

RISIKO PAPARAN FORMALDEHIDA MELALUI KONSUMSI PANGAN SEGAR DI INDONESIA SECARA DETERMINISTIK DAN PROBABILISTIK

MAS ANDANG RAHMATULLAH



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan 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 mengumumkan 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 “Risiko Paparan Formaldehida melalui Konsumsi Pangan Segar di Indonesia secara Deterministik dan 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, Juli 2026

Mas Andang Rahmatullah
F2502241013



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

MAS ANDANG RAHMATULLAH. Risiko Paparan Formaldehida melalui Konsumsi Pangan Segar di Indonesia secara Deterministik dan Probabilistik. Dibimbing oleh FERI KUSNANDAR dan DIAH CHANDRA ARYANI.

Formaldehida merupakan senyawa aldehida sederhana yang dapat terbentuk secara alami pada pangan segar melalui proses metabolisme maupun dekomposisi enzimatik. Namun demikian, formaldehida sering disalahgunakan dalam bentuk formalin sebagai bahan pengawet ilegal. Kondisi ini menimbulkan tantangan dalam pengawasan keamanan pangan karena metode pengujian yang umum digunakan belum mampu membedakan formaldehida alami dengan penambahan formalin. Selain itu, Indonesia belum memiliki data yang komprehensif mengenai kadar formaldehida pada berbagai pangan segar sebagai dasar interpretasi hasil pengujian dan pengambilan keputusan dalam pengawasan.

Selain menimbulkan tantangan dalam pengawasan, formaldehida pada pangan segar juga berpotensi menjadi sumber paparan bagi masyarakat. Namun, informasi mengenai tingkat paparan dan risiko kesehatannya pada tingkat nasional masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi formaldehida pada pangan segar asal tumbuhan (PSAT) dan hewan (PSAH) di Indonesia, menganalisis tingkat paparan berdasarkan konsumsi nasional, serta melakukan karakterisasi risiko secara deterministik dan probabilistik.

Sebanyak 264 sampel yang terdiri atas 24 komoditas PSAT dan 21 komoditas PSAH dianalisis menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan reagen asam kromotropat. Pada PSAH dilakukan juga analisis *total volatile base nitrogen* (TVB-N) untuk mendukung interpretasi formaldehida. Perhitungan paparan dan karakterisasi risiko dilakukan dengan data konsumsi nasional dari Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) 2024 untuk pendekatan deterministik serta Survei Konsumsi Makanan Individu (SKMI) 2014 untuk pendekatan probabilistik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar formaldehida pada PSAT berkisar dari di bawah batas deteksi (LOD) hingga 155,00 mg/kg, sedangkan pada PSAH berkisar <LOD hingga 4,08 mg/kg. Analisis TVB-N menunjukkan bahwa formaldehida pada PSAH lebih konsisten dengan proses metabolisme dan degradasi alami dibandingkan indikasi penambahan formalin. Penilaian secara deterministik menghasilkan *estimated daily intake* sebesar 0,00328 mg/kg BB/hari pada tingkat nasional, sedangkan pada tingkat provinsi berkisar dari 0,002078 hingga 0,008762 mg/kg BB/hari. Analisis probabilistik menunjukkan rata-rata paparan $0,0057 \pm 0,0186$ mg/kg BB/hari pada seluruh kelompok usia. Nilai paparan tersebut jauh lebih rendah dibandingkan nilai *tolerable daily intake* sebesar 0,15 mg/kg BB/hari.

Karakterisasi risiko nonkanker menunjukkan bahwa seluruh nilai *hazard quotient* berada di bawah 1, yang mengindikasikan bahwa paparan formaldehida melalui konsumsi pangan segar tidak menimbulkan risiko kesehatan non kanker yang signifikan. Sementara itu, nilai *cancer risk* berada pada rentang yang dapat diterima hingga sedikit melebihi batas atas rentang referensi di beberapa kelompok daerah dan usia. Namun demikian, estimasi tersebut didasarkan pada pendekatan konservatif tanpa mempertimbangkan potensi penurunan kadar formaldehida selama proses pengolahan pangan, sehingga risiko aktual dapat lebih rendah.

Kata kunci: formaldehida, Indonesia, kajian risiko, konsumsi, pangan segar



SUMMARY

MAS ANDANG RAHMATULLAH. Deterministic and Probabilistic Risk Assessment of Dietary Exposure to Formaldehyde through Fresh Food Consumption in Indonesia. Supervised by FERI KUSNANDAR and DIAH CHANDRA ARYANI.

Formaldehyde is a simple aldehyde compound that can occur naturally in fresh foods through metabolic pathways and enzymatic degradation processes. However, formaldehyde is also frequently misused in the form of formalin as an illegal preservative. This situation poses a challenge to food safety surveillance because commonly used analytical methods are unable to distinguish naturally occurring formaldehyde from formalin intentionally added to food. In addition, Indonesia currently lacks comprehensive data on formaldehyde levels in various fresh foods that could serve as a scientific basis for interpreting analytical results and supporting surveillance-related decision-making.

Besides posing challenges to food safety surveillance, formaldehyde in fresh foods may also contribute to dietary exposure among population. However, information regarding exposure levels and associated health risks at the national level remains limited. Therefore, this study aimed to determine the concentrations of formaldehyde in fresh foods of plant origin (FFPO) and animal origin (FFAO) in Indonesia, estimate dietary exposure based on national consumption, conduct deterministic and probabilistic risk characterization.

A total of 264 samples representing 24 FFPO commodities and 21 FFAO commodities were analyzed using a UV-Vis spectrophotometric method with chromotropic acid reagent. For FFAO, total volatile base nitrogen (TVB-N) analysis was also conducted to support the interpretation of formaldehyde occurrence. Exposure assessment and risk characterization were performed using national food consumption data from 2024 National Socio-Economic Survey for deterministic approach and Individual Food Consumption Survey for probabilistic approach.

Formaldehyde concentrations in FFPO ranged from below limit of detection (LOD) to 155.00 mg/kg, while in FFAO ranged from <LOD to 4.08 mg/kg. TVB-N analysis indicated that occurrence of formaldehyde in FFAO was more consistent with natural metabolic and degradation processes than illegal addition of formalin. Deterministic exposure assessment estimated a national estimated daily intake (EDI) of 0.00328 mg/kg bw/day, while provincial exposure levels ranged from 0.002078 to 0.008762 mg/kg bw/day. Probabilistic assessment yielded a mean exposure of 0.0057 ± 0.0186 mg/kg bw/day across all age groups. These exposure levels were substantially lower than the tolerable daily intake of 0.15 mg/kg bw/day.

Non-carcinogenic risk characterization showed that all hazard quotient values were below 1, indicating that formaldehyde exposure through fresh food consumption is unlikely to pose significant non-carcinogenic risks. Meanwhile, cancer risk estimates were generally within acceptable risk range, although slightly exceeding upper reference limit in certain age and regional groups. Nevertheless, these estimates were based on a conservative assessment approach that did not account for potential reductions during food preparation and processing. Therefore, the actual risk is likely to be lower than the estimated values.

Keywords: dietary exposure, formaldehyde, fresh foods, Indonesia, risk assessment



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, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RISIKO PAPARAN FORMALDEHIDA MELALUI KONSUMSI PANGAN SEGAR DI INDONESIA SECARA DETERMINISTIK DAN PROBABILISTIK

MAS ANDANG RAHMATULLAH

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

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M.S.
2. Dr. Dian Herawati, S.T.P., M.Si.



Judul Tesis : Risiko Paparan Formaldehida melalui Konsumsi Pangan Segar di
Indonesia secara Deterministik dan Probabilistik

Nama : Mas Andang Rahmatullah

NIM : F2502241013

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Feri Kusnandar, M.Sc.

Pembimbing 2:

Dr. Diah Chandra Aryani, S.T.P., M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

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

NIP.197501112007012001

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:

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

NIP.196105021986031002

Tanggal Ujian:

1 Juli 2026

Tanggal Lulus:

6 Juli 2026



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Risiko Paparan Formaldehida melalui Konsumsi Pangan Segar di Indonesia secara Deterministik dan Probabilistik”. Penelitian ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan syarat dalam menyelesaikan studi di Program Studi Magister Teknologi Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Teknologi, Institut Pertanian Bogor. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran ilmiah mengenai keberadaan dan tingkat paparan formaldehida melalui konsumsi pangan segar asal tumbuhan dan hewan di Indonesia, serta mengevaluasi implikasi risikonya terhadap kesehatan berdasarkan pendekatan penilaian risiko berbasis data konsumsi nasional dan nilai acuan toksikologi.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan selama proses penyusunan penelitian ini, antara lain:

1. Prof. Dr. Ir. Feri Kusnandar, M.Sc., selaku Ketua Komisi Pembimbing, atas arahan, motivasi, dan masukan yang sangat berarti selama proses penelitian ini berlangsung.
2. Dr. Diah Chandra Aryani, S.T.P., M.Sc., selaku Komisi Pembimbing, atas bimbingan, evaluasi, dan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini.
3. Dr. Dian Herawati, S.T.P., M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pangan, atas persetujuan dan dukungan terhadap pelaksanaan penelitian.
4. Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr, selaku Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi, atas kesempatan yang diberikan dalam pelaksanaan studi ini.
5. Prof. Dr. Ir. Winiati Pudji Rahayu, M.S., selaku Penguji Ujian Tesis, atas saran, masukan, kritik, dan evaluasi konstruktif dalam penyempurnaan tesis ini.
6. Yusra Egayanti, S.Si., Apt., M.P., selaku Direktur Perumusan Standar Keamanan dan Mutu Pangan atas persetujuan dan dukungan terhadap studi magister ini.
7. Seluruh dosen dan staf pengajar di Program Studi Teknologi Pangan yang telah membekali penulis dengan ilmu dan wawasan selama masa studi.

Ucapan terima kasih yang mendalam juga penulis sampaikan kepada keluarga tercinta, Ibu Sadiyah dan Bapak Mas Murtadho Murdiawan (Alm.) sebagai kedua orang tua penulis, kakak, saudara, mentor dan rekan penulis dari Badan Pangan Nasional serta Prodi Magister Teknologi Pangan Angkatan 20, yang telah memberikan dukungan secara penuh, selalu memberikan doa, dorongan moral, dan semangat yang tiada henti. Penulis menyadari bahwa banyak pihak lain yang turut berjasa namun tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Mas Andang Rahmatullah



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Klasifikasi Pangan Segar di Indonesia	4
2.2 Formaldehida pada Pangan Segar	5
2.3 Penyalahgunaan Formalin sebagai Pengawet Pangan Segar	7
2.4 Regulasi Formaldehida	8
2.5 Metode Analisis Formaldehida pada Pangan	9
2.6 Analisis Risiko	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Tahapan Penelitian	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Kadar Formaldehida pada PSAT	20
4.2 Kadar Formaldehida pada PSAH	23
4.3 Kadar TVB-N pada PSAH	27
4.4 Konsumsi PSAT dan PSAH di Indonesia	28
4.5 Tingkat Paparan Formaldehida Secara Deterministik	31
4.6 Karakterisasi Risiko Paparan Formaldehida Secara Deterministik	32
4.7 Tingkat Paparan Formaldehida Secara Probabilistik	34
4.8 Karakterisasi Risiko Paparan Formaldehida Secara Probabilistik	36

V SIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Simpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	50

DAFTAR TABEL

1 Klasifikasi pangan segar	4
2 Daftar pangan segar yang mengandung formaldehida alami	6
3 Provinsi pengambilan sampel PSAT	13
4 Lokasi pengambilan sampel PSAT	14
5 Jenis sampel PSAT	14
6 Provinsi pengambilan sampel PSAH	15
7 Lokasi pengambilan sampel PSAH	15
8 Jenis sampel PSAH	16
9 Kadar formaldehida pada PSAT	20
10 Hasil uji <i>Dunn</i> perbandingan kadar berdasarkan asal provinsi PSAT	22
11 Hasil uji <i>Dunn</i> perbandingan kadar berdasarkan titik rantai pasok	23
12 Kadar formaldehida pada PSAH	24
13 Hasil uji <i>Dunn</i> perbandingan kadar berdasarkan asal provinsi PSAH	26
14 Kadar TVB-N pada PSAH	27
15 Konsumsi pangan segar yang dianalisis formaldehida	29
16 Berat badan (kg) dan tingkat konsumsi pangan segar di Indonesia	30
17 Komoditas pangan segar dengan kontribusi nilai EDI terbesar	31
18 Distribusi probabilistik konsentrasi formaldehida	34
19 Hasil probabilistik berat badan di Indonesia	35
20 Hasil probabilistik jumlah konsumsi di Indonesia	35
21 Paparan formaldehida dari konsumsi pangan segar per kelompok usia	36
22 Tingkat risiko nonkanker (HQ) per kelompok usia di Indonesia	36
23 Tingkat risiko kanker (CR) per kelompok usia di Indonesia	37

DAFTAR GAMBAR

1 Pembentukan formaldehida alami pada pangan segar	6
2 Reaksi formaldehida dengan asam kromotropat	10
3 Diagram alir penelitian	13
4 Distribusi kadar formaldehida berdasarkan asal provinsi PSAT	21
5 Distribusi kadar formaldehida berdasarkan titik rantai pasok	22
6 Distribusi kadar formaldehida berdasarkan asal provinsi PSAH	25
7 Distribusi kadar formaldehida berdasarkan asal pengambilan PSAH	26
8 Distribusi nilai EDI pada tingkat regional di Indonesia	32
9 Distribusi nilai HQ pada tingkat regional di Indonesia	33
10 Distribusi nilai CR pada tingkat regional di Indonesia	33

DAFTAR LAMPIRAN

1 Konversi kadar formaldehida shiitake kering ke bentuk segarnya	44
2 Berat badan dan tingkat konsumsi per komoditas	44
3 Asumsi dan parameter perhitungan dengan pendekatan deterministik	45
4 Pemetaan komoditas uji lab dan kategori konsumsi	45
5 Kontribusi jenis pangan terhadap total paparan	46
6 Perhitungan EDI, HQ, CR nasional per komoditas	47
7 Perhitungan EDI, HQ, CR per provinsi	48
8 Parameter simulasi dalam perhitungan paparan formaldehida	49