



META-ANALISIS PROFIL ANTRAKUINON DALAM TEH: VARIABILITAS, PREKURSOR, DAN MITIGASI KEAMANAN PANGAN

SITI SARAH HUMAIRA



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

- 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.



@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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Meta-Analisis Profil Antrakuinon dalam Teh: Variabilitas, Prekursor, dan Mitigasi Keamanan Pangan” 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 skripsi ini.

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

Bogor, April 2026

Siti Sarah Humaira
F2401221067

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.



ABSTRAK

SITI SARAH HUMAIRA. Meta-Analisis Profil Antrakuinon dalam Teh: Variabilitas, Prekursor, dan Mitigasi Keamanan Pangan. Dibimbing oleh SLAMET BUDIJANTO, SUTRISNO KOSWARA, dan INAS SUCI RAHMAWATI.

Antrakuinon (AQ) merupakan kontaminan pada teh yang dibatasi sebesar 0,02 mg/kg oleh Uni Eropa karena memiliki potensi karsinogenik. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan data kadar antrakuinon pada teh serta menganalisis variabilitas, faktor pembentuk, dan implikasinya terhadap keamanan pangan melalui pendekatan meta-analisis. Sebanyak 1759 artikel diidentifikasi dan diseleksi menggunakan kriteria eksklusi dan inklusi, menghasilkan 9 artikel dengan 61 data yang dianalisis menggunakan model *random-effects* dan ukuran efek *raw mean difference* (RMD) terhadap batas maksimum residu 0,02 mg/kg oleh Uni Eropa. Hasil menunjukkan nilai *overall effect size* sebesar 0,004 mg/kg (95% CI -0,004 hingga 0,013) dengan heterogenitas sangat tinggi ($I^2 = 100\%$). Analisis *subgroup* mengindikasikan bahwa variasi kadar AQ dipengaruhi oleh jenis teh, negara asal, dan bahan bakar pengeringan, dengan kecenderungan kadar lebih tinggi pada sistem berbasis biomassa dan proses oksidatif intensif, meskipun meta-regresi tidak menunjukkan pengaruh signifikan secara statistik. Secara mekanistik, pembentukan AQ terjadi melalui deposisi eksternal antrasena hasil pembakaran serta reaksi internal antara hidrokuinon dan krotonaldehid selama pemanasan. Hasil ini menunjukkan bahwa AQ termasuk kontaminan berbasis proses, sehingga pengendalian kondisi pengeringan, sumber panas, dan lingkungan oksidatif menjadi aspek penting dalam upaya pengelolaan keamanan pangan teh.

Kata kunci: antrakuinon, keamanan pangan, kontaminan proses, meta-analisis, teh

@HaryantiPratiwi

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.

ABSTRACT

SITI SARAH HUMAIRA. Meta-Analysis of Anthraquinone in Tea: Variability, Precursors, and Food Safety Mitigation. SLAMET BUDIJANTO, SUTRISNO KOSWARA, and INAS SUCI RAHMAWATI.

Anthraquinone (AQ) is a tea contaminant regulated by the European Union at a maximum residue limit of 0.02 mg/kg due to its potential carcinogenicity. This study aimed to integrate data on AQ levels in tea and to examine their variability, formation factors, and food safety implications using a meta-analysis approach. A total of 1,759 articles were identified and screened based on predefined inclusion and exclusion criteria, resulting in 9 eligible studies comprising 61 datasets. Data were analyzed using a random-effects model with Raw Mean Difference (RMD) as the effect size relative to the EU maximum residue limit. The overall effect size was 0.004 mg/kg (95% CI -0.004 to 0.013), with very high heterogeneity ($I^2 = 100\%$). Subgroup analyses indicated variability associated with tea type, country of origin, and drying fuel, with higher AQ levels observed in biomass-based drying systems and intensive oxidative processing, although meta-regression did not reveal statistically significant effects. Mechanistically, AQ formation involves external deposition of combustion-derived anthracene and internal reactions between hydroquinone and crotonaldehyde during thermal processing. These findings indicate that AQ is a process-induced contaminant, underscoring the importance of controlling drying conditions and heat sources to support tea food safety.

Keywords: anthraquinone, food safety, meta-analysis, process-induced contaminant, tea

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 2026¹
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 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.



META-ANALISIS PROFIL ANTRAKUINON DALAM TEH: VARIABILITAS, PREKURSOR, DAN MITIGASI KEAMANAN PANGAN

SITI SARAH HUMAIRA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknologi Pangan

**PROGRAM STUDI 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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Sutrisno Koswara, M.Si.

2. Dr. Inas Suci Rahmawati, S.T.P., M.Si.

Perpustakaan IPB University



@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.



Judul Skripsi : Meta-Analisis Profil Antrakuinon dalam Teh: Variabilitas,
Prekursor, dan Mitigasi Keamanan Pangan

Nama : Siti Sarah Humaira
NIM : F2401221067

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 19610502 198603 1 002

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ing. Dase Hunaefi, S.T.P., M.Food.St
NIP. 19791208 200501 1 003

Tanggal Ujian: 17 April 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai bulan Februari 2026, dengan judul “Meta-Analisis Kadar Antrakuinon dalam Teh: Variabilitas, Prekursor, dan Mitigasi Keamanan Pangan ”. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, serta dukungan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Sutrisno Koswara, M.Si. dan Ibu Dr. Inas Suci Rahmawati, S.T.P., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun demi penyempurnaan karya ilmiah ini.
3. Bunda Tuty Anggraini, ayah Iskandar Rambe, dan dedek Siti Saffanah Hashura selaku keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Sahabat dan teman-teman terdekat penulis, Feli, Hana, dan Icha, serta rekan-rekan di BPH BEM Fateta Kabinet Dinamika, dan Gang.N.U yang telah memberikan semangat, motivasi, dan kebersamaan dalam setiap proses hingga penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh teman-teman ETERNAL 59 terutama K3 yang telah kebersamai, membantu, dan memberikan dukungan selama perjalanan akademik penulis.

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

Bogor, April 2026

Siti Sarah Humaira



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teh	4
2.2 Antrakuinon sebagai Kontaminan	5
2.3 Meta-analisis	6
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Analisis Statistik	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Analisis Sumber Studi	15
4.2 Analisis <i>Overall Effect Size</i>	15
4.3 Analisis <i>Subgroup</i> Jenis Teh	17
4.4 Analisis <i>Subgroup</i> Negara	20
4.5 Analisis <i>Subgroup</i> Bahan Bakar	23
4.6 Analisis Meta-regresi	25
4.7 Analisis Bias Publikasi	27
4.8 Prekursor Pembentukan Antrakuinon pada Teh	28
4.9 Strategi Mitigasi Pembentukan Antrakuinon dalam Teh	30
V SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	40

DAFTAR TABEL

1	Analisis <i>subgroup</i> jenis teh	17
2	Analisis <i>subgroup</i> negara	20
3	Analisis <i>subgroup</i> bahan bakar	23
4	Analisis meta-regresi	25
5	Hasil <i>Egger's test</i>	28

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir prosedur kerja	8
2	Diagram alir PRISMA	11
3	Diagram alir PRISMA untuk analisis sumber studi	15
4	<i>Forest plot</i> analisis <i>overall effect size</i>	16
5	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> jenis teh	18
6	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> negara	21
7	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> bahan bakar	23
8	<i>Bubble plot</i> meta-regresi variabel jenis teh (a), negara asal (b), dan bahan bakar (c)	25
9	<i>Funnel plot</i> analisis bias publikasi	27

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.