

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN .....	iv
DAFTAR PUBLIKASI .....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
INTISARI .....	xxii
ABSTRACT .....	xxiv
 I. PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang dan Permasalahan.....	1
1.1.1. Latar Belakang .....	1
1.1.2. Rumusan Masalah .....	11
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	12
1.2.1. Tujuan Penelitian .....	12
1.2.2. Manfaat Penelitian .....	12
1.3. Kebaruan Penelitian .....	13
 II. TINJAUAN PUSTAKA.....	 14
2.1. Pewarna Makanan.....	14
2.1.1. Manfaat pewarna makanan .....	14
2.1.2. Cara pengukuran warna .....	15
2.2. Klorofil .....	19
2.2.1. Struktur dan karakteristik klorofil .....	19
2.2.2. Degradasi klorofil .....	24
2.2.3. Ekstraksi klorofil .....	30
2.2.4. Peningkatan stabilitas klorofil .....	35
a. Netralisasi asam .....	36
b. Teknik pengolahan dengan HTST .....	36
c. Stabilisasi warna hijau sayuran dengan proses thermal .....	36
d. Aplikasi pembentukan <i>metallochlorophyll</i> .....	37
2.2.5. Identifikasi klorofil dan turunannya.....	44
2.3. Daun Pandan Wangi .....	45
2.4. Enkapsulasi .....	47
2.4.1. Proses enkapsulasi dengan pengering semprot .....	51
2.4.2. Enkapsulan .....	56
a. Maltodekstrin .....	57
b. Siklodekstrin .....	59
c. Pati OSA .....	62

2.5. Aktivitas Antioksidan Klorofil dan Turunannya .....	65
2.5.1. Antioksidan .....	65
2.5.2. Mekanisme antioksidasi klorofil dan turunannya .....	67
2.5.3. Mekanisme prooksidasi klorofil dan turunannya .....	70
2.6. Landasan Teori .....	71
2.7. Hipotesis Penelitian .....	74
III. METODE PENELITIAN.....	77
3.1. Bahan Penelitian .....	77
3.2. Peralatan Penelitian .....	78
3.3. Lokasi Penelitian .....	80
3.4. Tahapan Kegiatan Penelitian .....	80
3.4.1. Tahap I: Evaluasi potensi daun pandan wangi sebagai sumber klorofil dan antioksidan.....	82
a. Tujuan penelitian .....	82
b. Prosedur penelitian .....	82
c. Parameter yang dianalisis .....	87
d. Analisis data .....	88
3.4.2. Tahap II: Evaluasi pengaruh proses cryogrinding terhadap degradasi klorofil, dan stabilitas warna ekstrak daun pandan wangi .....	88
a. Tujuan penelitian .....	88
b. Prosedur penelitian .....	89
c. Parameter yang dianalisis .....	90
d. Analisis data .....	90
3.4.3. Tahap III: Evaluasi pembentukan kompleks <i>metallo-chlorophyll</i> .....	91
a. Tujuan penelitian .....	91
b. Prosedur penelitian .....	91
c. Parameter yang dianalisis .....	93
d. Analisis data .....	93
3.4.4. Tahap IV: Evaluasi peranan enkapsulan dengan HLB medium pada proses mikroenkapsulasi Zn-klorofil.....	94
a. Tujuan penelitian .....	94
b. Prosedur penelitian .....	94
c. Parameter yang dianalisis .....	96
d. Analisis data .....	98
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	99
4.1. Tingkat Ketuaan Daun Pandan Sumber Klorofil dan Antioksidan .....	99
4.1.1. Morfologi daun pandan .....	99
4.1.2. Kadar klorofil daun .....	101
4.1.3. Warna daun .....	102
4.1.4. Kategori tingkat ketuaan daun pandan .....	104
4.1.5. Pengaruh tingkat ketuaan daun terhadap karakteristik kimia .....	106

a.	Kadar klorofil .....	106
b.	Komposisi kimia proksimat, karotenoid, fenolik, dan flavonoid total .....	107
4.1.6.	Pengaruh tingkat ketuaan daun terhadap warna daun.....	108
4.1.7.	Anatomi daun pandan .....	109
4.1.8.	Karakteristik kimia klorofil dan turunannya.....	112
a.	Senyawa klorofil dan turunannya yang teridentifikasi dengan FTIR .....	112
b.	Senyawa klorofil dan turunannya yang teridentifikasi dengan MS/MS.....	113
c.	Kadar karotenoid, fenolik, dan flavonoid total .....	117
4.1.9.	Aktivitas antioksidan klorofil dan turunannya .....	118
a.	Aktivitas penghambatan peroksidasi lipid .....	118
b.	Daya tangkap radikal DPPH .....	120
c.	<i>Ferric reducing/antioxidant power</i> (FRAP) .....	122
d.	<i>Chelating activity</i> .....	124
4.1.10.	Sifat prooksidatif dan antioksidatif klorofil dan turunannya pada proses fotooksidasi asam linoleat .....	127
a.	Efek penambahan ekstrak dan fraksi klorofil dan turunannya terhadap angka peroksida asam linoleat..	127
b.	Efek penambahan ekstrak dan fraksi klorofil dan turunannya terhadap nilai TBARS asam linoleat .....	130
4.1.11.	Kesimpulan penelitian tahap I.....	131
4.2.	Pengaruh Proses <i>Cryogrinding</i> Terhadap Stabilitas Warna, Kadar Klorofil, dan Degradasi Klorofil Daun Pandan .	132
4.2.1.	Pengaruh lama pencelupan dalam nitrogen cair terhadap kadar klorofil dan stabilitas warna ekstrak klorofil.....	132
4.2.2.	Pengaruh lama pencelupan dalam nitrogen cair terhadap stabilitas warna ekstrak klorofil .....	134
4.2.3.	Pengaruh lama pencelupan dalam nitrogen cair terhadap degradasi klorofil selama penggilingan .....	135
4.2.4.	Pengaruh lama penggilingan terhadap kadar klorofil dan degradasi klorofil .....	137
4.2.5.	Kesimpulan penelitian tahap II.....	140
4.3.	Pengaruh Pembentukan Kompleks Zn-Klorofil Terhadap Stabilitas Klorofil .....	140
4.3.1.	Kenampakan visual, warna, dan sifat kimia ekstrak kompleks Zn klorofil.....	140
a.	Kenampakan visual dan warna ekstrak kompleks Zn-klorofil .....	140
b.	Kadar klorofil .....	143
c.	Kadar Zn terikat .....	144
4.3.2.	Pengaruh jenis garam dan konsentrasi $Zn^{2+}$ terhadap stabilitas warna dan retensi klorofil ekstrak Zn-klorofil.	146
a.	Stabilitas warna .....	146
b.	Retensi klorofil .....	149

4.3.3.	Senyawa kompleks Zn-klorofil teridentifikasi.....	150
4.3.4.	Kesimpulan penelitian tahap III .....	153
4.4.	Pengaruh Mikroenkapsulasi Ekstrak Zn Klorofil terhadap Stabilitas Ekstrak Zn;klorofil Daun Pandan.....	153
4.4.1.	Mikrograf enkapsulan dan mikrokapsul Zn klorofil .....	153
a.	Profil mikrograf SEM $\alpha$ -siklodekstrin dan pati OSA	153
b.	Profil mikrograf SEM mikrokapsul Zn-klorofil.....	155
4.4.2.	Karakteristik kimia dan fisik mikrokapsul .....	156
a.	Kadar klorofil mikrokapsul .....	156
b.	Ukuran partikel mikrokapsul.....	157
c.	Nilai warna <i>hue</i> mikrokapsul .....	158
d.	Efisiensi mikroenkapsulasi.....	159
e.	Waktu pelepasan klorofil .....	162
4.4.3.	Stabilitas mikrokapsul turunan klorofil pada model sistem emulsi O/W .....	163
a.	Retensi klorofil .....	163
b.	Nilai warna a .....	165
c.	Laju peroksidasi asam linoleat .....	167
4.4.4.	Stabilitas mikrokapsul Zn-klorofil pada berbagai variasi pH.....	171
a.	Retensi klorofil .....	171
b.	Stabilitas warna.....	173
4.4.5.	Karakteristik Mikrokapsul Zn-Klorofil .....	175
4.4.6.	Kesimpulan penelitian tahap IV .....	178
4.5.	Pembahasan Umum .....	179
V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	191
5.1.	Kesimpulan .....	191
5.2.	Saran .....	192
	DAFTAR PUSTAKA .....	193
	LAMPIRAN .....	217
	LAMPIRAN I. PROSEDUR ANALISIS.....	217
	LAMPIRAN II. ANALISIS STATISTIK DATA PENELITIAN .....	235
	LAMPIRAN III. BUKTI ANALISIS DATA LAINNYA .....	295

## DAFTAR TABEL

1.1.	Kebaruan penelitian dibandingkan penelitian sebelumnya .....	13
2.1.	Karakteristik gugus klorofil .....	22
2.2.	Struktur klorofil pada berbagai bahan pangan dan klorofil komersial.....	29
2.3.	Karakteristik warna klorofil a dan b serta hasil degradasinya .....	30
2.4.	Berbagai hasil penelitian tentang optimasi metode ekstraksi klorofil .....	32
2.5.	Komposisi kimia daun pandan wangi .....	46
2.6.	Karakteristik $\alpha$ , $\beta$ , dan $\gamma$ -siklodekstrin .....	60
2.7.	Matriks keterkaitan tujuan penelitian, hipotesis, pendekatan metode dan parameter analisis.....	75
3.1.	Pengkelompokan tingkat ketuaan daun pandan.....	83
3.2.	Parameter yang dianalisis pada penelitian tahap I .....	87
3.3.	Parameter yang dianalisis pada penelitian tahap II .....	90
3.4.	Kebutuhan larutan standar $Zn^{2+}$ dalam 60 ml ekstrak klorofil .....	93
3.5.	Parameter yang dianalisis pada penelitian tahap III.....	93
3.6.	Kebutuhan total material dinding enkapsulan (15% atau 45 g)....	95
3.7.	Parameter yang dianalisis pada penelitian tahap IV.....	96
4.1.	Karakteristik kebun pandan di Kabupaten Bantul .....	100
4.2.	Karakteristik kimia proksimat daun pandan pada berbagai tingkat ketuaan .....	108
4.3.	Kadar karotenoid, fenolik dan flavonoid daun pandan pada berbagai tingkat ketuaan .....	108
4.4.	Ukuran mesofil, panjang aerenkim dan kloroplas daun pandan pada berbagai tingkat ketuaan daun .....	110
4.5.	Fraksi klorofil dan turunannya yang terfragmentasi berdasarkan spektra MS/MS .....	116
4.6.	Laju oksidasi dan laju pembentukan MDA pada asam linoleat dengan penambahan ekstrak dan fraksi klorofil dan turunannya dalam paparan cahaya 5000 lux selama 4 hari.....	130
4.7.	Kadar klorofil <i>a</i> , <i>b</i> dan total ekstrak klorofil daun pandan, suhu akhir dan ukuran partikel hasil penggilingan pada berbagai variasi lama pencelupan pada nitrogen cair .....	132
4.8.	Nilai warna ekstrak klorofil daun pandan dan suhu akhir dan ukuran partikel bubuk daun pandan setelah penggilingan pada berbagai variasi lama pencelupan pada nitrogen cair .....	134
4.9.	Presentase komponen hasil pemisahan ekstrak klorofil daun pandan dengan TLC silica gel GF254 dan fase pelarut heksan: diethyl ether: aseton (6:3:2, v/v/v) pada berbagai variasi lama pencelupan dalam nitrogen cair (0, 1, 2 dan 3 menit) dan penggilingan selama 3 menit (%) .....	136
4.10.	Kadar klorofil <i>a</i> , <i>b</i> dan total ekstrak klorofil daun pandan pada berbagai variasi lama penggilingan .....	138

4.11.	Komponen hasil separasi ekstrak klorofil daun pandan dengan TLC silica gel GF254 dan fase pelarut heksan: diethyl ether: aseton (6:3:2, v/v/v) pada berbagai variasi lama penggilingan (1, 2 dan 3 menit) dan control (tanpa pencelupan dengan lama penggilingan 3 menit) .....	139
4.12.	Kadar klorofil total ekstrak kompleks Zn-klorofil pada berbagai variasi jenis reagen pembentuk kompleks (Zn asetat dan ZnCl <sub>2</sub> ) dan variasi konsentrasi Zn <sup>2+</sup> (0, 200, 300, 400 dan 500 ppm) ....	144
4.13.	Kadar klorofil, ukuran partikel, warna mikrokapsul, dan efisiensi mikroenkapsulasi .....	156
4.14.	Laju fotodegradasi klorofil (B: Δ kadar klorofil/hari) dan koefisien determinasi (r <sup>2</sup> ) pada sistem emulsi O/W yang ditambah dengan berbagai variasi sumber klorofil dengan konsentrasi klorofil 100 ppm selama 4 hari .....	165
4.15.	Laju peroksidasi asam linoleat (B: Δ kadar lipid hidroperoksida/hari) dan koefisien determinasi (r <sup>2</sup> ) pada sistem emulsi O/W yang ditambah dengan berbagai variasi sumber klorofil dengan konsentrasi klorofil 100 ppm selama 4 hari .....	168
4.16.	Karakteristik kimia mikrokapsul Zn klorofil dengan enkapsulan α siklodekstrin .....	176
4.17.	Aktivitas antioksidan ekstrak dan fraksi klorofil dan turunannya..	180
4.18.	Perubahan bahan selama ekstraksi daun pandan wangi, proses <i>cryogrinding</i> dan proses mikroenkapsulasi Zn;klorofil .....	189

## DAFTAR GAMBAR

2.1.	Sistem warna menurut ICI.....	16
2.2.	Sistem warna Hunter.....	18
2.3.	Struktur kimia klorofil a dan b.....	20
2.4.	Struktur klorofil a .....	21
2.5.	Degradasi pigmen klorofil dan faktor penyebabnya.....	25
2.6.	Degradasi klorofil selama pengolahan dan penyimpanan .....	26
2.7.	Struktur klorofil pada pangan.....	28
2.8.	Reaksi kimia yang terjadi selama pemanasan sayuran hijau pada larutan $Zn^{2+}$ atau $Cu^{2+}$ .....	39
2.9.	Skema morfologi mikrokapsul.....	50
2.10.	Interaksi antara klorofil sebagai bahan inti dan maltodekstrin sebagai bahan pembentuk dinding dalam proses mikroenkapsulasi.....	59
2.11.	Struktur kimia siklodekstrin.....	60
2.12.	Interaksi dalam pembentukan kompleks inklusi antara siklodekstrin sebagai <i>host</i> dan komponen yang dienkapsulasi .....	62
2.13.	Modifikasi pati dengan oktenil suksinat ahidrid.....	63
3.1.	Diagram <i>Fishbone</i> penelitian disertasi .....	81
3.2.	Diagram alir penelitian tahap I.....	82
3.3.	Diagram alir penelitian tahap II.....	89
3.4.	Diagram alir penelitian tahap III.....	92
3.5.	Diagram alir penelitian tahap IV.....	95
4.1.	Tanaman pandan .....	100
4.2.	Kadar klorofil a (C-a), b (C-b) dan total (C a+b) daun pandan pada masing-masing kebun di Kabupaten Bantul.....	102
4.3.	Nilai warna daun pandan dari berbagai lokasi kebun di Kabupaten Bantul; <i>greenness</i> (-a value), <i>yellowness</i> (b value), <i>colour saturation</i> (chroma) and <i>hue angle</i> (hue) .....	103
4.4.	Cara penomoran ruas daun pandan .....	105
4.5.	Frekuensi tanaman pandan berdasarkan kelompok ruas daunnya.....	105
4.6.	Klorofil total (Ch a+b), Klorofil a (Ch-a) and Klorofil b (Ch-b) pada berbagai tingkat ketuaan daun .....	106
4.7.	Nilai warna daun pandan pada berbagai tingkat ketuaan daun; <i>greenness</i> (-a value), <i>yellowness</i> (b value), <i>colour saturation</i> (chroma) and <i>hue angle</i> ( $^{\circ}h$ ).....	109
4.8.	Fotomikrografi penampang melintang daun pandan (A) dan kloroplast (B). Kelompok: 1: muda 2: medium, 3: tua, dan 4: sangat tua. EPB: Lower Epidermis, EPA: Upper Epidermis, HIPO: Hypodermis, F: Phloem, X: Xylem, dan AE: Aerenchyma. Bar : 100 $\mu m$ .....	111



4.9.	Spektra FTIR klorofil daun pandan dan turunannya .....	113
4.10.	Spektra MS/MS ion [M+] dari klorofil a, klorofil b, feofitin a, klorofilid a, dan feoforbid .....	115
4.11.	Kadar karotenoid total (mg/L), fenolik (mg EAG/L), dan flavonoid total (mg EQ/L) ekstrak klorofil daun pandan dan turunannya. Chl: ekstrak klorofil, Pht: ekstrak feofitin, Chd: ekstrak klorofilid, Phb: ekstrak feoforbid .....	117
4.12.	Aktivitas antioksidan ekstrak klorofil daun pandan dan turunannya yang diukur dengan metode FTC. Chl: ekstrak klorofil, Pht: ekstrak feofitin, Chd: ekstrak klorofilid, Phb: ekstrak feoforbid. Konsentrasi ekstrak 100 ppm.....	119
4.13.	Daya tangkap radikal DPPH ekstrak klorofil daun pandan dan turunannya. Chl: ekstrak klorofil, Pht: ekstrak feofitin, Chd: ekstrak klorofilid, Phb: ekstrak feoforbid. Konsentrasi ekstrak 100 ppm.....	121
4.14.	Nilai FRAP ekstrak klorofil daun pandan dan turunannya yang diukur dengan metode FTC. Chl: ekstrak klorofil, Pht: ekstrak feofitin, Chd: ekstrak klorofilid, Phb: ekstrak feoforbid dan AA: asam askorbat. Konsentrasi ekstrak 100 ppm.....	123
4.15.	Daya tangkap $Fe^{2+}$ ekstrak klorofil daun pandan dan turunannya yang diukur dengan metode FTC. Chl: ekstrak klorofil, Pht: ekstrak feofitin, Chd: ekstrak klorofilid, Phb: ekstrak feoforbid. Konsentrasi ekstrak dan EDTA 5 ppm.....	125
4.16.	Angka peroksida asam linoleat yang ditambah ekstrak (a) dan fraksi (b) klorofil dan turunannya dalam paparan cahaya 5000 lux selama 8 hari (Chl: klorofil, Pht: feofitin Chd: klorofilid, Phb: feoforbid. CD: kontrol yang disimpan dalam gelap, CL: kontrol yang disimpan dalam paparan cahaya. Konsentrasi ekstrak atau fraksi 100 ppm) .....	128
4.17.	Kadar MDA asam linoleat yang ditambah ekstrak (a) dan fraksi (b) klorofil dan turunannya dalam paparan cahaya 5000 lux selama 8 hari (Chl: klorofil, Pht: feofitin Chd: klorofilid, Phb: feoforbid. CD: kontrol yang disimpan dalam gelap, CL: kontrol yang disimpan dalam paparan cahaya. Konsentrasi ekstrak atau fraksi 100 ppm) .....	130
4.18.	Hasil pemisahan ekstrak klorofil daun pandan dengan TLC silica gel GF254 dan fase pelarut heksan: dietil eter: aseton (6:3:2, v/v/v) pada berbagai variasi lama pencelupan dalam nitrogen cair (0, 1, 2 and 3 menit) (Extract volume spotting 6 $\mu$ L) .....	135
4.19.	Hasil TLC <i>scanner</i> pemisahan ekstrak klorofil daun pandan dengan TLC silica gel GF254 dan fase pelarut heksan: dietil eter: aseton (6:3:2, v/v/v) pada berbagai variasi lama pencelupan dalam nitrogen cair (P0: tanpa pencelupan, P1: pencelupan 1 menit, P2: pencelupan 2 menit dan P3: pencelupan 3 menit) (Extract volume spotting 6 $\mu$ L) .....	136
4.20.	Hasil pemisahan ekstrak klorofil daun pandan dengan TLC silica	



	gel GF254 dan fase pelarut heksan: dietil eter: aseton (6:3:2, v/v/v) pada berbagai variasi lama penggilingan (G: 1, 2 and 3 menit) dengan pembanding tanpa pencelupan dan lama penggilingan 3 menit (Extract volume spotting 3X4 $\mu$ L).....	138
4.21.	Pengaruh berbagai variasi jenis garam Zn pembentuk kompleks (a. Zn asetat dan b. $ZnCl_2$ ) dan konsentrasi $Zn^{2+}$ (0, 200, 300, 400 dan 500 ppm) terhadap kenampakan visual ekstrak kompleks Zn-klorofil .....	141
4.22.	Intensitas warna hijau (-a) kompleks Zn-klorofil dengan variasi jenis reagen pembentuk kompleks Zn asetat dan $ZnCl_2$ dan variasi konsentrasi $Zn^{2+}$ 0, 200, 300, 400 dan 500 ppm .....	142
4.23.	Nilai warna hue kompleks Zn-klorofil dengan variasi jenis reagen pembentuk kompleks Zn asetat dan $ZnCl_2$ dan variasi konsentrasi $Zn^{2+}$ (0, 200, 300, 400 dan 500 ppm) .....	142
4.24.	Pola hubungan kadar Zn terikat (Zn) dan kadar klorofil total ekstrak (Chl) kompleks Zn-klorofil pada berbagai variasi jenis reagen pembentuk kompleks (ZA: Zn asetat dan ZC: $ZnCl_2$ ) dan variasi konsentrasi $Zn^{2+}$ (0, 200, 300, 400 dan 500 ppm).....	145
4.25.	Kenampakan visual ekstrak kompleks Zn-klorofil pada berbagai variasi jenis reagen pembentuk kompleks (Zn asetat dan $ZnCl_2$ ) dan konsentrasi $Zn^{2+}$ (0, 200, 300, 400 dan 500 ppm) pada konsentrasi ekstrak Zn-klorofil 200 ppm sebelum dan sesudah pemanasan dalam waterbatch pada suhu 50 $^{\circ}$ C selama 24 jam.	147
4.26.	Stabilitas warna hue kompleks Zn-klorofil dengan variasi jenis reagen pembentuk kompleks Zn asetat (ZA) dan $ZnCl_2$ (ZC) sebelum dan sesudah pemanasan dalam waterbatch pada suhu 50 $^{\circ}$ C selama 24 jam dan konsentrasi ekstrak 200 ppm .....	148
4.27.	Total perbedaan warna ( $\Delta E^*$ ) kompleks Zn-klorofil dengan variasi jenis reagen pembentuk kompleks Zn asetat (ZA) dan $ZnCl_2$ (ZC) sebelum dan sesudah pemanasan dalam waterbatch pada suhu 50 $^{\circ}$ C selama 24 jam dan konsentrasi ekstrak 200 ppm.	148
4.28.	Retensi klorofil Stabilitas intensitas warna hue kompleks Zn klorofil dengan variasi jenis reagen pembentuk kompleks Zn asetat (ZA) dan $ZnCl_2$ (ZC) sebelum dan sesudah pemanasan dalam waterbatch pada suhu 50 $^{\circ}$ C selama 24 jam dan konsentrasi ekstrak 200 ppm.....	150
4.29.	Spektra hasil MS/MS ion $[M^+]$ dari fraksi Zn-klorofil pada kisaran m/z 500-1000 (a) dan 800-1000 (b) .....	151
4.30.	Mekanisme pembentukan Zn feofitin dan Zn pirofeofitin .....	152
4.31.	Mikrograf SEM bahan pembentuk dinding enkapsulan (a, $\alpha$ -sikloedekstrin dan b, pati oktenil suksinat anhidrid) .....	154
4.32.	Mikrograf mikrokapsul Zn klorofil dalam berbagai variasi tingkatan HLB.....	155
4.33.	Inklusi Zn-klorofil dengan pati OSA.....	159
4.34.	Pembentukan inklusi dan agregat $\alpha$ -sikloedekstrin dengan Zn-klorofil .....	161

4.35.	Waktu pelepasan klorofil total dalam berbagai variasi tingkatan HLB enkapsulan pada suhu ruang dengan mikrokapsul 1 g/100 ml aquades dan kecepatan pengadukan 400 rpm .....	162
4.36.	Retensi klorofil sistem emulsi O/W yang ditambah dengan berbagai variasi sumber klorofil (A: mikrokapsul Zn klorofil, B: ekstrak Zn klorofil, C: ekstrak klorofil asli, dan D: Cu-klorofilin dalam paparan cahaya (a. 500 lux, b. 1500 lux dan c. 2500 lux) dengan konsentrasi klorofil 100 ppm .....	164
4.37.	Nilai warna a sistem emulsi O/W yang ditambah dengan berbagai variasi sumber klorofil (A: mikrokapsul Zn klorofil, B: ekstrak Zn klorofil, C: ekstrak klorofil asli, dan D: Cu-klorofilin dalam paparan cahaya (a. 500 lux, b. 1500 lux dan c. 2500 lux) dengan konsentrasi klorofil 100 ppm .....	166
4.38.	Retensi klorofil mikrokapsul Zn klorofil dan Cu klorofil pada berbagai variasi pH medium setelah dipanaskan 100 °C selama 20 menit .....	172
4.39.	Nilai warna hijau (-a) mikrokapsul Zn klorofil dan Cu klorofil pada berbagai variasi pH medium sebelum dan setelah dipanaskan 100 °C selama 20 menit .....	174
4.40.	Nilai warna <i>hue</i> (°h) mikrokapsul Zn klorofil dan Cu klorofil pada berbagai variasi pH medium sebelum dan setelah dipanaskan 100 °C selama 20 menit .....	174
4.41.	Total perbedaan warna ( $\Delta E^*$ ) mikrokapsul Zn klorofil dan Cu klorofil pada berbagai variasi pH medium sebelum dan setelah dipanaskan 100 °C selama 20 menit .....	175
4.42.	Hasil analisis kandungan 2-asetil-1-pirolin dalam mikrokapsul Zn klorofil.....	177

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. PROSEDUR ANALISIS.....	217
1.1. Prosedur analisis penelitian tahap I... ..	217
1.1.1. Analisis kadar klorofil total, <i>a</i> dan <i>b</i> .....	217
1.1.2. Pengukuran warna.....	217
1.1.3. Analisis kadar karotenoid .....	218
1.1.4. Kadar fenolik total .....	218
1.1.5. Kadar flavonoid .....	219
1.1.6. Komposisi kimia secara proksimat .....	219
1.1.7. Morfologi daun pandan wangi .....	219
1.1.8. Analisis kadar klorofil, feofitin, klorofilid dan feoforbid.....	220
1.1.9. Identifikasi senyawa klorofil dan turunannya dengan FTIR.....	221
1.1.10. Identifikasi senyawa klorofil dan turunannya dengan MS/MS...	221
1.1.11. Uji aktivitas antioksidan ekstrak klorofil dan turunannya.....	221
1.1.12. Uji aktivitas prooksidan dan antioksidan klorofil dan turunannya dalam asam linoleat .....	224
1.2. Prosedur analisis penelitian Tahap II .....	225
1.2.1. Kadar klorofil total, <i>a</i> dan <i>b</i> .....	225
1.2.2. Pengukuran warna .....	225
1.2.3. Identifikasi degradasi klorofil dengan TLC dan TLC scanner....	226
1.2.4. Suhu bubur daun pandan.....	226
1.2.5. Ukuran partikel bubur daun pandan .....	226
1.3. Prosedur analisis penelitian Tahap III.....	227
1.3.1. Pengukuran warna .....	227
1.3.2. Kadar klorofil total, <i>a</i> dan <i>b</i> .....	227
1.3.3. Kadar Zn dan Mg terikat .....	227
1.3.4. Pengukuran stabilitas warna akibat pemanasan.....	228
1.3.5. Retensi klorofil .....	228
1.3.6. Identifikasi senyawa Zn-klorofil yang terbentuk .....	229
1.4. Prosedur analisis penelitian Tahap IV.....	229
1.4.1. Morfologi enkapsulan dan mikrokapsul .....	229
1.4.2. Kadar klorofil total, <i>a</i> dan <i>b</i> .....	230
1.4.3. Penentuan ukuran partikel.....	230
1.4.4. Pengukuran warna mikrokapsul .....	230
1.4.5. Efisiensi mikroenkapsulasi.....	230
1.4.6. Uji waktu pelepasan Zn-klorofil.....	231
1.4.7. Uji stabilitas mikrokapsul dalam sistem emulsi O/W .....	232
1.4.8. Uji stabilitas mikrokapsul Zn-klorofil akibat perubahan pH .....	233

1.4.9. Identifikasi kandungan 2-asetil-1-pirolin dengan HRMS.....	234
1.4.10. Analisis kadar mineral mikrokapsul .....	234
LAMPIRAN II. HASIL ANALISIS STATISTIK .....	235
2.1. Analisis statistik data penelitian tahap I... ..	235
2.1.1. Kadar klorofil total, a dan b.....	235
2.1.2. Warna daun .....	237
2.1.3. Kadar klorofil daun berdasarkan tingkat ketuaan .....	239
2.1.4. Komposisi kimia proksimat berdasarkan tingkat ketuaan .....	240
2.1.5. Kadar karotenoid, fenolik dan flavonoid total .....	242
2.1.6. Analisis korelasi antara kadar klorofil dengan kadar karotenoid, fenolik dan flavonoid total .....	244
2.1.7. Warna daun berdasarkan tingkat ketuaan .....	244
2.1.8. Ukuran mesofil, Panjang aerenkim, dan kloroplas daun.....	246
2.1.9. Kadar fenolik, flavonoid, dan karatenoid total ekstrak klorofil dan turunannya.....	248
2.1.10. Analisis perbandingan koefisien regresi garis penghambatan peroksidasi lipid .....	249
2.1.11. Daya tangkap radikal DPPH.....	250
2.1.12. FRAP.....	251
2.1.13. <i>Chelating activity</i> .....	252
2.1.14. Uji perbandingan koefisien regresi garis angka peroksida .....	254
2.1.15. Uji perbandingan koefisien regresi garis TBARS .....	256
2.2. Analisis statistik data penelitian tahap II .....	258
2.2.1. Kadar klorofil ekstrak klorofil .....	258
2.2.2. Suhu akhir penggilingan, ukuran partikel pada variasi lama pencelupan.....	259
2.2.3. Warna ekstrak pada variasi lama pencelupan .....	260
2.2.4. Kadar klorofil ekstrak klorofil pada variasi lama penggilingan .....	262
2.2.5. Suhu akhir penggilingan pada variasi lama penggilingan .....	264
2.3. Analisis statistik data penelitian tahap III .....	265
2.3.1. Warna ekstrak Zn-klorofil .....	265
2.3.2. Kadar klorofil total ekstrak Zn-klorofil. ....	268
2.3.3. Kadar Zn terikat .....	269
2.3.4. Stabilitas warna <i>hue</i> selama proses pemanasan.....	271
2.3.5. Uji perbandingan laju fotodegradasi klorofil ekstrak Zn-klorofil .....	274
2.4. Analisis statistik data penelitian tahap IV .....	275
2.4.1. Kadar klorofil mikrokapsul .....	275
2.4.2. Ukuran partikel mikrokapsul Zn-klorofil .....	276
2.4.3. Warna mikrokapsul Zn-klorofil.....	277

2.4.4. Efisiensi enkapsulasi .....	278
2.4.5. Waktu pelepasan Zn-klorofil mikrokapsul .....	279
2.4.6. Stabilitas klorofil mikrokapsul Zn klorofil pada model sistem emulsi O/W dengan paparan cahaya .....	279
2.4.7. Stabilitas warna mikrokapsul Zn klorofil pada model sistem emulsi O/W dengan paparan cahaya .....	282
2.4.8. Uji perbandingan laju peroksidasi asam linoleat pada sistem emulsi O/W dengan paparan cahaya .....	283
2.4.9. Retensi klorofil mikrokapsul Zn-klorofil pada berbagai variasi pH medium .....	288
2.4.10. Stabilitas warna mikrokapsul Zn-klorofil pada berbagai variasi pH medium.....	289
2.4.11. Total perubahan warna ( $\Delta E^*$ ) mikrokapsul Zn-klorofil pada berbagai variasi pH medium.....	293
2.4.12. Karakteristik mikrokapsul Zn-klorofil .....	294
 LAMPIRAN III. BUKTI ANALISIS DATA LAINNYA .....	 295
3.1. Surat Keterangan Determinasi Tanaman .....	295
3.2. Spektra senyawa klorofil dan turunannya dengan FTIR .....	296
3.3. Spektra senyawa klorofil dan turunannya dengan MS/MS .....	297
3.4. Proses <i>cryogrinding</i> dan hasil separasi ekstrak klorofil .....	302
3.5. Hasil analisis TLC scanner pemisahan ekstrak klorofil .....	303
3.6. Spektra identifikasi senyawa Zn klorofil dengan MS/MS.....	309
3.7. Hasil pengukuran ukuran partikel mikrokapsul dengan PSA Horiba.....	310
3.8. Spektra senyawa flavor dalam mikrokapsul Zn klorofil daun pandan dengan UHPLC-HRMS .....	313