

ESTIMASI PAPARAN BROMAT DARI KONSUMSI AIR MINUM DALAM KEMASAN (AMDK) YANG BEREDAR DI WILAYAH BOGOR SECARA PROBABILISTIK

YANI HANDAYANI



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Estimasi Paparan Bromat Dari Konsumsi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Yang Beredar di Wilayah Bogor Secara Probabilistik” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Yani Handayani
F2502231004

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

YANI HANDAYANI. Estimasi Paparan Bromat Dari Konsumsi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Yang Beredar di Wilayah Bogor Secara Probabilistik. Dibimbing oleh PUSPO EDI GIRIWONO dan DIAN HERAWATI.

Air minum dalam kemasan (AMDK) merupakan sumber paparan bromat, yaitu hasil samping desinfeksi ozonisasi yang memiliki implikasi pada gangguan kesehatan dan berpotensi karsinogenik. Penelitian dilakukan untuk mengkarakterisasi risiko bromat melalui konsumsi AMDK. Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap, yakni: mengukur konsentrasi bromat pada AMDK yang beredar di wilayah Bogor, memperkirakan tingkat paparan, dan mengkarakterisasi risikonya. Konsentrasi bromat pada AMDK dianalisis menggunakan metode kromatografi ion sesuai dengan acuan SNI 3554:2015. Paparan bromat (EDI) mempertimbangkan data konsumsi individu dari laporan survei konsumsi makanan individu tahun 2014. Paparan diestimasi menggunakan metode probabilistik yang memodelkan distribusi probabilitas dari ketiga parameter konsentrasi bromat, tingkat konsumsi dan berat badan individu. Tahapan terakhir adalah mengkarakterisasi risiko bromat dengan nilai risiko non kanker (HQ) dan nilai risiko kanker (CR). HQ dihitung dengan membandingkan EDI dengan TDI, sedangkan nilai CR dihitung dengan mengalikan nilai EDI dengan *slope factor* (SF).

Konsentrasi bromat pada sampel AMDK beredar di Bogor terdistribusi dari tidak terdeteksi ($<0,4 \mu\text{g/L}$) hingga $40 \mu\text{g/L}$, dengan rata-rata sebesar $6,88 \pm 8,88 \mu\text{g/L}$ ($n=37$ sampel). Sementara rata-rata konsentrasi bromat dari sampel ritel besar ($n=20$ sampel) yang digunakan pada perhitungan paparan bromat pada populasi di Indonesia adalah sebesar $9,28 \pm 10,07 \mu\text{g/L}$. Rata-rata konsumsi air kemasan untuk kelompok semua usia sebesar $776 \pm 712 \text{ mL/orang/hari}$ (Bogor) dan $754 \pm 648 \text{ mL/orang/hari}$ (Indonesia). Kecukupan air minum per orang per hari sesuai rekomendasi kementerian kesehatan belum terpenuhi pada mayoritas populasi di Bogor maupun di Indonesia, melainkan baru terpenuhi pada 5% populasi pada nilai persentil-95, yaitu: $2.317 \text{ mL/orang/hari}$ (Bogor) dan $2.000 \text{ mL/orang/hari}$ (Indonesia).

Estimasi paparan bromat untuk kelompok semua usia pada populasi di Bogor dan Indonesia, rata-ratanya adalah $0,1085 \pm 0,0484 \mu\text{g/kg bb/hari}$ dan $0,1492 \pm 0,2820 \mu\text{g/kg bb/hari}$. Sementara nilai persentil-95 untuk kelompok semua usia adalah $0,4044 \mu\text{g/kg bb/hari}$ (Bogor) dan $0,5495 \mu\text{g/kg bb/hari}$ (Indonesia). Nilai paparan P95 tertinggi baik pada populasi di Bogor maupun di Indonesia ditemukan pada kelompok usia 6-59 bulan, yaitu: $0,7286 \mu\text{g/kg bb/hari}$ dan $0,9264 \mu\text{g/kg bb/hari}$. Nilai risiko non kanker (HQ) pada level rata-rata maupun persentil-95 untuk populasi Bogor dan Indonesia pada masing-masing kelompok usia secara keseluruhan masih kurang dari 1. Hal ini dapat diartikan tidak adanya potensi risiko non kanker paparan bromat dari konsumsi AMDK di wilayah Bogor maupun Indonesia. Sementara hasil perhitungan risiko kanker (CR) yang menunjukkan peluang peningkatan kejadian kanker (kelompok semua usia) pada paparan tinggi (persentil-95) adalah 1 orang dalam 100.000 populasi (Bogor) dan 2 orang dalam 100.000 populasi (Indonesia).

Kata kunci: Air minum, bromat, probabilistik, risiko

SUMMARY

YANI HANDAYANI. Probabilistic Estimation of Bromate Exposure from the Consumption of Bottled Drinking Water Distributed in the Bogor Region. Supervised by PUSPO EDI GIRIWONO dan DIAN HERAWATI.

Bottled drinking water is a source of bromate exposure, a disinfection by-product of ozonation that has health implications and is potentially carcinogenic. This study was conducted to characterize the risk of bromate exposure through the consumption of bottled drinking water. The study was carried out in three stages: measuring bromate concentrations in bottled drinking water circulating in the Bogor region, estimating exposure levels, and characterizing the associated risks. Bromate concentrations were analyzed using ion chromatography following SNI 3554:2015 standards. Bromate exposure (EDI) was calculated using individual consumption data from the 2014 Individual Food Consumption Survey. Exposure was estimated using a probabilistic method that models the probability distribution of the three parameters: bromate concentration, consumption level, and individual body weight. The final step is to characterize the risk of bromate using the non-cancer risk value (HQ) and the cancer risk value (CR). HQ is calculated by comparing EDI with TDI, while CR is calculated by multiplying EDI by the slope factor (SF).

Bromate concentrations in bottled drinking water samples circulating in Bogor ranged from undetectable ($<0,4 \mu\text{g/L}$) to $40 \mu\text{g/L}$, with an average of $6,88 \pm 8,88 \mu\text{g/L}$ ($n=37$ samples). Meanwhile, the average bromate concentration from large retail samples ($n=20$ samples) which were used to estimate bromate exposure in the Indonesian population, was $9,28 \pm 10,07 \mu\text{g/L}$. The average consumption of bottled water for all age groups was $776 \pm 712 \text{ mL/person/day}$ (Bogor) and $754 \pm 648 \text{ mL/person/day}$ (Indonesia). The recommended daily water intake per person as per the Ministry of Health's guidelines has not been met by the majority of the population in Bogor or Indonesia, but is only met by 5% of the population at the 95th percentile, namely: $2.317 \text{ mL/person/day}$ (Bogor) and $2.000 \text{ mL/person/day}$ (Indonesia).

The estimated bromate exposure for all age groups in the population of Bogor and Indonesia was on average $0,1085 \pm 0,0484 \mu\text{g/kg BW/day}$ and $0,1492 \pm 0,2820 \mu\text{g/kg bw/day}$, respectively. The 95th percentile values for all age groups were $0,4044 \mu\text{g/kg bw/day}$ (Bogor) and $0,5495 \mu\text{g/kg bw/day}$ (Indonesia). The highest P95 exposure values in both Bogor and Indonesia were found in the 6–59-month age group, namely $0,7286 \mu\text{g/kg bw/day}$ and $0,9264 \mu\text{g/kg bw/day}$. The non-cancer risk (HQ) values at both the average level and the 95th percentile for the Bogor and Indonesia across all age groups remain below 1. This suggests that there is no potential non-cancer risk from bromate exposure through bottled drinking water consumption in either Bogor or Indonesia. Meanwhile, the estimated cancer risk (CR), indicating the probability of cancer occurrence in the general population under high exposure (95th percentile), was 1 cases per 100.000 people (Bogor) and 2 cases per 100.000 people (Indonesia).

Keyword: *Bromate, drinking water, exposure, risk*

ESTIMASI PAPARAN BROMAT DARI KONSUMSI AIR MINUM DALAM KEMASAN (AMDK) YANG BEREDAR DI WILAYAH BOGOR SECARA PROBABILISTIK

YANI HANDAYANI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Teknologi Pangan

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Estimasi Paparan Bromat dari Konsumsi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang Beredar di Wilayah Bogor Secara Probabilistik

Nama : Yani Handayani
NIM : F2502231004

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Puspo Edi Giriwono, S.T.P., M.Agr

Pembimbing 2:

Dr. Dian Herawati, S.T.P., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Nur Wulandari, S.T.P, M.Si
NIP. 19741003 200003 2 001

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP 196105021986031002

Tanggal Ujian: 14 Agustus 2025

Tanggal Lulus: 15 Agustus 2025

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2024 sampai bulan Maret 2025 ini ialah risiko paparan bromat, dengan judul “Estimasi Risiko Paparan Bromat dari Konsumsi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Yang Beredar di Wilayah Bogor Secara Probabilistik”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Bapak Dr. Puspo Edi Giriwono, S.T.P., M.Agr dan Ibu Dr. Dian Herawati, S.T.P., M.Si yang telah membimbing, memberi arahan, saran dan masukan dalam penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pimpinan ujian tesis Dr. Dias Indrasti, S.T.P., M.Sc dan penguji luar komisi Dr. Diah Chandra Aryani S.TP., M.Sc. yang telah memberikan saran perbaikan pada tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Badan Pengawas Obat dan Makanan yang telah memberikan beasiswa pada Program Studi Magister ini, Direktur Registrasi Pangan Olahan serta seluruh staf yang telah membantu secara moril dan materil. Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh Ibu dan Bapak dosen, serta staff di program studi Teknologi Pangan. Terima kasih tak terhingga disampaikan kepada keluarga tercinta Bapak, Ibu, suami, dan anak-anak, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini. Kepada keluarga dan sahabat TPN 19 (2023), khususnya tim WAG ontime+CL terima kasih atas sharing informasi, kebersamaan, dukungan, hiburan, dan doa yang diberikan selama ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Yani Handayani

DAFTAR ISI

RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Proses Desinfeksi Air Minum Dalam Kemasan	3
2.2 Pembentukan Bromat Pada Proses Ozonasi	4
2.3 Bromida dan Bromat	5
2.4 Prevalensi Bromat pada Air Minum dan Sumber Air Baku	6
2.5 Dampak Kesehatan dari Paparan Bromat	7
2.6 Studi Diet Total dan Survei Konsumsi Makanan Individu	7
2.7 Analisis Risiko	8
III METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Tahapan Penelitian	10
3.3.1 Pengujian Bromat	11
3.3.2 Perhitungan Paparan Bromat	11
3.3.3 Karakterisasi Risiko Bromat	11
3.4 Prosedur Kerja	11
3.4.1 Data Izin Edar produk AMDK	11
3.4.2 Pengambilan Sampel	11
3.4.3 Analisis Konsentrasi Bromat	11
3.4.4 Perhitungan Paparan Bromat	12
3.4.5 Karakterisasi Risiko Bromat	12
3.5 Modeling dan Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Identifikasi Jenis Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)	14
4.2 Konsentrasi Bromat pada AMDK	14
4.3 Data Konsumsi Air Kemasan	15
4.3.1 Responden Bogor	15
4.3.2 Responden Indonesia	16
4.4 Tingkat Paparan Bromat	17
4.4.1 Distribusi probabilitas konsentrasi bromat	18
4.4.2 Distribusi berat badan dan jumlah konsumsi	19
4.4.3 Hasil perhitungan paparan bromat	21

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

4.5 Karakterisasi Risiko	23
4.5.1 Karakterisasi Risiko Nonkanker	23
4.5.2 Karakterisasi Risiko Kanker	24
V SIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 Simpulan	26
5.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
RIWAYAT HIDUP	30

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.