

SINTESA *THERMOCHROMIC LEUCO DYE* DARI ANTOSIANIN KULIT PISANG MERAH UNTUK PENGEMBANGAN KEMASAN CERDAS

YESSY ROSALINA



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
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 mengumunkan 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

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Sintesa *Thermochromic Leuco Dye* dari Antosianin Kulit Pisang Merah untuk Pengembangan Kemasan Cerdas” 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.

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

Bogor, Maret 2025

Yessy Rosalina
F361190081

- 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

YESSY ROSALINA. Sintesa *Thermochromic Leuco Dye* dari Antosianin Kulit Pisang Merah untuk Pengembangan Kemasan Cerdas. Dibimbing oleh ENDANG WARSIKI, ANAS MIFTAH FAUZI, DAN ILLAH SAILAH.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sintesis *thermochromic leuco dye* berbasis antosianin dari kulit pisang merah sebagai pewarna alami untuk kemasan cerdas. Fokus penelitian ini adalah mengevaluasi karakteristik antosianin terhadap perubahan suhu, cahaya, dan pH serta memformulasikan sebagai bahan *thermochromic* yang dapat digunakan sebagai indikator mutu dalam kemasan agroindustri. Dengan mengembangkan formulasi pewarna *thermochromic* yang stabil, aman, dan efektif, penelitian ini diharapkan dapat mendukung inovasi dalam sistem kemasan pangan berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ekstraksi terbaik diperoleh dari kulit pisang merah pada tingkat kematangan 95 %, menggunakan air yang diasamkan dengan asam sitrat sebagai pelarut. Metode ini menghasilkan ekstrak dengan kandungan 57,67 mg/L total antosianin. Karakterisasi ekstrak menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan spektrofotometer UV-vis menunjukkan keberadaan senyawa antosianin dengan perubahan warna yang khas. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap stabilitas antosianin menunjukkan bahwa pada suhu 35 °C dan 50 °C terjadi laju penurunan absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 30 °C dan 40 °C. Antosianin juga menunjukkan penurunan absorbansi saat terpapar sinar lampu UV dan lampu 25 watt. Stabilitas warna antosianin dari kulit pisang merah dipengaruhi oleh pH, di mana antosianin kulit pisang merah menunjukkan warna merah stabil pada pH 2-5 dan mengalami pergeseran absorbansi ke panjang gelombang lebih tinggi seiring dengan peningkatan pH.

Untuk meningkatkan stabilitas antosianin, dilakukan enkapsulasi dengan kombinasi maltodekstrin dan gum arab. Hasil terbaik diperoleh pada rasio maltodekstrin dan gum arab = 1:3 dan rasio matriks dan inti = 3:1. Perlakuan ini menghasilkan mikrokapsul dengan nilai *chroma* 18,80 dan nilai °Hue 70,35, menunjukkan kestabilan warna yang baik. Mikrokapsul yang dihasilkan memiliki bentuk partikel bulat dengan permukaan sedikit kasar, berlekuk, dan berpori, sebagaimana terlihat dalam analisis SEM (*Scanning Electro Microscopy*). Kombinasi maltodekstrin dan gum arab terbukti mampu mempertahankan sensitifitas antosianin terhadap pH, sehingga meningkatkan keefektifan penggunaannya dalam formulasi *thermochromic*. Hasil ini menegaskan bahwa enkapsulasi merupakan teknik yang efektif dalam mempertahankan sifat fungsional antosianin yang penting untuk memastikan performa *thermochromic leuco dye* dalam aplikasi kemasan cerdas.

Setelah memperoleh antosianin yang stabil, tahap berikutnya adalah formulasi *thermochromic leuco dye* untuk diaplikasikan sebagai label indikator mutu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi terbaik untuk penyimpanan minuman sari buah kalamansi pada suhu 33°C terdiri dari: pewarna (antosianin dari kulit pisang merah), pengembang warna (fenoltalein) dan pelarut (1-tertradecanol) dengan rasio mol : 0,7565 : 6,3435 : 40. Karakteristik termal dari formulasi ini menunjukkan titik leleh (*Tm*) sebesar 37,61°C dan entalpi transisi (ΔH) sebesar 100

mJ/mg. Kurva DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) menunjukkan puncak endotermik yang tidak tajam, mengindikasikan bahwa reaksi termal terjadi secara bertahap. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa partikel *thermochromic leuco dye* memiliki bentuk bulat dengan permukaan tidak rata dan berpori, dengan nilai circularity 0,867 dan rata-rata ukuran partikel 21,859 μm .

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa perubahan mutu minuman kalamansi (pH, total asam tertitrasi, vitamin C, dan absorbansi) memiliki hubungan signifikan dengan perubahan warna *thermochromic leuco dye*, khususnya pada parameter nilai b^* , *chroma*, dan $^{\circ}\text{Hue}$. Korelasi antara nilai *chroma* dan absorbansi menunjukkan hubungan yang kuat ($r = 0,724$, $p = 0,002$), yang dapat dimodelkan menggunakan persamaan regresi polinomial kubik sebagai berikut: interpretasi model ini menunjukkan bahwa perubahan warna label indikator dapat digunakan sebagai parameter akurat dalam memprediksi kualitas minuman kalamansi selama penyimpanan. Hasil ini memperkuat potensi aplikasi *thermochromic leuco dye* sebagai indikator mutu yang dapat memberikan informasi *real-time* kepada konsumen dan industri pangan.

Kata kunci: Antosianin, Kemasan Cerdas, Kulit Pisang Merah, *Thermochromic Leuco Dye*.

- 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.

SUMMARY

YESSY ROSALINA. Synthesis of *Thermochromic Leuco Dye* from Red Banana Peel Anthocyanin for Smart Packaging Development. Supervised by ENDANG WARSIKI, ANAS MIFTAH FAUZI, DAN ILLAH SAILAH.

This study aimed to develop anthocyanin-based thermochromic leuco dye synthesis from red banana peel as a natural dye for smart packaging. This study aimed to evaluate the characteristics of anthocyanins against changes in temperature, light, and pH, and formulated them as thermochromic materials that can be used as quality indicators in agro-industrial packaging. This study is expected to support innovation in sustainable food packaging systems by developing stable, safe, and effective thermochromic dye formulations.

The results showed that the best extraction method was obtained from red banana peels at 95% ripeness using water acidified with citric acid as a solvent. This method produced an extract containing 57.67 mg/L total anthocyanin. Characterization of the extract using FTIR (Fourier Transform Infra Red) and UV-vis spectrophotometry revealed the presence of anthocyanin compounds with distinctive color changes. Furthermore, the effect of storage temperature on anthocyanin stability showed that at temperatures of 35°C and 50°C, there was a higher rate of absorbance decline than at temperatures of 30°C and 40°C. Anthocyanins also show color changes when exposed to UV light and a 25-watt lamp. Color stability is influenced by pH, where red banana peel anthocyanins show a stable red color at pH 2-5 and experience a shift in absorbance to higher wavelengths as the pH increases.

To improve anthocyanin stability, microencapsulation was performed using a combination of maltodextrin and gum arab. The best results were obtained at a maltodextrin: gum arab ratio of 1:3 and matrix: core ratio of 3:1. This treatment produced microcapsules with a chroma value of 18.80 and a ° Hue value of 70.35, indicating good color stability. The resulting microcapsules had a spherical particle shape with a slightly rough, grooved, and porous surface, as observed in the SEM (Scanning Electro Microscopy) analysis. The combination of maltodextrin and gum arab has been shown to maintains the sensitivity of anthocyanins to pH, thereby increasing the effectiveness of their use in thermochromic formulations. These results confirm that microencapsulation is an effective technique for maintaining the functional properties of anthocyanins, which is important for ensuring the performance of thermochromic leuco dyes in smart packaging applications.

After obtaining stable anthocyanins, the next step was to formulate a thermochromic leuco dye for application as a quality indicator label. The results showed that the best formulation for storing kalamansi fruit juice drinks at 33°C consisted of dye (anthocyanin from red banana peel), color developer (phenolphthalein) and solvent (1-tertridecanol) with a mole ratio of 0.7565: 6.3435: 40. The thermal characteristics of this formulation showed a melting point (T_m) of 37.61°C and a transition enthalpy (ΔH) of 100 mJ/mg. The DSC (Differential Scanning Calorimetry) curve shows a non-sharp endothermic peak, indicating that the thermal reaction occurred gradually. The results of the SEM analysis showed that the thermochromic leuco dye particles had a spherical shape with an uneven

and porous surface, with a circularity value of 0.867 and an average particle size of 21.859 μm .

The results of the Pearson correlation analysis showed that changes in the quality of kalamansi drinks (pH, total titrated acid, vitamin C, and absorbance) were significantly related to changes in the color of the thermochromic leuco dye, especially with respect to the b, chroma, and $^{\circ}\text{Hue}^*$ values. The correlation between chroma and absorbance values showed a strong relationship ($r = 0.724$, $p = 0.002$), which can be modeled using the following cubic polynomial regression equation: the interpretation of this model shows that changes in the color of the indicator label can be used as an accurate parameter in predicting the quality of kalamansi drinks during storage. These results strengthen the potential application of thermochromic leuco dyes as quality indicators that can provide real-time information to consumers and the food industry.

Key words: Anthocyanin, Red Banana Peel, Smart Packaging, Thermochromic Leuco Dye

- 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 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 2025¹
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.

SINTESA *THERMOCHROMIC LEUCO DYE* DARI ANTOSIANIN KULIT PISANG MERAH UNTUK PENGEMBANGAN KEMASAN CERDAS

YESSY ROSALINA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
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 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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Farah Fahma, S.TP, M.T
- 2 Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si
- 2 Dr. Indra Cahyadinata, S.P., M.Si.

Judul Disertasi: Sintesa *Thermochromic Leuco Dye* dari Antosianin Kulit Pisang Merah untuk Pengembangan Kemasan Cerdas

Nama : Yessy Rosalina

NIM : F361190081

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Endang Warsiki, S.T.P., M.Si.



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng.



Pembimbing 3:

Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S.

NIP 195805211982112001



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:

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

NIP 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian Tertutup: 04 Maret 2025

Tanggal Ujian Terbuka: 18 Maret 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Sintesa *Thermochromic Leuco Dye* dari Antosianin Kulit Pisang Merah untuk Pengembangan Kemasan Cerdas”.

Dengan penuh rasa syukur penulis persembahkan karya ini kepada kedua orang tua, Ayah Herman Zulian dan Ibu Nini Hartati. Penyelesaian disertasi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Komisi pembimbing, Prof. Dr. Endang Warsiki, S.T.P., M.Si., Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng., dan Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S. yang telah memberikan banyak arahan, kesempatan, pencerahan, dan bimbingan kepada penulis selama penyusunan disertasi ini. Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan dan keberkahan.
2. Rektor Universitas Bengkulu (UNIB), Dekan Fakultas Pertanian UNIB, dan Ketua Jurusan Teknologi Pertanian UNIB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi Doktorat.
3. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) dan seluruh staf yang telah membantu dan memfasilitasi penulis selama menyelesaikan studi.
4. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN)
5. Unit Laboratorium Dasar-dasar Ilmu Teknologi Dept. Teknologi Industri Pertanian dan SEAFast IPB, Laboratorium Teknologi Pertanian dan Terpadu (UNIB) yang telah memberikan fasilitas selama penulis melakukan penelitian.
6. Ayah Herman Zulian, ibu Nini Hartati dan ibu mertua Husnaini, suami M. Naubat Alfazari, ananda Naurah dan Naufal, ayuk, adek, ipar dan seluruh keluarga besar atas dukungan do’a, kasih sayang dan bantuan yang diberikan. Teriring doa penulis untuk alm. buya mertua Badrul Munir Hamidy.
7. Seluruh dosen dan mahasiswa Teknologi Industri Pertanian UNIB, serta teman-teman program Doktorat TIP tahun 2019.
8. Teman-teman pasca IPB, Doktorat BPPDN 2019, dan semua pihak yang telah banyak membantu hingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan. Aamiin ya rabbal alamin.

Bogor, Maret 2025

Yessy Rosalina

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	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	6
1.7 Hipotesis	7
1.8 Kerangka Tulisan	7
Daftar Pustaka	8
II KAJIAN EKSTRAKSI ANTOSIANIN DARI KULIT PISANG MERAH (<i>Musa sapientum</i> L. var <i>rubra</i>)	11
Abstrak	11
2.1 Pendahuluan	11
2.2 Tinjauan Pustaka	13
2.3 Metode	16
2.4 Hasil dan Pembahasan	19
2.5 Simpulan	32
Daftar Pustaka	32
III KAJIAN ENKAPSULASI ANTOSIANIN KULIT PISANG MERAH	38
Abstrak	38
3.1 Pendahuluan	38
3.2 Tinjauan Pustaka	40
3.3 Metode	42
3.4 Hasil dan Pembahasan	44
3.5 Simpulan	52
Daftar Pustaka	52
IV FORMULASI <i>THERMOCHROMIC LEUCO DYE</i> BERBASIS ANTOSIANIN DAN KARAKTERISTIKNYA	56
Abstrak	56
4.1 Pendahuluan	56
4.2 Tujuan Penelitian	58
4.3 Tinjauan Pustaka	58
4.4 Metode	61
4.5 Hasil dan Pembahasan	63
4.6 Simpulan	74
Daftar Pustaka	74
V APLIKASI <i>THERMOCHROMIC LEUCO DYE</i> SEBAGAI LABEL CERDAS INDIKATOR MUTU	78
Abstrak	78
5.1 Pendahuluan	78

DAFTAR ISI (LANJUTAN)

5.2 Tujuan Penelitian	79
5.3 Tinjauan Pustaka	79
5.4 Metode	81
5.5 Hasil dan Pembahasan	84
5.6 Simpulan	94
Daftar Pustaka	94
VI PEMBAHASAN UMUM	98
6.1 Pendahuluan	98
6.2 Interpretasi Hasil Penelitian	98
6.3 Potensi Hasil Penelitian	99
6.4 Implikasi Penelitian	100
6.5 Kelebihan dan Keterbatasan Penelitian	102
6.6 Rekomendasi Penelitian Selanjutnya	102
VII SIMPULAN DAN SARAN	104
7.1 Simpulan	104
7.2 Saran	104
LAMPIRAN	105
RIWAYAT HIDUP	126

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	Fungsi antosianin pada industri makanan	14
2	Perubahan warna antosianin	15
3	Faktor perlakuan pada ekstraksi kulit pisang merah	18
4	Karakteristik fisik buah pisang merah	20
5	Karakteristik serapan antosianin dalam spektra FTIR	22
6	Uji perubahan warna	24
7	Uji DMRT kandungan total antosianin kulit pisang merah	25
8	Pengaruh suhu terhadap absorbansi antosianin	27
9	Pengaruh sumber cahaya terhadap absorbansi antosianin	29
10	Penelitian mikroenkapsulasi antosianin	41
11	Uji DMRT warna mikrokapsul antosianin kulit pisang merah	47
12	Analisis ukuran partikel	50
13	Uji perubahan warna mikrokapsul antosianin	51
14	Indikator untuk aplikasi pada kemasan makanan	59
15	Formula <i>thermochromic leuco dye</i> (TS)	63
16	Analisis CIELab komposit <i>thermochromic leuco dye</i>	64
17	Ukuran partikel <i>thermochromic leuco dye</i>	67
18	Perubahan warna TS pada berbagai suhu	73
19	Nilai penerimaan uji organoleptik	82
20	Mutu minuman sari buah kalamansi	85
21	Perubahan mutu minuman sari buah kalamansi penyimpanan suhu 33°C	86
22	Uji Friedman terhadap kesukaan panelis	87
23	Laju kinetika penurunan mutu minuman sari buah kalamansi	88
24	Uji Friedman terhadap perubahan warna label indikator	90
25	Korelasi antara perubahan warna indikator <i>thermochromic leuco dye</i> dengan parameter mutu minuman sari buah kalamansi selama penyimpanan pada suhu 33°C	92
26	Persamaan matematis hubungan nilai <i>chroma</i> dan absorbansi	93

DAFTAR GAMBAR

1	Skema kerangka pemikiran	6
2	Diagram alir penelitian	18
3	(a) Tanaman pisang merah; (b) Tingkat kematangan 85%; (c) Tingkat kematangan 95%	20
4	Struktur antosianin (Castañeda-Ovando <i>et al.</i> 2009)	21
5	Hasil ekstraksi kulit pisang merah (a) Filtrat ekstraksi (b) Filtrat pekat yang telah diuapkan pelarut	21
6	Spektra IR ekstrak kulit pisang merah	22
7	Spektrum absorbansi ekstrak pekat kulit pisang merah	23
8	Perubahan warna antosianin : (a) Suhu 30 °C; (b) Suhu 35°C; (c) Suhu 40°C ; (d) Suhu 50 °C	26
9	Laju penurunan absorbansi antosianin di berbagai suhu pada panjang gelombang 510nm	27

10 Perubahan warna antosianin : (a) Lampu 25 watt; (b) Lampu UV	28
11 Laju penurunan absorbansi antosianin di berbagai sumber cahaya pada panjang gelombang 510nm	29
12 Spektrum absorpsi antosianin pada berbagai pH	30
13 Degradasi absorbansi antosianin pada berbagai pH	30
14 Metode Enkapsulasi Antosianin	43
15 Mikrokapsul Antosianin Kulit Pisang Merah (a) : rasio maltodekstrin : gum arab = 1:2 dan rasio matriks : inti = 3 : 1 (b) rasio maltodekstrin : gum arab = 1:2 dan rasio matriks : inti = 3 : 1 (c) rasio maltodekstrin : gum arab = 1:3 dan rasio matriks : inti = 3 : 2 (d) rasio maltodekstrin : gum arab = 1:3 dan rasio matriks : inti = 3 : 2	45
16 Plot nilai a^* vs b^* mikrokapsul antosianin kulit pisang merah	46
17 Plot nilai <i>Chroma</i> vs <i>Lightness</i> mikrokapsul antosianin kulit pisang merah	46
18 Mikrograp SEM mikrokapsul antosianin (a) Perbesaran 1000x : rasio maltodekstrin: gum arab = 1:2 dan rasio matriks : inti = 3 : 1 (b) Perbesaran 60x: rasio maltodekstrin : gum arab = 1:2 dan rasio matriks : inti = 3 : 2 (c) Perbesaran 1000x: rasio maltodekstrin : gum arab = 1:3 dan rasio matriks : inti = 3 : 1 (d) Perbesaran 60x: rasio maltodekstrin : gum arab = 1:3 dan rasio matriks : inti = 3:2	49
19 Diagram CIELab : Hue vs Chroma perubahan warna mikrokapsul pada berbagai pH	51
20 Tahapan pembuatan <i>thermochromic leuco dye</i>	62
21 Komposit <i>thermochromic leuco dye</i>	64
22 Spektra IR komposit <i>thermochromic leuco dye</i>	66
23 SEM sistem <i>thermochromic leuco dye</i> pada perbesaran 300x (a) TS1 (b) TS2 (c) TS3 (d) TSAK	68
24 Termogram DSC <i>thermochromic</i> sistem	69
25 Komposit <i>thermochromic leuco dye</i> pada berbagai suhu (a) TS1; (b) TS2; (c) TS3; (d) TSAK	71
26 Perubahan nilai a^* , b^* dan L terhadap suhu	72
27 Tahapan aplikasi <i>thermochromic leuco dye</i>	82
28 Termogram DSC <i>thermochromic leuco dye</i> TS2	84
29 Analisis SEM partikel <i>thermochromic leuco dye</i> TS2 pada perbesaran 300x	84
30 Perubahan nilai L, a^* dan b^* pada suhu 33°C	89
31 Perubahan nilai °Hue pada suhu 33°C	91
32 Perubahan label indikator pada suhu dingin dan suhu 33°C pada penyimpanan (a) jam ke-8 (b) jam ke-48 (c) jam ke-72 (d) jam ke-96	91
33 Simulasi model matematis hubungan nilai <i>chroma</i> dan absorpsi	94

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.