

**STABILITAS TERMAL, KINETIKA DEGRADASI, DAN
TRANSFORMASI STRUKTURAL ANTOSIANIN BUNGA TELANG
(*Clitoria ternatea* L.) TERIMPREGNASI DALAM MATRIKS KERTAS
PADA SUHU TINGGI**

MIKA MARGARETA



**PROGRAM STUDI ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
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.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Saya menyatakan dengan ini bahwa disertasi dengan judul “Stabilitas Termal, Kinetika Degradasi, dan Transformasi struktural Antosianin Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Terimpregnasi dalam Matriks Kertas pada Suhu Tinggi” 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 disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Mika Margareta
F2601211015



RINGKASAN

MIKA MARGARETA. “Stabilitas Termal, Kinetika Degradasi, dan Transformasi Struktural Antosianin Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Terimpregnasi dalam Matriks Kertas pada Suhu Tinggi”. Dibimbing oleh PURWIYATNO HARIYADI, NUGRAHA EDHI SUYATMA, dan ABDULLAH MUZI MARPAUNG.

Antosianin merupakan kelompok pigmen alami yang berpotensi sebagai pewarna pangan, namun pemanfaatannya pada produk pangan yang mengalami proses termal intensif masih terbatas karena mudah mengalami degradasi selama pemanasan. Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) merupakan salah satu sumber antosianin yang mengandung ternatin, yaitu antosianin terpoliasilasi yang memiliki stabilitas lebih tinggi dibandingkan sebagian besar antosianin dari sumber lain. Keberadaan beberapa gugus asil aromatik pada struktur ternatin memungkinkan terbentuknya kopigmentasi intramolekul yang berperan dalam mempertahankan kestabilan kromofor. Karakteristik tersebut menjadikan antosianin bunga telang menarik untuk dikaji sebagai dasar pengembangan pewarna alami yang lebih tahan terhadap proses termal maupun indikator termal kolorimetri untuk memantau riwayat panas selama pengolahan pangan.

Penelitian ini bertujuan mengkaji stabilitas termal, kinetika degradasi, dan transformasi struktural ternatin dalam matriks kertas terimpregnasi antosianin (*Anthocyanin Impregnated Paper*; AIP), serta mengevaluasi karakteristik kinetiknya sebagai dasar ilmiah pengembangan pewarna alami tahan panas dan indikator termal kolorimetri. AIP dibuat menggunakan kertas Whatman No. 42 yang diimpregnasi dengan ekstrak antosianin bunga telang. Penelitian dilakukan dalam tiga tahapan yang meliputi pengaruh pH terhadap stabilitas termal pada suhu 80–98 °C, karakterisasi degradasi termal pada suhu sterilisasi 105–121 °C, serta evaluasi pengaruh penambahan glukosa dan asam askorbat terhadap karakteristik kinetika dan respons warna AIP.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH memengaruhi stabilitas termal dan respons warna antosianin dalam matriks AIP. AIP pada pH 5 memiliki stabilitas termal tertinggi dengan nilai konstanta laju degradasi (k) paling rendah, sedangkan AIP pada pH 8 menunjukkan laju degradasi tertinggi. Pada suhu 80 °C, nilai k AIP pH 8 sekitar 7,8 kali lebih besar dibandingkan AIP pH 5. Meskipun demikian, AIP pH 8 menghasilkan perubahan warna yang paling kontras, berlangsung secara monoton, dan dapat dibedakan dengan jelas antar suhu. Karakteristik tersebut berkaitan dengan dominasi spesies basa kuinonoidal anionik (A^-) yang memiliki perlindungan kopigmentasi intramolekul lebih lemah sehingga lebih rentan terhadap degradasi termal. Oleh karena itu, AIP pH 8 dipilih sebagai sistem model untuk mengevaluasi karakteristik degradasi termal pada suhu sterilisasi.

Pada suhu sterilisasi, AIP pH 8 mengalami perubahan warna progresif dari biru menjadi kuning yang disertai transformasi struktural antosianin. Berdasarkan bukti tidak langsung yang diperoleh, transformasi tersebut diduga meliputi deasilasi yang mengurangi perlindungan kopigmentasi intramolekul, diikuti degradasi ireversibel spesies A^- serta pembentukan senyawa fenolik berberat molekul lebih rendah. Seluruh parameter degradasi mengikuti model kinetika orde pertama dengan nilai energi aktivasi teramati (*apparent E_a*) sebesar 251,09–337,88 kJ·mol⁻¹. Nilai E_a tersebut menunjukkan bahwa respons kinetika degradasi

terhadap kenaikan suhu pada rentang sterilisasi lebih sensitif dibandingkan pada rentang pra-sterilisasi. Nilai z berdasarkan parameter b diperoleh sebesar 8,80 °C, masih lebih rendah dibandingkan nilai acuan sterilisasi ($z = 10$ °C), sehingga respons warna pada kombinasi suhu–waktu yang menghasilkan nilai F_0 yang sama belum sepenuhnya ekuivalen. Meskipun demikian, retensi total antosianin sebesar 50–67% setelah proses sterilisasi menunjukkan bahwa ternatin memiliki ketahanan termal yang relatif tinggi dibandingkan sebagian besar antosianin dari sumber lain.

Analisis HPLC terhadap fraksi individual ternatin menunjukkan bahwa setiap fraksi memiliki karakteristik degradasi yang berbeda. Fraksi D2 menunjukkan stabilitas termal tertinggi, diikuti oleh D1 dan B1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa stabilitas termal ternatin tidak hanya ditentukan oleh jumlah gugus asil aromatik, tetapi juga dipengaruhi oleh konfigurasi molekul secara keseluruhan, termasuk panjang dan karakteristik rantai glikosidik serta efektivitas kopigmentasi intramolekul. Temuan ini memperluas pemahaman mengenai hubungan antara struktur molekul dan stabilitas termal antosianin terpoliasilasi.

Modifikasi formulasi menggunakan glukosa dan asam askorbat menunjukkan bahwa karakteristik kinetika AIP masih dapat diarahkan menuju nilai yang lebih sesuai untuk indikator termal kolorimetri. Penambahan glukosa memperbesar magnitudo perubahan warna melalui pembentukan kromofor kuning akibat reaksi pencoklatan termal tanpa mengubah sensitivitas suhu secara bermakna. Sebaliknya, penambahan asam askorbat memberikan pengaruh kondisional terhadap degradasi antosianin melalui jalur oksidatif yang bergantung pada ketersediaan oksigen dan tidak terdeteksi ketika glukosa hadir. Parameter b menunjukkan respons paling konsisten terhadap akumulasi panas. Modifikasi formulasi menghasilkan nilai z pada rentang 8,70–9,99 °C, dengan beberapa kombinasi telah mendekati nilai acuan sterilisasi, meskipun kesetaraan respons warna pada nilai F_0 yang sama belum sepenuhnya tercapai.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas termal antosianin bunga telang merupakan hasil interaksi antara struktur molekul ternatin yang terpoliasilasi, transformasi struktural selama pemanasan, dan karakteristik kinetika degradasinya. Kajian ini memberikan pemahaman baru mengenai hubungan struktur–stabilitas pada ternatin selama proses termal serta menunjukkan bahwa karakteristik kinetika sistem dapat diarahkan melalui modifikasi formulasi menuju nilai z yang semakin mendekati kebutuhan indikator termal kolorimetri. Retensi total antosianin sebesar 50–67% pada suhu sterilisasi mendukung pemanfaatan ternatin sebagai pewarna alami untuk produk pangan yang diproses pada suhu tinggi. Dengan demikian, penelitian ini menyediakan dasar ilmiah bagi pengembangan antosianin bunga telang sebagai pewarna alami tahan panas maupun sebagai indikator termal kolorimetri pada proses pengolahan pangan.

Kata kunci: *anthocyanin-impregnated paper*, antosianin poliasilasi, degradasi termal, energi aktivasi teramati, ternatin



SUMMARY

MIKA MARGARETA. "Thermal Stability, Degradation Kinetics, and Structural Transformation of Butterfly Pea (*Clitoria ternatea* L.) Anthocyanins Impregnated into a Paper Matrix at High Temperatures". Supervised by PURWIYATNO HARIYADI, NUGRAHA EDHI SUYATMA, dan ABDULLAH MUZI MARPAUNG

Anthocyanins are a class of natural pigments with considerable potential as food colorants. However, their use in foods subjected to intensive thermal processing remains limited because they readily degrade during heating. Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) is a distinctive source of anthocyanins, containing ternatins, a group of polyacylated anthocyanins that exhibit greater thermal stability than most anthocyanins from other botanical sources. The presence of multiple aromatic acyl groups in the ternatin structure promotes intramolecular copigmentation, thereby helping maintain chromophore stability. These structural characteristics make butterfly pea anthocyanins promising candidates for developing heat-stable natural food colorants and colorimetric thermal indicators to monitor thermal history during food processing.

This study aimed to investigate the thermal stability, degradation kinetics, and structural transformation of ternatins immobilized in an Anthocyanin-Impregnated Paper (AIP) matrix and to evaluate their kinetic characteristics as a scientific basis for developing heat-stable natural food colorants and colorimetric thermal indicators. The AIP system was prepared by impregnating Whatman No. 42 filter paper with butterfly pea anthocyanin extract. The study consisted of three sequential stages: (1) evaluating the effect of pH on the thermal stability of AIP at 80–98 °C; (2) characterizing color changes, structural transformations, and thermal degradation kinetics at sterilization temperatures (105–121 °C); and (3) investigating the effects of glucose and ascorbic acid on the kinetic characteristics and color response of AIP under sterilization conditions.

The results demonstrated that pH significantly affected both the thermal stability and color response of anthocyanins in the AIP matrix. AIP at pH 5 exhibited the highest thermal stability, as indicated by the lowest degradation rate constant (k), whereas AIP at pH 8 showed the highest degradation rate. At 80 °C, the k value of AIP at pH 8 was approximately 7.8 times greater than that of AIP at pH 5. Despite its lower thermal stability, AIP at pH 8 produced the most distinct, monotonic, and temperature-discriminative color change. This behavior was associated with the predominance of the anionic quinonoidal base (A^-), which possesses weaker intramolecular copigmentation protection and is therefore more susceptible to thermal degradation. Consequently, AIP at pH 8 was selected as the model system for subsequent investigation under sterilization conditions.

Under sterilization temperatures, AIP at pH 8 exhibited a progressive color transition from blue to yellow accompanied by structural transformation of anthocyanins. Based on the indirect evidence obtained, the transformation was proposed to involve deacylation, which weakened intramolecular copigmentation, followed by irreversible degradation of the A^- species and the formation of lower-molecular-weight phenolic compounds. All degradation parameters were

adequately described by a first-order kinetic model, with apparent activation energy (E_a) values ranging from 251.09 to 337.88 kJ·mol⁻¹. These relatively high E_a values indicate that the degradation kinetics were considerably more sensitive to temperature changes within the sterilization range than within the pre-sterilization range. The z -value calculated from the b parameter was 8.80 °C, which was lower than the reference sterilization value ($z = 10$ °C), indicating that color responses at equivalent F_0 values had not yet achieved thermal equivalence. Nevertheless, total anthocyanin retention of 50–67% after sterilization demonstrated that ternatins possess relatively high thermal stability compared with most anthocyanins from other plant sources.

HPLC analysis of individual ternatin fractions revealed distinct thermal degradation characteristics among the fractions. Fraction D2 exhibited the highest thermal stability, followed by D1 and B1. These findings indicate that the thermal stability of ternatins is determined not only by the number of aromatic acyl groups but also by the overall molecular configuration, including the length and characteristics of the glycosidic side chains and the effectiveness of intramolecular copigmentation. This finding expands the current understanding of the relationship between molecular structure and thermal stability in polyacylated anthocyanins.

Formulation modification using glucose and ascorbic acid demonstrated that the kinetic characteristics of AIP could be adjusted toward values more suitable for colorimetric thermal indicator applications. Glucose increased the magnitude of color change through the formation of yellow chromophores generated by thermal browning reactions without significantly altering temperature sensitivity. In contrast, ascorbic acid exerted a conditional effect on anthocyanin degradation through oxidative pathways that depended on oxygen availability and became undetectable in the presence of glucose. Among all evaluated parameters, the b parameter showed the most consistent response to accumulated thermal exposure. Formulation modifications produced z -values ranging from 8.70 to 9.99 °C, with several formulations approaching the sterilization reference value, although equivalent color responses at identical F_0 values were not fully achieved.

Overall, this study demonstrates that the thermal stability of butterfly pea anthocyanins is governed by the interaction between the polyacylated ternatin structure, structural transformation during heating, and degradation kinetics. The findings provide new insights into the structure–stability relationship of ternatins during thermal processing and demonstrate that the kinetic characteristics of the system can be tailored through formulation modification toward z -values that more closely match the requirements of colorimetric thermal indicators. Furthermore, the retention of 50–67% of total anthocyanins after sterilization supports the application of ternatins as natural food colorants for thermally processed foods. Collectively, this study provides a scientific foundation for the development of butterfly pea anthocyanins as both heat-stable natural food colorants and colorimetric thermal indicators for food thermal processing.

Keywords: anthocyanin impregnated paper, apparent activation energy, polyacylated anthocyanins, thermal degradation, ternatin



@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 University

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.



@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.

**STABILITAS TERMAL, KINETIKA DEGRADASI, DAN TRANSFORMASI
STRUKTURAL ANTOSIANIN BUNGA TELANG (*Clitoria ternatea* L.)
TERIMPREGNASI DALAM MATRIKS KERTAS PADA SUHU TINGGI**

MIKA MARGARETA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pangan

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

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Dias Indrasti, S.T.P., M.Sc.
- 2 Dr. Abdul Roni Angkat, S.T.P., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si
- 2 Dr. Abdul Roni Angkat, S.T.P., M.Si.

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 Disertasi : Stabilitas Termal, Kinetika Degradasi, dan Transformasi Struktural
Antosianin Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Terimpregnasi
dalam Matriks Kertas pada Suhu Tinggi

Nama :Mika Margareta
NIM :F2601211015

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Purwiyatno Hariyadi, M.Sc.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Nugraha Edhi Suyatma, STP, DEA

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Abdullah Muzi Marpaung, MP.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si.
19741003 200003 2 001

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budjianto, M. Agr.
19610502 198603 1 002



Tanggal Pengesahan: 12 Agustus 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Stabilitas Termal, Kinetika Degradasi, dan Transformasi Struktural Antosianin Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Terimpregnasi dalam Matriks Kertas pada Suhu Tinggi”. Disertasi ini dibuat guna memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar doktor pada Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan disertasi ini, antara lain kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Purwiyatno Hariyadi, M.Sc., Prof. Dr. Nugraha Edhi Suyatma, STP, DEA dan Dr. Ir. Abdullah Muzi Marpaung, MP. selaku komisi pembimbing atas arahan konseptual, bimbingan ilmiah, koreksi substansi, serta pendampingan secara berkelanjutan dalam perumusan ide, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan dan penyempurnaan disertasi ini.
2. Dr. Dias Indrasti, S.T.P., M.Sc. selaku penguji luar komisi atas masukan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis pada saat sidang tertutup.
3. Dr. Abdul Roni Angkat, S.T.P., M.Si. selaku penguji luar komisi atas masukan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis pada saat sidang tertutup dan terbuka
4. Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si. selaku penguji luar komisi atas masukan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis pada saat sidang terbuka.
5. Beasiswa BPPSDMP Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
6. Suami, anak-anak, orangtua, dan keluarga, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan penuh untuk menyelesaikan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan disertasi ini, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang membaca dan membutuhkan.

Bogor, Agustus 2026

Mika Margareta

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	6
1.6 Hipotesis	6
1.7 Kebaruan (<i>novelty</i>)	7
II PENGARUH pH TERHADAP STABILITAS TERMAL ANTOSIANIN BUNGA TELANG (<i>Clitoria ternatea</i> L.) DALAM MATRIKS KERTAS TERIMPREGNASI ANTOSIANIN PADA SUHU TINGGI	8
2.1 Abstrak	8
2.2 Pendahuluan	8
2.3 Metode	10
2.4 Hasil dan Pembahasan	11
2.5 Simpulan	29
III KINETIKA DEGRADASI TERMAL DAN TRANSFORMASI STRUKTURAL TERNATIN DALAM MATRIKS KERTAS TERIMPREGNASI ANTOSIANIN PADA SUHU STERILISASI	30
3.1 Abstrak	30
3.2 Pendahuluan	31
3.3 Metode	32
3.4 Hasil dan Pembahasan	36
3.5 Simpulan	62
IV PENGARUH GLUKOSA DAN ASAM ASKORBAT TERHADAP DEGRADASI TERMAL ANTOSIANIN <i>Clitoria ternatea</i> L TERIMPREGNASI DALAM MATRIKS KERTAS	64
4.1 Abstrak	64
4.2 Pendahuluan	64
4.3 Metode	66
4.4 Hasil dan Pembahasan	69
4.5 Simpulan	117
V PEMBAHASAN UMUM	118
VI SIMPULAN DAN SARAN	131
6.1 Simpulan	131
6.2 Saran	132
RIWAYAT HIDUP	142

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	Konstanta laju degradasi termal (k) parameter Chroma (C*) pada Anthocyanin Impregnated Paper (AIP) bunga telang (pada berbagai suhu pemanasan dan kondisi pH	27
2	Parameter kinetika degradasi termal ternatin B1, D2, dan D1 dalam AIP pada suhu 121 °C	56
3	Parameter kinetika degradasi termal (k, R ² , dan Ea) warna AIP dan kandungan total antosianin pada kondisi sterilisasi (105, 115, dan 121 °C)	58
4	Pengaruh suhu pada glukosa dan asam askorbat yang sama (perspektif GA)	88
5	Pengaruh glukosa pada suhu dan asam askorbat yang sama (perspektif TA)	96
6	Pengaruh asam askorbat pada suhu dan glukosa yang sama (perspektif TG)	109
7	Konstanta laju (k) dan koefisien determinasi (R ²) model kinetika ordo nol dan ordo satu untuk parameter A420, A620, dan b* pada berbagai suhu sterilisasi dan formulasi	110

DAFTAR GAMBAR

1	Respons warna <i>Anthocyanin Impregnated Paper</i> (AIP) selama pemanasan pada suhu 80, 90, dan 98 °C untuk AIP pH 5 (A), AIP pH 7 (B), dan AIP pH 8 (C)	12
2	Perubahan nilai a* pada <i>Anthocyanin Impregnated Paper</i> (AIP) selama pemanasan pada suhu 80, 90, dan 98 °C untuk AIP pH 5 (A), AIP pH 7 (B), dan AIP pH 8 (C)	15
3	Peningkatan nilai b* pada <i>Anthocyanin Impregnated Paper</i> (AIP) selama pemanasan pada suhu 80, 90, dan 98 °C untuk AIP pH 5 (A), AIP pH 7 (B), dan AIP pH 8 (C)	17
4	Penurunan residual C* pada <i>Anthocyanin Impregnated Paper</i> (AIP) selama pemanasan pada suhu 80, 90, dan 98 °C untuk AIP pH 5 (A), AIP pH 7 (B), dan AIP pH 8 (C)	19
5	Interpretasi perubahan warna sistem AIP pH 5 berdasarkan mekanisme degradasi antosianin dalam literatur antosianin (Sadilova <i>et al.</i> 2006; Sadilova <i>et al.</i> 2007; Sinela <i>et al.</i> 2017; Trouillas <i>et al.</i> 2016).	23
6	Interpretasi perubahan warna sistem AIP pH 7 berdasarkan mekanisme degradasi antosianin dalam literatur (Sadilova <i>et al.</i> 2006; Sadilova <i>et al.</i> 2007; Sinela <i>et al.</i> 2017; Fenger <i>et al.</i> 2020).	24
7	Interpretasi perubahan warna sistem AIP pH 8 berdasarkan mekanisme degradasi antosianin dalam literatur (Marpaung <i>et al.</i> 2026; Sadilova <i>et al.</i> 2007; Sinela <i>et al.</i> 2017; Trouillas <i>et al.</i> 2016; Sousa <i>et al.</i> 2022).	25

8	Grafik Arrhenius untuk konstanta laju degradasi warna <i>Anthocyanin Impregnated Paper</i> (AIP) pada AIP pH 5, AIP pH 7, dan AIP pH 8	27
9	Perubahan visual warna AIP pada berbagai kombinasi suhu dan waktu pemanasan yang distandarisasi berdasarkan nilai F_0 yang setara ($z = 10$ °C)	36
10	Perubahan nilai L^* (kecerahan) (A), a^* (merah-hijau) (B), b^* (kuning-biru) (C), dan C^* (kroma) (D) AIP selama pemanasan pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n = 3$)	38
11	Tampilan visual larutan ekstrak AIP setelah perlakuan panas pada berbagai suhu (105, 115, dan 121 °C) yang disesuaikan dengan nilai F_0 yang setara	42
12	Panjang gelombang serapan maksimum ($\lambda_{\max}$) selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C)	42
13	Perubahan absorbansi AIP pada panjang gelombang 620 nm selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n = 3$)	44
14	Perubahan absorbansi AIP pada panjang gelombang 420 nm selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n = 3$)	44
15	Perubahan absorbansi AIP pada panjang gelombang 580 nm selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n = 3$)	45
16	Perubahan absorbansi AIP pada panjang gelombang 550 nm selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n = 3$)	45
17	Perubahan kandungan TA AIP selama perlakuan termal pada suhu 105, 115, dan 121 °C. Waktu pemanasan sebenarnya divariasikan pada setiap suhu untuk mencapai nilai F_0 yang setara (dengan asumsi $z = 10$ °C). Galat menunjukkan deviasi standar ($n=3$)	47
18	Kromatogram HPLC antosianin <i>Clitoria ternatea</i> (segar) yang tidak dipanaskan	49
19	Kromatogram Ekstrak AIP pada pH 8	49
20	Profil kromatogram HPLC ekstrak AIP setelah perlakuan termal pada suhu 105 °C selama 120 menit, setara dengan $F_0 = 2,95$ menit	51
21	Profil kromatogram HPLC ekstrak AIP setelah perlakuan termal pada suhu 105 °C selama 360 menit, setara dengan $F_0 = 8,84$ menit	52

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.

22	Profil kromatogram HPLC ekstrak AIP yang menunjukkan keberadaan ternatin B1, D2, dan D1 terdeteksi pada 530 nm pada perlakuan [1 menit ; A), [3 menit; B], [5 menit; C] , [7 menit; D] , dan [9 menit; E]	54
23	Plot kinetika degradasi termal orde nol (A) dan orde satu (B) ternatin B1, D1, dan D2 dalam AIP pada suhu 121 °C	56
24	Perubahan nilai b* (biru-kuning) Anthocyanin Impregnated Paper (AIP) sebagai fungsi nilai proses termal (F0) pada berbagai suhu pemanasan (105, 115, dan 121 °C)	61
25	Perubahan visual warna AIP pada suhu sterilisasi dengan penambahan glukosa dan asam askorbat. Glu = glukosa; A = asam askorbat. Label waktu: t ₀ –t ₉ mewakili titik waktu pemanasan dengan interval 40 menit pada 105 °C (t ₀ = 0, t ₁ = 40, ..., t ₉ = 360 menit), 4 menit pada 115 °C (t ₀ = 0, t ₁ = 4, ..., t ₉ = 36 menit), dan 1 menit pada 121 °C (t ₀ = 0, t ₁ = 1, ..., t ₉ = 9 menit)	71
26	Pengaruh Suhu (T) Terhadap <i>Lightness</i> (L*) AIP pada Glukosa (G) dan Asam Askorbat (A) yang Sama	72
27	Pengaruh Suhu (T) Terhadap <i>Chroma</i> (C*) AIP pada Glukosa (G) dan Asam Askorbat (A) yang Sama	73
28	Pengaruh suhu (T) terhadap pergeseran absorbansi 550 nm (A550) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang Sama	74
29	Pengaruh suhu (T) terhadap pergeseran $\lambda_{\max}$ AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	75
30	Pengaruh suhu (T) terhadap warna biru-kuning (b*) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	76
31	Pengaruh suhu (T) terhadap °Hue AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	78
32	Pengaruh suhu (T) terhadap warna merah-hijau (a*) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	79
33	Pengaruh suhu (T) terhadap pergeseran absorbansi 620 nm (A620) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	80
34	Pengaruh suhu (T) terhadap pergeseran absorbansi 580 nm (A580) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	83
35	Pengaruh suhu (T) terhadap pergeseran absorbansi 420 nm (A420) AIP pada glukosa (G) dan asam askorbat (A) yang sama	85
36	Pengaruh glukosa (G) terhadap <i>Lightness</i> (L*) AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	87
37	Pengaruh glukosa (G) terhadap <i>Chroma</i> (C*) AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	89
38	Pengaruh Glukosa (G) terhadap pergeseran absorbansi 580 nm AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	90
39	Pengaruh Glukosa (G) terhadap pergeseran absorbansi 550 nm AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	91
40	Pengaruh glukosa (G) terhadap $\lambda_{\max}$ AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	91
41	Pengaruh Glukosa (G) terhadap pergeseran absorbansi 620 nm AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	92
42	Pengaruh glukosa (G) Terhadap Merah-hijau (a*) AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	93



43	Pengaruh glukosa (G) terhadap pergeseran absorbansi 420 nm AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	94
44	Pengaruh glukosa (G) terhadap biru-kuning (b*) AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	97
45	Pengaruh glukosa (G) terhadap °Hue AIP pada suhu (T) dan asam askorbat (A) yang sama	98
46	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap biru-kuning (b*) AIP pada suhu (T) dan glukosa (G) yang sama	100
47	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap °Hue AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	100
48	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap <i>chroma</i> (C*) AIP pada suhu (T) dan glukosa (G) yang sama	101
49	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap merah-hijau (a*) AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	101
50	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap pergeseran absorbansi 620 nm AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	102
51	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap pergeseran absorbansi 580 nm AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	103
52	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap pergeseran absorbansi 550 nm AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	104
53	Pengaruh asam askorbat (A) terhadap pergeseran 420 nm AIP pada suhu (T) dan Glukosa (G) yang sama	104
54	Energi aktivasi (A) dan nilai z (B) parameter b*, A420, dan A620 pada berbagai kombinasi konsentrasi glukosa (G) dan asam askorbat (A) dalam sistem Anthocyanin Impregnated Paper (AIP) pada suhu sterilisasi 105, 115, dan 121 °C	114



@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