

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI FENOLIK BUAH ANDALIMAN
(*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) SEBAGAI ANTIOKSIDAN
DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

GAVRIEL ALLENFAR DAELI



**PROGRAM STUDI BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimalisasi Ekstraksi Fenolik Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) sebagai Antioksidan dengan *Response Surface Methodology*” 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, Oktober 2026

Gavriel Allenfar Daeli
G8501251030

- 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

GAVRIEL ALLENFAR DAELI. Optimalisasi Ekstraksi Fenolik Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) sebagai Antioksidan dengan *Response Surface Methodology*. Dibimbing oleh WARAS NURCHOLIS, POPI ASRI KURNIATIN, dan SURYA DIANTINA.

Peningkatan radikal bebas di dalam tubuh dapat disebabkan oleh peningkatan polusi udara akibat perkembangan industrialisasi. Kondisi tersebut menyebabkan stres oksidatif yang memicu kerusakan makromolekul. Radikal bebas di dalam tubuh dapat diatasi oleh senyawa antioksidan. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang berpotensi dikembangkan sebagai sumber antioksidan alami. Buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) adalah tumbuhan khas Indonesia yang diketahui mengandung senyawa polifenol yang berpotensi sebagai antioksidan, tetapi pemanfaatannya masih terbatas sebagai pengobatan tradisional dan bumbu masakan. Kualitas dan kuantitas perolehan senyawa ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain waktu ekstraksi, rasio padat-cair, dan konsentrasi pelarut. Penelitian ini bertujuan menentukan kondisi ekstraksi yang optimal dari kombinasi waktu ekstraksi, rasio padat-cair, dan konsentrasi etanol untuk memperoleh kandungan polifenol dan kapasitas antioksidan buah andaliman secara maksimal dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) berbasis rancangan I-optimal.

Metode penelitian terdiri atas beberapa tahapan. Tahap pertama meliputi optimalisasi kondisi ekstraksi berdasarkan rancangan percobaan *Response Surface Methodology* (RSM) menggunakan rancangan I-optimal. Ekstrak optimalisasi dievaluasi berdasarkan kadar total fenolik (TPC) melalui metode Folin-Ciocalteu, kadar total flavonoid (TFC) melalui metode kompleksasi aluminium klorida, serta kapasitas antioksidan melalui metode DPPH dan FRAP. Kondisi optimal yang telah diperoleh diverifikasi melalui percobaan aktual. Tahap selanjutnya dilakukan dengan membandingkan nilai TPC dan TFC yang diperoleh dari kondisi optimal penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

Hasil optimasi numerik menunjukkan bahwa formula optimal diperoleh dengan tingkat *desirability* 0,776, yaitu kombinasi parameter waktu ekstraksi 3 menit, rasio padat-cair 1:20 mL/g, dan konsentrasi etanol 30%. Signifikansi model yang diperoleh dari kombinasi parameter ekstraksi dianalisis pada taraf kepercayaan 95% dan seluruh respons memiliki *p-value* <0,05. Nilai TPC dan TFC tertinggi diperoleh pada *Run* 18 sebesar 45,444 mg GAE/g DW dan 2,119 mg GAE/g DW. Sementara itu, kapasitas antioksidan metode DPPH dan FRAP tertinggi diperoleh pada *Run* 2 dan *Run* 20 sebesar 0,882 μ mol TE/g DW dan 19,333 μ mol TE/g DW. Kondisi optimum diperoleh pada waktu ekstraksi 3 menit, rasio padat-cair 1:20, dan konsentrasi etanol 30% sebesar 45,444 mg GAE/g DW dan 2,119 mg GAE/g DW. Identifikasi lanjutan terhadap profil senyawa ekstrak buah andaliman diperlukan untuk mengetahui perubahan komposisi senyawa akibat variasi parameter.

Kata kunci: desain ekperimental, kapasitas antioksidan, metabolit sekunder, *Zanthoxylum acanthopodium* DC.

SUMMARY

GAVRIEL ALLENFAR DAELI. Optimization of Phenolic Extraction from Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) Fruit for Antioxidant Activity Using Response Surface Methodology. Supervised by WARAS NURCHOLIS, POPI ASRI KURNIATIN, and SURYA DIANTINA.

Increased free radical levels in the body can be caused by rising air pollution resulting from industrial development. This condition leads to oxidative stress, which triggers macromolecular damage. Free radicals in the body can be neutralized by antioxidant compounds. Indonesia has a rich biodiversity with the potential to be developed as a source of natural antioxidants. Andaliman fruit (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) is an indigenous Indonesian plant known to contain polyphenolic compounds with antioxidant potential; however, its utilization remains limited to traditional medicine and culinary seasoning. The quality and quantity of compounds recovered are determined by various factors, including extraction time, solid-to-liquid ratio, and solvent concentration. This study aimed to determine the optimal extraction conditions, based on the combination of extraction time, solid-to-liquid ratio, and ethanol concentration, to maximize the polyphenol content and antioxidant capacity of andaliman fruit using Response Surface Methodology (RSM) with an I-optimal design.

The research method consisted of several stages. The first stage involved optimizing extraction conditions based on an RSM experimental design using an I-optimal design. The optimized extracts were evaluated for total phenolic content (TPC) using the Folin–Ciocalteu method, total flavonoid content (TFC) using the aluminum chloride complexation method, and antioxidant capacity using the DPPH and FRAP assays. The optimal conditions obtained were verified through actual experiments. The subsequent stage compared the TPC and TFC values obtained under the optimal conditions of this study with those reported in previous studies.

The numerical optimization results showed that the optimal formula was obtained with a desirability value of 0.776, consisting of an extraction time of 3 min, a solid-to-liquid ratio of 1:20 g/mL, and an ethanol concentration of 30%. The significance of the model obtained from the combination of extraction parameters was analyzed at a 95% confidence level, and all responses had p-values <0.05. The highest TPC and TFC values were obtained in Run 18, at 45.444 mg GAE/g DW and 2.119 mg GAE/g DW, respectively. Meanwhile, the highest antioxidant capacities by the DPPH and FRAP assays were obtained in Run 2 and Run 20, at 0.882 $\mu\text{mol TE/g DW}$ and 19.333 $\mu\text{mol TE/g DW}$, respectively. The optimum conditions were an extraction time of 3 min, a solid-to-liquid ratio of 1:20, and an ethanol concentration of 30%, yielding 45.444 mg GAE/g DW and 2.119 mg GAE/g DW. Further identification of the compound profile of andaliman fruit extract is required to determine changes in compound composition resulting from variations in extraction parameters.

Keywords: antioxidant capacity, experimental design, secondary metabolite, *Zanthoxylum acanthopodium* DC.



@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.

© 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.

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI FENOLIK BUAH ANDALIMAN
(*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) SEBAGAI ANTIOKSIDAN
DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

GAVRIEL ALLENFAR DAELI

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

**PROGRAM STUDI BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Dra. Laksmi Ambarsari, M.S.



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 Tesis : Optimalisasi Ekstraksi Fenolik Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) sebagai Antioksidan dengan *Response Surface Methodology*

Nama : Gavriel Allenfar Daeli

NIM : G8501251030

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Waras Nurcholis, S.Si., M.Si.

NIP. 198001022009121002

Pembimbing 2:

Dr. Popi Asri Kurniatin, S.Si., Apt., M.Si.

NIP. 197610012006042000

Pembimbing 3:

Surya Diantina, S.P., M.Si., Ph.D.

NIP. 198106192006042001

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Syamsul Falah, S. Hut., M.Si.

NIP. 197005032005011001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam:

Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.

NIP. 197807232007011001

Tanggal Ujian:
02 September 2026

Tanggal Lulus:



@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 kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2025 sampai bulan Mei 2026 ini ialah optimalisasi hasil ekstraksi terhadap kandungan polifenol dan aktivitas antioksidan dari buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.), dengan judul “Optimalisasi Ekstraksi Fenolik Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) sebagai Antioksidan dengan *Response Surface Methodology*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Waras Nurcholis, S.Si., M.Si., Dr. Popi Asri Kurniatin, S.Si., Apt., M.Si., dan Surya Diantina, S.P., M.Si., Ph.D. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Taopik Ridwan, S.P., M.Si. beserta staf Laboratorium Departemen Biokimia yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Papa Sorni Paskah Daeli, Mama Yuniati Laoli, Abang Patrick Alzoallenfar Daeli, Om Amira Harefa serta seluruh keluarga lainnya yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama penulis menjalani studi ini.

Rasa syukur dan terima kasih juga penulis sampaikan kepada sahabat-sahabat luar biasa, Nyimas Shania Azira Ubai dan Laila Najmi yang telah menjadi rekan seperjuangan pada Program Sinergi S1-S2 Biokimia. Terima kasih khusus juga penulis sampaikan kepada Zaki Fadhlurrahman Ibrahim, Amanda Paramadita Putri, Annisa Warosati Jannah, dan juga teman-teman *Fasttrack* yang telah mendukung penulis selama melakukan penelitian di Laboratorium Departemen Biokimia. Akhir kata, penulis menyampaikan penghargaan tersendiri kepada Yesari Cesa Hazzain yang telah menjadi sosok untuk menenangkan pikiran dan menyusun kata demi kata hingga tesis ini dapat dirampungkan.

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

Bogor, Oktober 2026

Gavriel Allenfar Daeli



@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	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I 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
1.6 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	3
1.7 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tumbuhan Andaliman	4
2.2 Radikal Bebas	5
2.3 Antioksidan	6
2.4 Fenolik	7
2.5 Flavonoid	9
2.6 <i>Microwave Assisted Extraction</i>	10
2.7 <i>Response Surface Methodology</i> Berbasis Rancangan I-Optimal	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Kerja	12
3.4 Analisis Statistik dan Verifikasi Model	15
3.5 Validasi Data	15
IV HASIL	16
4.1 Analisis Respons Hasil Ekstraksi Buah Andaliman	16
4.2 Analisis Model Regresi RSM	17
4.3 Respons TPC dan TFC Buah Andaliman	17
4.4 Respons Kapasitas Antioksidan Buah Andaliman	21
4.5 Penentuan Kondisi Optimum dan Verifikasi Model	23
4.6 Validasi Data Berbasis Literatur	24
V PEMBAHASAN	25
5.1 Pengaruh Parameter Ekstraksi terhadap Respons Ekstraksi	25
5.2 Interpretasi Model RSM berbasis Rancangan I-Optimal	26
5.3 Respons TPC dan TFC	26
5.4 Respons Kapasitas Antioksidan Metode DPPH dan FRAP	27
5.5 Evaluasi Formula Ekstraksi Optimasi dan Validasi Data	28
VI SIMPULAN DAN SARAN	31
6.1 Simpulan	31
6.2 Saran	31



DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
RIWAYAT HIDUP

32
37
43

@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 TABEL

1	Tingkat faktor untuk optimalisasi	13
2	Matriks rancangan I-optimal untuk optimalisasi ekstraksi	13
3	Nilai respons pada setiap kombinasi parameter ekstraksi	16
4	Persamaan model regresi	17
5	Hasil ANOVA dan parameter statistik model respons	17
6	Kondisi optimum hasil optimasi ekstraksi buah andaliman	24
7	Verifikasi kondisi optimum hasil optimasi ekstraksi buah andaliman	24

DAFTAR GAMBAR

8	Buah andaliman	5
9	Mekanisme pembentukan ROS	6
10	Mekanisme penangkapan radikal bebas oleh antioksidan enzimatik	7
11	Struktur fenolik	8
12	Struktur subkelas flavonoid	9
13	Respons permukaan 3D terhadap TPC	19
14	Respons permukaan 3D terhadap TFC	20
15	Respons permukaan 3D DPPH	22
16	Respons permukaan 3D FRAP	23

DAFTAR LAMPIRAN

17	Ruang lingkup penelitian	37
18	Kurva standar asam galat	38
19	Hasil <i>One-Way</i> ANOVA untuk model linear TPC	38
20	Kurva standar kuersetin	38
21	Hasil <i>One-Way</i> ANOVA untuk model 2FI TFC	39
22	Kurva standar trolox kapasitas antioksidan DPPH	39
23	Hasil <i>One-Way</i> ANOVA untuk model linear DPPH	39
24	Kurva standar trolox kapasitas antioksidan FRAP	40
25	Hasil <i>One-Way</i> ANOVA untuk model linear FRAP	40
26	Uji Tukey HSD Fenolik untuk 20 rancangan percobaan	41
27	Uji Tukey HSD Flavonoid untuk 20 rancangan percobaan	41
28	Uji Tukey HSD DPPH untuk 20 rancangan percobaan	41
29	Uji Tukey HSD FRAP untuk 20 rancangan percobaan	42

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