sd 7; Mn (II) dan Mn (III) adalah bentuk dominan dalam sistem biologi⁹⁰. Bukti akibat kekurangan mangan pada manusia masih sedikit. Sampai saat ini belum ada penjelasan mengenai sindrom defisiensi Mn spesifik pada manusia^{26,28, 82,90}.

Laporan efek merugikan akibat paparan Mn pada manusia terutama berhubungan dengan udara pada lingkungan. Gejala keracunan Mn dapat menyebabkan gangguan permanen neurologis dikenal sebagai manganism⁹¹. Paparan mangan melalui konsumsi pangan, terutama berasal dari sumber air yang terkontaminasi. Hal ini dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan, yang mirip dengan yang diamati dari paparan Mn dari udara. Tingkat ambang batas yang sebenarnya di mana paparan Mn menghasilkan efek neurologis pada manusia belum ditetapkan⁹¹.

Ekskresi Mn dari tubuh dilaporkan bervariasi, dengan waktu paruh antara 13 dan 37 hari⁹¹. Variasi antar individu besar⁹². Ekskresi Mn pada pria memiliki waktu paruh lebih lama dibandingkan pada wanita⁹³. Hal ini berhubungan dengan perbedaan status zat besi antar jenis kelamin⁹⁴. Penurunan waktu paruh berhubungan dengan peningkatan konsumsi mangan dari makanan⁹⁵, sebagai upaya menjaga keseimbangan (homeostasis) mangan dalam tubuh.

Kelebihan mangan dapat menghambat penyerapan zat besi⁹⁴. Gejala kelebihan mangan mencakup dermatitis bersisik, menurunkan kolesterol, hilangnya pigmentasi rambut, dan mengurangi vitamin K. Efek neurologis, seperti nyeri otot, tremor, kelelahan, penurunan memori dan refleks gangguan, telah dilaporkan pada penduduk yang terkena paparan mangan tinggi dalam air minum⁷⁷.

Estimasi paparan mangan untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 61. Paparan rerata dan 95 persentil pengonsumsi di semua kelompok umur masih dalam batas aman. Paparan rerata dan 95 persentil populasi meningkat seiring dengan meningkatnya kelompok umur. Paparan mangan paling tinggi terdapat pada 95 persentil kelompok umur > 55 tahun, yaitu 7,70 – 7,71 mg/hr atau setara 69,98 – 70,09 % dari nilai UL. Nilai UL mangan adalah 11 mg/hr untuk semua kelompok umur²⁸.

Perbandingan paparan mangan populasi Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 62. Populasi dewasa di Indonesia terpapar oleh mangan lebih tinggi dibandingkan dengan populasi di Amerika, Prancis dan Kanada. Namun lebih rendah dibandingkan paparan populasi Hongkong.

Tabel 61. Estimasi Nilai Paparan Mangan untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	3,1957	- 3,2136	11	IOM ₂₀₀₁ ²⁸	29,05	- 29,21
	P95	6,9116	- 6,9288			62,83	- 62,99
0 - 35 Bulan	Rerata	1,1309	- 1,1452	11		10,28	- 10,41
	P95	3,0270	- 3,0281			27,52	- 27,53
36 - 59 Bulan	Rerata	1,7443	- 1,7681	11		15,86	- 16,07
	P95	4,1382	- 4,1557			37,62	- 37,78
5 - 12 Tahun	Rerata	2,2609	- 2,2810	11		20,55	- 20,74
	P95	4,8509	- 4,8794			44,10	- 44,36
13 - 18 Tahun	Rerata	2,8491	- 2,8670	11		25,90	- 26,06
	P95	5,8829	- 5,9033			53,48	- 53,67
19 - 55 Tahun	Rerata	3,5182	- 3,5363	11	31,98	- 32,15	
	P95	7,2968	- 7,3300		66,33	- 66,64	
> 55 Tahun	Rerata	3,4927	- 3,5069	11	31,75	- 31,88	
	P95	7,6980	- 7,7095		69,98	- 70,09	

Tabel 62. Perbandingan Paparan Mangan Penduduk Indonesia dengan Negara Lain

Paparan Harian Mangan (mg/hari)		
	Rerata	95 Persentil
USA 1991-1996 ⁷⁹	1,9-2,9 ^a	-
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	2,2 ^b	3,5 ^b
Kanada 2007 ⁸³	2,6-3,8 ^{c,d}	-
Indonesia 2015	3,52-3,54 ^e	7,70-7,71 ^e
Australia 2008 ⁸¹	3,9-5,5 ^f	6,4-8,8 ^f
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	4,4 ^g	8,5 ^g

Keterangan:

^aData di atas meliputi dewasa umur 25 tahun; ^bData di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun;

^cData di atas meliputi dewasa umur 20 tahun ke atas; ^dAsupan harian rerata orang dewasa 44-64 µg /kg bb/hr (yaitu sekitar 2.6-3.8mg/hari untuk orang dewasa 60 kg); ^eData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun

^fData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas; ^gData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

3.5.2.8. Natrium (Na)

Natrium adalah kation utama dalam cairan ekstraseluler pada hewan dan manusia. Dengan adanya ion ini menjadikan sel dapat melaksanakan fungsi transportasi nutrisi dan limbah tubuh. Natrium adalah kation yang paling menonjol dalam cairan ekstraseluler. Lima belas liter cairan ekstraseluler dalam 70 kg manusia mengandung sekitar 50 gram natrium⁹⁶. Pada manusia ion natrium berperan penting dalam banyak proses fisiologis.

Natrium merupakan nutrisi penting yang mengatur volume darah, tekanan darah, keseimbangan osmotik dan pH⁹⁷. Setiap kali ada peningkatan konsentrasi natrium dalam darah, ginjal menahan sebagian besar air agar ada cukup air untuk digunakan tubuh. Tetapi ketika ada penurunan konsentrasi natrium, maka akan lebih banyak pelepasan air sehingga akan tersimpan lebih banyak natrium yang dibutuhkan tubuh. Proses ini dikenal sebagai osmo-regulasi. Natrium demikian penting dalam fungsi neuron dan osmoregulasi antara sel-sel dan cairan ekstraseluler. Distribusi ion natrium digerakkan oleh enzim Na^+/K^+ -ATPase, yang merupakan aktif ion transporter yang dapat memompa melawan gradien, melewati yang disebut natrium / kalium *channel*⁹¹.

Estimasi paparan natrium untuk pengonsumsi pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 63. Paparan natrium pada rerata pengonsumsi di semua kelompok umur masih dalam batas aman, yaitu berkisar antara 785,81 – 1.817,12 mg/hr atau 58,90 – 79,01 % UL. Namun paparan natrium pada 95 persentil pengonsumsi berada pada batas tidak aman, yaitu berkisar antara 109,01 – 164 % dari nilai UL. Semakin tinggi kelompok umur, paparan natrium cenderung semakin tinggi. Nilai UL natrium adalah 2300 mg/hr untuk semua kelompok umur³¹, kecuali umur 0-35 bulan, tidak ada nilai UL untuk kelompok umur tersebut.

Perbandingan paparan natrium penduduk Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 64. Penduduk dewasa di Indonesia memiliki paparan natrium yang lebih rendah dibandingkan penduduk Hongkong, Amerika, Prancis dan New Zealand.

Tabel 63. Estimasi Nilai Paparan Natrium untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	1.753,8360	- 1.787,1820	2300	IOM, 2004 ³¹	76,25	- 77,70
	P95	3.736,5417	- 3.784,0176			162,46	- 164,52
0 - 35 Bulan	Rerata	785,8079	- 796,4623				-
	P95	1.880,9857	- 1.901,6735				-
36 - 59 Bulan	Rerata	1.354,6612	- 1.371,5271	2300	IOM, 2004 ³¹	58,90	- 59,63
	P95	2.507,1935	- 2.535,0371			109,01	- 110,22
5 - 12 Tahun	Rerata	1.618,8740	- 1.642,8550	2300	IOM, 2004 ³¹	70,39	- 71,43
	P95	3.263,7348	- 3.294,9689			141,90	- 143,26
13 - 18 Tahun	Rerata	1.786,3406	- 1.817,1231	2300	IOM, 2004 ³¹	77,67	- 79,01
	P95	3.604,7094	- 3.634,7088			156,73	- 158,03
19 - 55 Tahun	Rerata	1.868,2097	- 1.905,3175	2300	IOM, 2004 ³¹	81,23	- 82,84
	P95	3.942,6817	- 3.984,4302			171,42	- 173,24
> 55 Tahun	Rerata	1.571,4640	- 1.605,1538	2300	IOM, 2004 ³¹	68,32	- 69,79
	P95	3.614,7716	- 3.650,8191			157,16	- 158,73

Tabel 64. Perbandingan Paparan Natrium Populasi Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Natrium(g/hari)	
	Rerata	95 Persentil
USA 1991-1996 ⁷⁹	1,7-2,7 ^a	-
Indonesia 2015	1,8-1,9 ^b	3,94-3,98 ^b
New Zealand 2009 ⁹⁸	2,0-3,4 ^c	-
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	2,6 ^d	4,9 ^d
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	2,7 ^e	4,5 ^e

Keterangan:

^aData di atas meliputi diambil dari kelompok dewasa umur 25 tahun ke atas; ^bData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun; ^cData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas dan disajikan; ^dData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun; ^edata di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun.

3.5.2.9. Selenium (Se)

Selenium merupakan mineral yang dalam jumlah kecil bermanfaat untuk tubuh tetapi jika berlebih dalam jumlah besar akan beracun. Kadar berlebih yang masih diijinkan yaitu sampai batas *Tolerable Upper Intake Level* (UL) sebesar 400 µg/hari, di atas nilai tersebut dapat menyebabkan selenosis⁹⁹. Selenium mulai dicatat dalam dunia kesehatan yaitu karena toksisitasnya meracuni pegawai industri¹⁰⁰.

Tanda dan gejala keracunan selenium (selenosis) adalah terdapat bau bawang putih pada nafas, gangguan pencernaan, rambut rontok, pengelupasan kuku, kelelahan, lekas marah, dan kerusakan saraf. Kasus ekstrim selenosis dapat mengakibatkan sirosis hati, edema paru, dan kematian¹⁰¹.

Di dalam tubuh manusia, selenium bentuk organik maupun in-organik diubah ke bentuk konjugasinya dengan mono sakarida (*selonosugar*) terlebih dahulu, sebelum kemudian dikeluarkan dalam bentuk urin. Selenium dapat diukur dalam urin atau serum. Kadar Se dalam tubuh dapat digunakan untuk memonitor lingkungan apakah berlebihan atau terdapat cemaran pada wilayah tertentu¹⁰².

Kekurangan selenium jarang terjadi pada orang sehat dan bergizi baik. Kekurangan selenium pada level rendah (<60 % dari normal) terjadi ketika ada tambahan stres, seperti adanya paparan yang tinggi terhadap merkuri¹⁰³ atau sebagai akibat dari peningkatan oksidasi karena stres misal karena kekurangan vitamin E¹⁰⁴.

Estimasi paparan selenium untuk pengonsumsi, pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 65. Rerata paparan selenium pada pengonsumsi di semua kelompok umur masih dalam batas aman, yaitu berkisar antara 11,31 – 16,11 % UL (> 15 tahun) sampai dengan 24,04 – 34,30 % UL (0-35 bulan). Semakin rendah kelompok umur, paparan selenium cenderung semakin tinggi. Namun paparan selenium pada persentil 95 untuk kelompok umur 0-35 bulan, 36-59 bulan dan 5-12 tahun berada pada batas tidak aman, yaitu berturut-turut 136,96 – 148,70; 146,65 – 156,17; dan 126,30 – 136,32 % dari nilai UL (Tabel 65).

Perbandingan paparan selenium populasi Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 66. 95 persentil pengonsumsi dewasa di Indonesia memiliki paparan selenium yang lebih tinggi dibandingkan penduduk Kanada, Amerika, Perancis dan Australia.

Tabel 65. Estimasi Nilai Paparan Selenium untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	0,0381	- 0,0530	0,3	SCF/EFSA, 2000 ³²	12,71	- 17,66
	P95	0,1969	- 0,2081			65,64	- 69,38
0 - 35 Bulan	Rerata	0,0144	- 0,0206	0,06		24,04	- 34,30
	P95	0,0822	- 0,0892			136,96	- 148,70
36 - 59 Bulan	Rerata	0,0257	- 0,0350	0,09		28,60	- 38,92
	P95	0,1320	- 0,1405			146,65	- 156,17
5 - 12 Tahun	Rerata	0,0343	- 0,0461	0,13		26,38	- 35,43
	P95	0,1642	- 0,1772			126,30	- 136,32
13 - 18 Tahun	Rerata	0,0376	- 0,0520	0,25		15,03	- 20,79
	P95	0,1877	- 0,2034			75,10	- 81,36
19 - 55 Tahun	Rerata	0,0414	- 0,0575	0,3	13,78	- 19,17	
	P95	0,1985	- 0,2156		66,18	- 71,87	
> 55 Tahun	Rerata	0,0339	- 0,0484	0,3	11,31	- 16,15	
	P95	0,1968	- 0,2077		65,59	- 69,22	

Tabel 66. Perbandingan Paparan Selenium Populasi Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Selenium ($\mu\text{g}/\text{hari}$)	
	Rerata	95 Persentil
Indonesia 2015	41,4-57,5 ^a	198,5-215,6 ^a
Perancis 2006-2007 ⁸⁰	64 ^b	100 ^b
USA 1991-1996 ⁷⁹	66-130 ^c	-
Australia 2008 ⁴²	97-170 ^d	130-270 ^d
Kanada 2007 ⁸³	110-220 ^{e,f}	-
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	140 ^g	280 ^g

Keterangan:

^aData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun; ^bdata di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun; ^cData di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas; ^dData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas; ^eData di atas meliputi dewasa umur 20 tahun ke atas; ^fAsupan harian rerata orang dewasa adalah 120-270 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hr (7.2-16 mg/hr untuk dewasa 60 kg); ^gData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

3.5.2.10. Zink

Zink atau seng merupakan salah satu mineral yang penting bagi berbagai sistem biologis manusia, hewan dan tumbuhan. Peran seng bagi manusia, sekitar 300 fungsi enzim dalam tubuh sebagai kofaktor protein dan penyusunan rantai DNA serta RNA, termasuk di dalamnya proses produksi testosteron⁸¹.

Kondisi gangguan kesehatan yang bisa diakibatkan berlebihnya kadar zink dalam tubuh manusia jarang terjadi⁷¹. Gangguan kesehatan akibat kelebihan zink meliputi diare, kram pada abdominal dan kadang disertai dengan muntah – muntah.

Estimasi paparan seng untuk pengonsumsi pada berbagai kelompok umur dapat dilihat pada Tabel 77. Paparan seng baik pada rerata dan 95 persentil pengonsumsi pada semua kelompok umur masih dalam batas aman, kecuali paparan seng pada persentil 95 pengonsumsi kelompok umur 0-35 bulan, berada dalam batas tidak aman, yaitu 143,41 – 145,80 % dari nilai UL. Semakin rendah kelompok umur, paparan Zn semakin besar (Tabel 67).

Tabel 67. Estimasi Nilai Paparan Zink (Zn) untuk Pengonsumsi di Indonesia pada Berbagai Kelompok Umur

Kelompok Umur		Paparan (mg/hr)		Upper Limits (UL) (mg/hr)	Referensi	% Paparan terhadap UL	
		Nilai Bawah	Nilai Atas			Nilai Bawah	Nilai Atas
Total Pengonsumsi	Rerata	5,2544	- 5,4857	25	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	21,02	- 21,94
	P95	10,0617	- 10,3912			40,25	- 41,56
0 - 35 Bulan	Rerata	3,7351	- 3,8502	7	SCF/EFSA, 2003 ²⁶ & IOM, 2001 ²⁸	53,36	- 55,00
	P95	10,0385	- 10,2057			143,41	- 145,80
36 - 59 Bulan	Rerata	4,5657	- 4,7339	10	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	45,66	- 47,34
	P95	9,6282	- 9,8730			96,28	- 98,73
5 - 12 Tahun	Rerata	4,7649	- 4,9391	13	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	36,65	- 37,99
	P95	9,1606	- 9,3882			70,47	- 72,22
13 - 18 Tahun	Rerata	5,4148	- 5,6091	22	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	24,61	- 25,50
	P95	10,4163	- 10,6568			47,35	- 48,44
19 - 55 Tahun	Rerata	5,5345	- 5,7875	25	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	22,14	- 23,15
	P95	10,3419	- 10,7124			41,37	- 42,85
> 55 Tahun	Rerata	4,6309	- 4,8798	25	SCF/EFSA, 2003 ²⁶	18,52	- 19,52
	P95	8,8198	- 9,2111			35,28	- 36,84

Perbandingan paparan seng penduduk Indonesia dengan negara lain dapat dilihat pada Tabel 68. Populasi dewasa di Indonesia memiliki paparan seng lebih rendah dibandingkan penduduk Hongkong, Amerika, Prancis, Kanada dan Australia.

Tabel 68. Perbandingan Paparan Seng Populasi Indonesia dengan Negara Lain

	Paparan Harian Zink (mg/hari)	
	Rerata	95 Persentil
Indonesia 2015	5,5-5,7 ^a	10,3-10,7 ^a
Kanada 2007 ³⁹	7,2-16 ^{b,c}	-
USA 1991-1996 ⁷⁹	7,6-13 ^d	-
Australia 2008 ⁴²	7,8-15 ^e	11-23 ^e
Perancis 2006-2007 ³⁷	7,9 ^f	13 ^f
Hongkong TDS ke-1 ⁷⁸	9,2 ^g	16 ^g

Keterangan

^aData di atas meliputi dewasa umur 18-55 tahun

^bData di atas meliputi dewasa umur 20 tahun ke atas

^cAsupan harian rerata orang dewasa adalah 120-270 µg/kg bb/hari (7.2-16 mg/hr untuk dewasa 60 kg)

^dData di atas meliputi dewasa umur 25 tahun ke atas

^eData di atas meliputi dewasa umur 19 tahun ke atas

^fdata di atas meliputi dewasa umur 18-79 tahun

^gData di atas meliputi dewasa umur 20-84 tahun

3.5.3 Kontribusi Makanan Terhadap Paparan Mineral

Paparan mineral berasal dari 14 kelompok bahan makanan. Tiap kelompok bahan makanan memberikan kontribusi paparan yang berbeda-beda untuk masing-masing mineral. Kontribusi kelompok dan jenis bahan makanan terhadap paparan tersaji pada Tabel 69.

3.5.3.1. Kalsium (Ca)

Ikan dan olahannya merupakan kontributor utama paparan kalsium yang menyumbangkan 35,58 % dari total paparan, dan sebanyak 18,75 % berasal dari ikan air laut kering asin. Kelompok bahan makanan lain yang juga cukup besar kontribusinya adalah kelompok sayuran dan olahannya, yang menyumbangkan 16,95 % dari total paparan kalsium. Bayam (5,48 %) dan daun singkong (3,78 %) merupakan kontributor utama pada kelompok ini. Sereal dan produk olahannya merupakan kontributor paparan kalsium terbesar ketiga yang menyumbangkan 9,32 % dari total paparan kalsium, dengan nasi (5,10 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

Tabel 69. Persentase Kontribusi Kelompok dan Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Mineral

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Bahan Makanan	Kontribusi terhadap Paparan (mg/hr) Mineral (%)									
		Cu	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Iod	Zn	Se
Serealida dan produk olahannya	Beras ketan/Nasi Ketan	0,02	0,12	0,02	0,02	0,05	0,03	0,00	0,00	0,15	0,04
	Nasi/Beras	0,11	34,34	0,02	5,10	16,47	8,19	0,00	0,00	40,64	0,11
	Nasi jagung	0,11	0,04	0,11	0,03	0,20	0,14	0,00	0,00	0,08	0,00
	Jagung	0,00	0,25	0,14	0,09	0,66	0,71	0,00	0,00	0,40	0,07
	Tepung terigu	0,32	1,62	4,15	0,43	1,45	1,03	0,00	0,00	4,52	0,59
	Tepung beras	0,10	0,15	0,21	0,02	0,06	0,02	0,00	0,02	0,14	0,02
	Bihun	0,10	0,08	0,06	0,03	0,02	0,00	0,01	0,07	0,05	0,01
	Bubur bayi beras	0,01	0,03	0,11	0,16	0,04	0,05	0,01	0,02	0,09	0,00
	Biskuit	0,40	0,79	1,79	0,92	0,67	0,46	0,61	1,13	1,81	0,00
	Produk ekstrusi	0,12	0,16	0,38	0,14	0,26	0,25	0,32	0,11	0,25	0,00
	Mi instan	2,00	2,07	8,26	0,79	2,15	1,55	7,28	7,92	6,33	1,86
	Mie basah	0,00	0,36	0,85	0,29	0,41	0,20	0,32	0,00	0,78	0,02
	Mi, kering	0,21	0,23	0,94	0,05	0,15	0,07	0,10	0,00	0,53	0,14
	Roti	0,66	0,84	2,79	0,84	0,98	0,68	0,68	0,35	2,30	0,18
	Wafer	0,19	0,21	0,59	0,39	0,30	0,41	0,10	0,45	0,37	0,00
	Kerupuk terigu	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
		4,35	41,30	20,43	9,32	23,88	13,77	9,46	10,10	58,44	3,02
Umbi dan produk olahannya	Ubi jalar	1,47	1,26	1,47	1,10	1,63	4,03	0,19	0,00	0,29	0,00
	Umbi talas	0,09	0,07	0,03	0,06	0,15	0,47	0,00	0,04	0,11	0,00
	Kerupuk aci	0,00	0,07	0,22	0,11	0,10	0,09	0,44	0,08	0,02	0,00
	Sagu aren	0,08	0,74	0,53	0,14	0,03	0,02	0,00	0,24	0,01	0,00
	Kentang	0,00	0,10	0,07	0,04	0,36	1,11	0,00	0,00	0,11	0,00
	Tepung singkong	0,09	0,04	0,14	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Singkong	0,24	0,43	0,05	0,41	0,87	2,06	0,00	0,00	0,38	0,00
		1,97	2,71	2,52	1,92	3,16	7,79	0,63	0,35	0,92	0,00
Kacang, polong dan olahannya	Kacang tanah	1,11	1,10	1,19	0,37	2,11	1,18	0,01	0,00	1,10	0,46
	Kacang hijau	0,47	0,24	0,65	0,16	0,44	0,59	0,00	0,03	0,35	0,15
	Tahu	0,30	3,86	3,14	3,58	3,13	0,96	0,81	0,00	2,75	0,00
	Tempe kedelai	4,55	3,28	5,30	4,78	3,97	1,31	0,03	0,00	2,57	0,00
		6,43	8,48	10,28	8,89	9,64	4,04	0,84	0,04	6,77	0,62

Tabel 69. Persentase Kontribusi Kelompok dan Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Mineral (Lanjutan)

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Bahan Makanan	Kontribusi terhadap Paparan (mg/hr) Mineral (%)									
		Cu	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Iod	Zn	Se
Sayuran dan olahannya	Bayam	0,35	5,06	1,83	5,48	2,50	1,35	0,01	0,00	0,78	0,00
	Daun singkong	0,98	4,31	2,09	3,78	2,07	0,89	0,01	1,42	1,75	0,00
	Kangkung	0,72	2,85	1,03	1,46	0,73	1,60	0,21	0,00	0,40	0,00
	Sawi hijau	0,06	0,56	0,35	1,07	0,35	0,51	0,02	0,05	0,25	0,00
	Ketimun	0,06	0,11	0,02	0,09	0,12	0,21	0,00	0,00	0,03	0,00
	Terong	0,48	0,24	0,10	0,17	0,36	0,83	0,00	0,00	0,07	0,00
	Tomat	0,66	0,35	0,32	0,24	0,43	1,20	0,01	0,00	0,11	0,00
	Daun kol	0,11	0,19	0,07	0,42	0,20	0,38	0,01	0,00	0,06	0,00
	Oyong	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00
	Daun kelor	0,07	0,11	0,18	0,93	0,18	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00
	Labu kuning	0,10	0,03	0,03	0,07	0,06	0,23	0,00	0,00	0,02	0,00
	Labu siam	0,16	0,03	0,06	0,15	0,14	0,26	0,00	0,00	0,01	0,00
	Nangka muda	0,22	0,18	0,06	0,40	0,32	0,32	0,00	0,00	0,02	0,00
	Pepaya muda	0,03	0,01	0,03	0,12	0,13	0,21	0,00	0,00	0,01	0,00
	Wortel	0,19	0,13	0,08	0,30	0,21	0,76	0,05	0,00	0,07	0,00
	Buncis	0,04	0,11	0,14	0,20	0,24	0,25	0,00	0,00	0,02	0,00
	Kacang panjang	0,51	1,05	0,73	0,75	1,08	0,81	0,00	0,05	0,39	0,00
	Tauge	0,22	0,11	0,17	0,08	0,24	0,28	0,00	0,00	0,10	0,06
	Sayur daun lainnya	0,27	0,47	0,38	1,20	0,50	0,63	0,02	0,00	0,20	0,00
			5,29	15,94	7,69	16,95	9,91	10,88	0,36	1,52	4,31
Buah-buahan dan olahannya	Apel	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
	Jeruk	0,06	0,04	0,06	0,34	0,24	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mangga	0,37	0,15	0,09	0,13	0,29	0,48	0,00	0,00	0,06	0,00
	Pepaya	0,06	0,00	0,00	0,12	0,15	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pisang	1,13	3,41	0,24	0,12	2,70	4,05	0,00	0,00	0,31	0,00
	Pisang meja	0,81	1,51	0,37	0,12	1,84	3,59	0,00	0,00	0,13	0,00
	Jambu	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	Semangka	0,11	0,06	0,05	0,06	0,12	0,17	0,00	0,00	0,03	0,00
		2,63	5,21	0,83	0,92	5,39	9,37	0,00	0,00	0,54	0,00

Tabel 69. Persentase Kontribusi Kelompok dan Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Mineral (Lanjutan)

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Bahan Makanan	Kontribusi terhadap Paparan (mg/hr) Mineral (%)									
		Cu	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Iod	Zn	Se
Daging dan olahannya	Babi, daging	0,16	0,01	0,00	0,08	0,15	0,28	0,03	0,00	0,71	0,70
	Sapi, daging	0,18	0,01	0,60	0,05	0,25	0,48	0,03	0,00	2,08	0,94
	Ayam, daging	0,27	0,04	1,32	0,69	2,37	4,03	0,34	0,79	2,82	4,36
	Sosis sapi	0,02	0,01	0,08	0,06	0,04	0,08	0,19	4,24	0,07	0,00
	Bakso sapi	0,20	0,07	0,40	0,20	0,25	0,19	0,60	0,20	0,56	0,05
		0,84	0,14	2,41	1,08	3,07	5,06	1,18	5,23	6,24	6,06
Ikan dan olahannya	Ikan air tawar	0,32	0,39	0,94	4,53	2,71	4,87	0,43	0,68	2,15	0,00
	Ikan air laut	6,31	0,37	5,91	10,93	8,65	13,21	1,75	8,91	6,42	84,58
	Ikan air laut, Kering asin	0,46	1,39	1,89	18,7 ₅	6,01	3,81	7,50	2,53	2,83	0,00
	Udang	0,43	0,08	0,42	1,36	0,70	0,40	0,56	1,25	0,39	0,05
			7,51	2,23	9,16	35,58	18,07	22,28	10,24	13,37	11,79
Telur dan olahannya	Telur ayam	1,47	0,06	3,26	3,10	1,54	3,07	1,38	8,33	3,97	4,34
	Telur burung	0,02	0,00	0,07	0,04	0,01	0,03	0,01	0,24	0,06	0,10
		1,50	0,06	3,33	3,15	1,56	3,10	1,39	8,57	4,03	4,44
Susu dan olahannya	Es krim	0,06	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,03	0,02	0,02	0,00
	Susu bubuk	0,07	0,06	0,54	1,35	0,21	0,44	0,06	0,50	0,58	0,00
	Susu Formula Bayi	0,02	0,00	0,09	0,18	0,04	0,10	0,02	0,09	0,12	0,00
	Susu formula Balita	0,19	0,13	1,07	3,75	0,79	1,60	0,25	1,33	1,54	0,00
	Susu cair	0,06	0,01	0,06	0,60	0,16	0,38	0,05	0,00	0,04	0,00
	Susu kental manis	0,21	0,01	0,05	0,67	0,18	0,59	0,10	0,00	0,56	0,00
	Susu Fermentasi /yoghurt/yakult	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,62	0,24	1,84	6,64	1,45	3,20	0,50	1,95	2,88
Minyak, lemak dan olahannya	Kelapa, buah	0,27	0,29	0,19	0,03	0,39	0,45	0,00	0,00	0,11	0,05
	Minyak kelapa sawit	1,90	0,03	0,40	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,14	0,30
	Minyak kelapa	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	Santan	2,18	1,77	2,20	0,00	1,83	2,28	0,00	0,00	0,28	0,61
			4,38	2,10	2,90	0,04	2,22	2,76	0,00	0,00	0,54

Tabel 69. Persentase Kontribusi Kelompok dan Jenis Bahan Makanan terhadap Paparan Mineral (Lanjutan)

Kelompok Bahan Makanan	Jenis Bahan Makanan	Kontribusi terhadap Paparan (mg/hr) Mineral (%)									
		Cu	Mn	Fe	Ca	Mg	K	Na	Iod	Zn	Se
Gula dan konfeksi neri	Produk olahan coklat gula tebu	0,11	0,07	0,18	0,11	0,15	0,16	0,01	0,17	0,07	0,00
	Gula merah	1,26	0,18	1,60	0,31	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
	Jelly / pudding	0,23	0,11	0,26	1,04	0,26	0,94	0,21	0,10	0,02	0,01
	agar-agar	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Permen keras	0,01	0,00	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
		1,61	0,36	2,11	1,51	0,41	1,18	0,23	0,28	0,09	0,01
Minuman	Minuman berkarbonasi	0,14	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00
	Minuman beralkohol	0,14	0,00	0,03	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
	Minuman jus buah instan	0,01	0,01	0,00	0,31	0,01	0,04	0,14	0,06	0,00	0,00
	Minuman kopi bubuk	3,29	1,42	1,28	1,07	3,33	7,17	0,05	0,00	0,59	0,00
	Minuman Teh serbuk	1,06	16,99	3,13	2,01	1,24	1,55	0,00	0,33	0,38	0,00
	Minuman coklat	0,14	0,01	0,04	0,29	0,20	0,32	0,02	0,16	0,14	0,00
	Minuman isotonik	0,06	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
	Minuman air kelapa	0,07	0,08	0,00	0,05	0,05	0,21	0,01	0,00	0,02	0,00
	Minuman teh cair	0,78	0,37	0,00	0,06	0,10	0,20	0,10	0,00	0,01	0,12
	Minuman jus buah cair	0,16	0,00	0,04	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
			5,84	18,90	4,57	3,82	4,97	9,59	0,36	0,55	1,18
Bumbu	Bawang Merah	0,37	0,35	0,61	0,88	0,60	1,30	0,02	0,00	0,35	0,02
	Bawang putih	0,29	0,20	0,40	0,12	0,41	1,45	0,01	0,03	0,31	0,00
	Kaldu Sapi	0,02	0,05	0,08	0,10	0,29	0,14	9,68	5,40	0,00	0,06
	Cabai	0,94	0,69	0,50	0,39	0,59	2,15	0,00	0,00	0,47	0,00
	Kecap manis	0,08	0,27	0,35	0,42	0,30	0,59	0,99	0,00	0,02	0,00
	Garam	0,06	0,32	0,21	1,79	9,68	1,21	62,43	52,63	0,00	0,00
		1,75	1,88	2,14	3,69	11,87	6,84	73,13	58,06	1,15	0,08
Air	Air bening	34,58	0,41	23,81	6,50	4,41	0,13	1,66	0,00	1,11	0,00
	Air dalam kemasan	20,70	0,06	5,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		55,28	0,47	29,79	6,50	4,41	0,13	1,66	0,00	1,11	0,00
Persentase Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Sumber paparan kalsium di Indonesia berbeda dengan negara lain. Australia, Perancis dan Amerika Serikat melaporkan bahwa produk susu sebagai kontributor utama paparan kalsium di negara tersebut, sementara di Hongkong kontributor utamanya berasal dari sayuran⁷⁸.

3.5.3.2. Tembaga (Cu)

Air merupakan kontributor utama paparan Cu, yang menyumbangkan 55,28 % dari total paparan, dan sebanyak 34,59 % berasal dari air bening. Kelompok bahan makanan lain yang juga cukup besar kontribusinya adalah kelompok ikan dan olahannya yang menyumbangkan 7,51 % dari total paparan dengan ikan air laut (6,31 %) sebagai kontributor utamanya. Kacang polong dan olahannya merupakan kontributor paparan Cu terbesar ketiga yang menyumbangkan 6,43 % dari total paparan Cu, dengan tempe kedelai (4,55 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69). Hasil penelitian berbeda ditemukan pada TDS Australia dan Hongkong. Pada kedua studi ini sumber paparan tembaga terbesar berasal dari kelompok makanan sereal dan olahannya^{78,81}.

3.5.3.3. Zat besi (Fe)

Kontributor utama paparan zat besi berasal dari air yang menyumbangkan 29,79 % dari total paparan, sebanyak 23,81 % berasal dari air bening. Kelompok bahan makanan lain yang juga cukup besar kontribusinya adalah sereal dan produk olahannya, yang menyumbangkan 20,43 % dari total paparan dengan mi instan (8,26 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Kacang polong dan olahannya merupakan kontributor paparan zat besi terbesar ketiga yang menyumbangkan 10,28% dari total paparan zat besi dengan tempe kedelai (5,30 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

TDS Australia dan Hongkong melaporkan hasil penelitian yang berbeda. Pada kedua studi ini sumber paparan zat besi terbesar berasal dari kelompok sereal dan olahannya^{78,81}.

3.5.3.4. Iodium (I)

Bahan pangan bersumber dari laut merupakan kontributor utama paparan iodium. Bumbu merupakan kontributor utama terhadap paparan iodium, yang menyumbangkan 58,06 % dari total paparan dan sebanyak 52,63 % berasal dari garam.

Kelompok bahan makanan lain yang juga cukup besar kontribusinya adalah ikan dan olahannya, yang menyumbangkan 13,37 % dari total paparan dengan ikan air laut (8,91 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Sereal dan olahannya merupakan kontributor paparan iodium terbesar ketiga yang menyumbangkan 10,10 % dari total paparan iodium dengan mi instan (7,92 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

3.5.3.5. Kalium (K)

Ikan dan olahannya merupakan kontributor utama paparan kalium, yang menyumbangkan 22,28 % dari total paparan, dan sebanyak 13,21 % berasal dari ikan air laut. Penelitian TDS Hongkong melaporkan bahwa sayur dan olahannya merupakan kontributor utama paparan kalium dengan kontribusi sebesar 22 %⁷². Kelompok bahan makanan berikutnya yang memberikan kontribusi cukup besar adalah kelompok sereal dan olahannya, yang menyumbangkan 13,77 % dari total paparan dengan nasi (8,19 %) sebagai kontributor utama. Sayuran dan olahannya merupakan kontributor paparan kalium terbesar ketiga yang menyumbangkan 10,88 % dari total paparan kalium dengan bayam (1,35 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

3.5.3.6. Magnesium (Mg)

Sereal dan produk olahannya merupakan kontributor utama paparan magnesium, dengan kontribusi sebesar 23,88 % dari total paparan, dan sebanyak 16,47 % berasal dari beras. Hasil serupa ditemukan pada TDS Hongkong yang menyebutkan bahwa sereal merupakan kontributor utama paparan dengan kontribusi sebesar 19 %⁷⁸. Kelompok bahan makanan berikutnya yang memberikan kontribusi cukup besar adalah kelompok ikan dan olahannya, yang menyumbangkan 18,07 % dari total paparan dengan ikan air laut sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Kelompok bahan makanan ketiga adalah bumbu yang menyumbangkan 11,87 % dari total paparan magnesium, dengan garam (9,68 %) sebagai kontributor utama. Bumbu merupakan kontributor paparan magnesium terbesar ketiga yang menyumbangkan 11,87 % dari total paparan magnesium dengan garam (9,68 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

3.5.3.7. Mangan (Mn)

Serealialia dan produk olahannya merupakan kontributor utama paparan mangan, yang menyumbangkan 41,30 % dari total paparan, dan sebanyak 34,34 % adalah berasal dari beras. Hal ini sama dengan hasil TDS Australia, namun berbeda dengan hasil TDS Hongkong. Penelitian TDS Hongkong melaporkan bahwa sumber kontributor utama paparan Mn berasal dari minuman non alkohol⁷⁸. Kontributor paparan Mn terbesar berikutnya adalah kelompok minuman yang menyumbang 18,90 % dari total paparan dengan minuman teh serbuk (16,99 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Sayur dan olahannya merupakan kontributor paparan mangan terbesar ketiga yang menyumbangkan 15,94 % dari total paparan, dengan bayam (5,06 %), daun singkong (4,31 %) dan kangkung (2,85 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

3.5.3.8. Natrium (Na)

Bumbu merupakan kontributor utama paparan natrium yang menyumbangkan 73,13 % dari total paparan, dan sebanyak 62,43 % adalah berasal dari garam, serta 9,68 % dari kaldu sapi. Kelompok bahan makanan lain yang memberikan kontribusi cukup besar adalah ikan dan olahannya yang menyumbang 10,24 % dari total paparan dengan ikan laut, kering asin (7,50 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Serealialia dan produk olahannya merupakan kontributor paparan natrium terbesar ketiga yang menyumbangkan 9,46 % dari total paparan, dengan mi instan (7,28 %) sebagai kontributor utama. Natrium tidak ditemukan dalam buah-buahan dan olahannya serta minyak, lemak dan olahannya (Tabel 69).

3.5.3.9. Selenium (Se)

Ikan dan olahannya merupakan kontributor utama paparan selenium yang menyumbang 84,64 % dari total paparan selenium, dan hampir seluruhnya (84,58 %) berasal dari ikan air laut. Kontributor paparan selenium terbesar berikutnya adalah daging dan olahannya, yang menyumbangkan 6,06 % dari total paparan dengan daging ayam (4,36 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Telur dan produk olahannya merupakan kontributor paparan selenium terbesar ketiga yang menyumbangkan 4,44 % dari total paparan selenium, dimana telur ayam (4,34 %)

sebagai kontributor utama. Selenium tidak ditemukan pada kelompok umbi dan produk olahannya, buah-buahan dan olahannya, susu dan olahannya, serta air.

3.5.3.10. Zink/Seng (Zn)

Serealia dan produk olahannya merupakan kontributor utama paparan seng, yang menyumbangkan 58,44 % dari total paparan, dan sebanyak 40,64 % adalah berasal dari Nasi dan 6,33 % berasal dari mi instan. Kontributor paparan seng terbesar berikutnya adalah ikan dan olahannya, yang menyumbangkan 11,79 % dari total paparan dengan ikan air laut (6,42 %) dan ikan air laut, kering asin (2,83 %) sebagai kontributor utama pada kelompok ini. Kacang, polong dan olahannya merupakan kontributor terbesar ketiga yang menyumbangkan 6,77 % dari total paparan seng, dengan tahu (2,75 %) dan tempe kedelai (2,57 %) sebagai kontributor utama (Tabel 69).

IV. KESIMPULAN

Dari 43 jenis makanan yang dianalisis, residu pestisida ditemukan pada lima jenis bahan makanan, yaitu; sawi hijau, ketimun, tomat merah, apel dan cabai.

Paparan semua jenis residu pestisida kecuali klordan, endrin dan dikrotofos, pada rerata pengonsumsi di setiap kelompok umur berada di bawah nilai ADI, baik hasil perhitungan nilai bawah maupun nilai atas. Artinya paparan pestisida populasi Indonesia masih dibawah ambang yang dapat menimbulkan masalah kesehatan. Masih ditemukan residu pestisida jenis organoklorin dan organofosfat yang telah dilarang sejak lama.

Nilai atas paparan klordan pada 95 persentil pengonsumsi umur di bawah 12 tahun berada di atas nilai ADI. Nilai atas paparan endrin pada rerata pengonsumsi di semua kelompok umur berada di atas nilai ADI. Nilai atas paparan residu dikrotofos baik pada rerata maupun 95 persentil populasi di semua kelompok umur berada di atas nilai ADI.

Dari 227 jenis bahan makanan yang dilakukan analisis, logam berat timbal yang paling banyak ditemukan di dalam bahan makanan, kemudian kadmium, arsen dan total merkuri. Terdapat 102 jenis makanan mengandung timbal yang tersebar di seluruh kelompok makanan, dan 81 jenis makanan mengandung kadmium pada kelompok sereal, polong-polongan dan kacang, sayuran, ikan, susu, gula dan konfeksioneri, bumbu, minuman dan air.

Paparan timbal berpotensi menyebabkan 2,93 – 5,07 % anak balita memiliki IQ dibawah 70, dan memiliki resiko relatif sebesar 1.01 – 1.4 menyebabkan penyakit jantung ishemik dan strok pada orang dewasa. Kontributor utama paparan Pb adalah air minum. Paparan kadmium pada rerata dan 95 persentil populasi masih di bawah standar kesehatan. Paparan arsen pada rerata pengonsumsi masih dibawah nilai *Bench Mark Dose Level* yang menyebabkan peningkatan 0,5% kejadian kanker paru. Paparan total merkuri dan metil merkuri pada rerata populasi masih dibawah standar

kesehatan, namun untuk metil merkuri ada potensi melebihi karena ketidakpastian pengukuran yang cukup tinggi.

Bahan tambahan pangan (BTP) dianalisis pada 56 jenis bahan makanan olahan. Kontributor BTP sakarin adalah es krim dan minuman teh cair instan. Kontributor BTP siklamat adalah produk ekstrusi, roti, krupuk aci, es krim, jus buah serbuk, minuman coklat, minuman teh, dan jus buah cair jus buah instan. Kontributor BTP benzoat adalah roti, mi instan, mi basah, tahu, bakso daging sapi, kecap manis, minuman teh, jus buah cair dan minuman berkarbonasi. Makanan olahan yang merupakan kontributor BTP tartrazin adalah produk ekstrusi, mi instan, wafer, mi basah, mi kering, biskuit, kerupuk aci, tahu, susu bubuk dan jus buah serbuk.

Paparan BTP sakarin, siklamat, benzoat dan tartrazin pada rerata dan 95 persentil pengonsumsi masih dibawah standar kesehatan. Perlu dicermati bahan makanan yang tidak dianjurkan menggunakan BTP, namun terdeteksi di dalam analisis.

Dari 88 jenis makanan yang termasuk dalam 8 kelompok makanan yang diperiksa terdapat 24 jenis sampel yang mengandung aflatoksin B1, 8 jenis makanan mengandung aflatoksin B2 dan G1, dan 3 jenis sampel yang mengandung aflatoksin G2. Tiga diantara jenis makanan tersebut yaitu nasi jagung, kacang tanah dan kacang hijau mengandung aflatoksin B1, B2, G1 dan G2. Kelompok bahan makanan yang terkontaminasi aflatoksin ini adalah: (a) Kelompok sereal, terutama jagung atau produk olahannya, produk ekstrusi, serta tepung terigu dan produk olahannya seperti mi dan wafer; (b) Kelompok polong-polongan dan kacang seperti kacang tanah, kacang hijau dan produk olahan kedelai seperti tempe dan tahu; (c) Kelompok bumbu, dimana jenis bahan makanan yang terkontaminasi adalah bawang merah dan cabai; (d) olahan umbi-umbian yaitu kerupuk aci; dan (e) Kelompok minuman, yaitu minuman coklat. Aflatoksin B1 maupun aflatoksin yang lain (B2, G1 dan G2) tidak ditemukan pada kelompok daging, minyak atau lemak dan produk olahannya. Dari 11 jenis makanan yang termasuk dalam kelompok susu dan produk olahannya terdapat 4 jenis bahan makanan yang mengandung aflatoksin M1, yaitu susu dan produk olahannya. Sampai saat ini belum ada batasan paparan yang dapat ditoleransi, namun aflatoksin memiliki potensi sebagai pencetus kanker.

aflatoksin berpotensi menyebabkan 0,29 – 1,90 kejadian kanker hati setiap 100.000 populasi Indonesia. Makanan sebagai kontributor utama paparan aflatoksin B1, B2, G1 dan G2 adalah pada kelompok sereal dan olahannya, dan kelompok polong-polongan, kacang dan olahannya.

Paparan mineral pada rerata pengonsumsi di setiap kelompok usia masih dibawah batas atas yang tidak menyebabkan dampak kesehatan, namun paparan magnesium, natrium dan iodium pada 95 persentil pengonsumsi di semua kelompok umur sudah melebihi batas atas yang diperbolehkan. Paparan tembaga, magnesium dan selenium pada rerata pengonsumsi masih dibawah batas atas yang tidak menyebabkan dampak kesehatan, namun paparannya pada 95 persentil pengonsumsi sudah melebihi batas atas.

Makanan kontributor utama paparan tembaga adalah air minum, sedangkan kontributor utama magnesium dan selenium adalah ikan air laut. Paparan kalsium, besi dan mangan pada rerata pengonsumsi masih di bawah batas atas kesehatan, sehingga dalam batas aman. Paparan iodium dan natrium pada rerata pengonsumsi berada di bawah batas atas, namun paparannya pada 95 persentil pengonsumsi telah melebihi batas tertinggi yang diizinkan. Makanan kontributor utama paparan iodium dan natrium adalah garam.

V. SARAN

1. Penyehatan dan pengendalian lingkungan untuk mengurangi cemaran logam berat dan aflatoksin perlu dilakukan lebih intensif. Untuk mengurangi tingkat paparan timbal perlu upaya yang ditujukan pada kontributor utama cemaran, yaitu air minum, antara lain dengan penggunaan pipa air minum berkualitas baik untuk keperluan aliran bahan baku air minum ataupun di industri-industri pengolahan air minum dalam kemasan. Untuk mengurangi cemaran aflatoksin perlu dilakukan perbaikan proses pasca panen terutama pada bahan makanan segar dan olahan jagung dan kacang-kacangan.
2. Perlu ada upaya pengurangan konsumsi natrium pada semua kelompok umur dengan cara mengurangi konsumsi garam di rumah tangga. Di samping itu perlu dilakukan sosialisasi tentang bahaya konsumsi natrium yang berlebihan.
3. Suplementasi iodium saat ini harus ditargetkan untuk kelompok yang membutuhkan, sudah kurang tepat menggunakan program fortifikasi garam yang dikonsumsi masyarakat luas, agar tidak menimbulkan konsumsi iodium yang berlebihan pada kelompok yang sudah cukup.

PENGARAH

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan
Sekretaris Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan
Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan
Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya dan Pelayanan Kesehatan
Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Upaya Kesehatan Masyarakat
Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Humaniora dan Manajemen Kesehatan
Kepala Balai Besar Litbang Tanaman Obat dan Obat Tradisional
Kepala Balai Besar Litbang Vektor dan Reservoir Penyakit

TIM PENULIS

Dr. Siswanto, MHP., DTM.
Dr. Ir. Dewi Permaesih, M.Kes
Drs. Almasyhuri, Apt., M.Si
Dr. Nelis Imanningsih, STP., M.Sc
Nunung Nurjanah, SP., M.Si
Dr. Efriwati, M.Si
Dra. Heru Yuniati, M.Si
Fifi Retiaty, SKM
Ema Sahara, S.Si
Dra. Asri Sulistijowati S, Apt., M.Sc
Ade Nugraheni Herawati, STP
Dra. Dian Sundari
Rousmala Dewi, SP., M.Si
dr. Dianne Adha, M.Biomed
Dra. Ani Isnawati, Apt., M.Kes
Dra. Mariana Raini, Apt., M.Kes
Dra. Sukmayati Alegantina
Rosa Adelina, Apt., S.Si., M.Si
Arifayu Addiena Kurniati, S.Si
Dra. Daroham Mutiatikum, Apt., M.Si
Maratu Soleha, Apt., M.Biotech
Nanang Yunanto, Apt., M.Si
N. Nia Kurniawati, A.Md
Yusma, S.Si
Laela Salamah
Enday Yunidar
Winarsih, SKM
Nurul Aini, Apt
Kelik Muhammad Arifin, S.Sos
Dana Iskandar
Ariben Andika
drh. Rita Marleta Dewi, M.Kes
Indri Rooslamati, S.Si., Apt., M.Sc
Max Bobby Hutabarat, SE
Dr. Dwi Hapsari Tjandrarini, SKM., M.Kes
Antonius Yudi Kristanto, S.Sos., MKM

EDITOR

Prof. Dr. Nuri Andarwulan, M.Si
Atmarita, MPH., Dr.PH

LAYOUT

Joni Pahridi, SE., MIP.
Ahdiyati Firmana, S.Sn
Eka Sri Setyaningsih.
Feby Ariansyah, SKM