

OPTIMASI FORMULA CANGKANG KAPSUL LUNAK BERBAHAN BAKU MODIFIKASI PATI HIDROKSIPROPIL DENGAN PENAMBAHAN IOTA KARAGENAN DAN PLASTISISER

TAUFIK HIDAYAT



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

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 IPB University

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul "Optimasi Formula Cangkang Kapsul Lunak Berbahan Baku Modifikasi Pati Hidroksipropil dengan Penambahan Iota Karagenan dan Plastisiser" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal dari atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian disertasi ini.

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

Bogor, Mei 2026

Taufik Hidayat
F3601222014



RINGKASAN

TAUFIK HIDAYAT. Optimasi Formula Cangkang Kapsul Lunak Berbahan Baku Modifikasi Pati Hidroksipropil dengan Penambahan Iota Karagenan dan Plastilisier. Dibimbing oleh KHASWAR SYAMSU, TITI CANDRA SUNARTI, MALA NURILMALA, dan LAMHOT PARULIAN MANALU.

Permintaan terhadap cangkang kapsul lunak berbasis nabati meningkat seiring isu kehalalan, alergi terhadap gelatin hewani dan preferensi konsumen terhadap produk vegan. Kapsul lunak konvensional umumnya menggunakan gelatin sebagai bahan pembentuk cangkang, namun memiliki sejumlah keterbatasan, seperti kerentanan terhadap kelembaban, isu agama dan potensi degradasi termal. Oleh karena itu, pencarian alternatif bahan non-hewani menjadi penting. Pati termodifikasi, khususnya pati hidroksipropil singkong (PHPS) dan iota karagenan dipilih sebagai kandidat utama karena ketersediaannya tinggi di Indonesia serta sifat fungsionalnya yang mendukung pembentukan film elastis dan stabil. Penelitian ini bertujuan mengembangkan formulasi cangkang kapsul lunak berbasis PHPS dan iota karagenan dengan pendekatan optimasi formula *scale-down methodology* pada skala laboratorium.

Penelitian dimulai dengan karakterisasi empat jenis pati termodifikasi, yaitu singkong, sagu, kentang dan jagung yang telah dimodifikasi melalui hidroksipropilasi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa PHPS memiliki derajat substitusi tertinggi (0,104), kelarutan dan *swelling power* optimal, serta viskositas puncak yang tinggi sehingga menjadikannya bahan dasar terbaik. Sementara itu, iota karagenan yang berasal dari rumput laut *E. spinosum* dipilih karena memiliki sifat elastis, mampu membentuk gel stabil dan kompatibel dengan pati untuk membentuk matriks film. Formula cangkang kapsul lunak kemudian dioptimalkan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan parameter evaluasi meliputi ketebalan film, kadar air, kekuatan *burst*, waktu disintegrasi, dan kelarutan.

Formula optimum (TH2) terdiri atas 28,75% PHPS, 0,55% iota karagenan, 13,95% sorbitol, dan 11,53% gliserol. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa film kapsul memiliki ketebalan 0,081 mm, kadar air 9,3%, dan kekuatan *burst* sebesar 87 kPa. Formula ini memenuhi standar farmasetik untuk waktu disintegrasi dan kelarutan, serta menunjukkan stabilitas fisik yang baik selama penyimpanan. Evaluasi umur simpan dengan pendekatan akselerasi kurva isothermis menunjukkan bahwa kapsul dapat bertahan hingga 3,6 tahun. Kapsul yang dihasilkan juga menunjukkan kemudahan *sealing*, kestabilan bentuk dan tidak mengalami kebocoran yang menunjukkan keberhasilan kombinasi bahan dalam menghasilkan cangkang kapsul lunak berbasis nabati.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan cangkang kapsul lunak non-gelatin melalui pendekatan ilmiah yang terukur dan sistematis. Temuan ini membuka peluang untuk pengembangan cangkang kapsul lunak halal, vegan, dan ramah lingkungan, serta memperkuat potensi pemanfaatan sumber daya lokal seperti singkong dan rumput laut dalam sediaan farmasi dan suplemen kesehatan.

Kata kunci: disintegrasi, hidroksipropil pati singkong, iota karagenan, cangkang kapsul lunak, optimasi formulasi



SUMMARY

TAUFIK HIDAYAT. Optimization of Soft Capsule Shell Formulation Based on Modified Hydroxypropyl Starch with the Addition of Iota-Carrageenan and Plasticizers. Supervised by KHASWAR SYAMSU, TITI CANDRA SUNARTI, MALA NURILMALA, and LAMHOT PARULIAN MANALU.

Concerns over halal certification, allergies to animal-derived gelatin, and the rise of vegan lifestyles drive the growing demand for plant-based soft capsules. Conventional soft capsules, typically made from gelatin, face limitations such as moisture sensitivity, religious restrictions, and poor thermal stability. Thus, finding non-animal-based alternatives has become crucial. This study aimed to develop a plant-based soft capsule formulation using cassava-based hydroxypropyl starch (PHPS) and iota-carrageenan, both abundant in Indonesia and with favorable functional properties for film formation. The research employed a laboratory-scale formulation-optimization approach to evaluate their potential as capsule-shell materials.

The study began by characterizing four types of hydroxypropyl-modified starches (cassava, sago, potato, and corn). Cassava starch demonstrated the highest degree of substitution (0,104) and favorable solubility, *swelling power*, and peak viscosity, making it the most suitable for further development. Iota-carrageenan, derived from *Eucheuma spinosum* seaweed, was selected for its elastic gel-forming properties and compatibility with starch matrices. The formulation was optimized using Response Surface Methodology (RSM), considering key film parameters, including thickness, moisture content, burst strength, disintegration time, and solubility.

The optimized formula (TH2) contained 28.75% PHPS, 0.55% iota-carrageenan, 13.95% sorbitol, and 11.53% glycerol. The resulting film exhibited optimal thickness (0.081 mm), low moisture content (9.3%), and high burst strength (87 kPa). Disintegration and solubility tests confirmed compliance with pharmaceutical standards. Stability testing predicted a shelf life of up to 453 days. The soft capsules showed good sealability, maintained structural integrity, and were free of leakage, demonstrating that the selected combination of materials effectively produced a stable and functional plant-based soft capsule.

This study significantly contributes to the development of halal, vegan, and environmentally friendly soft capsules through a systematic, data-driven approach. The findings offer strong potential for commercialization and support the local utilization of cassava starch and seaweed-derived carrageenan in pharmaceutical and nutraceutical applications.

Keywords: cassava hydroxypropyl starch, disintegration, formulation optimization, iota-carrageenan, soft capsule

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 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.

**OPTIMASI FORMULA CANGKANG KAPSUL LUNAK BERBAHAN BAKU
MODIFIKASI PATI HIDROKSIPROPIL DENGAN PENAMBAHAN IOTA
KARAGENAN DAN PLASTISISER**

TAUFIK HIDAYAT

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

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Prof.Dr. Nugraha Edi Suyatma, S.TP DEA
2. Mulyana Hadipernata, STP, MSc, PhD

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Prof Dr. Nugraha Edi Suyatma, S.TP DEA
2. Mulyana Hadipernata STP, M.Sc, PhD

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 : Optimasi Formula Cangkang Kapsul lunak Berbahan Baku Modifikasi Pati Hidroksipropil Dengan Penambahan Iota Karagenan dan Plastisiser

Nama : Taufik Hidayat

NIM : F3601222014

@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.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, M.Sc-stat



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Titi Candra Sunarti, M.Si



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Mala Nurilmala S.Pi M.Si



Pembimbing 4:
Prof Dr. Ir. Lamhot Parulian Manalu MSi



Diketahui oleh Ketua

Program Studi Teknik Industri Pertanian

Prof. Dr. Ir. Suprihatin

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi
Prof. Dr. Ir. Slamet Budjianto, M. Agr.

Tanggal Ujian Terutup : 9 April 2026
Tanggal Ujian Terbuka : 7 Mei 2026

Tanggal Lulus :

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian ini adalah Optimasi Formula Cangkang Kapsul lunak Berbahan Baku Modifikasi Pati Hidroksipropil Dengan Penambahan Iota Karagenan dan Plastisiser.

Penulisan karya ilmiah ini dapat diselesaikan atas bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan kepada: 1). Para pembimbing Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, MSc, Prof. Dr. Ir. Titi Candra Sunarti, MSi, Prof. Dr. Mala Nurilmala, SPi., MSi dan Prof Dr. Ir. Lamhot Parulian Manalu, MS yang telah membimbing dan banyak memberi saran; 2). Prof. Dr. Endang Warsiki dan Mulyana Hadipernata selaku penguji luar komisi prelim lisan; 3). Prof Dr. Nugraha Edi Suyatma, DEA dan Mulyana Hadipernata, STP., MSc., PhD selaku penguji luar komisi sidang tertutup; 4). Prof Dr. Nugraha Edi Suyatma, DEA dan Mulyana Hadipernata, STP., MSc., PhD selaku penguji luar komisi sidang promosi; 5). Dr. Dwi Setyaningsih selaku moderator kolokium; 6). Prof. Dr. Ir. Tineke Mandang MS selaku moderator seminar; 7). Prof. Dr. Illah Sailah, MS dan Prof. Dr. Taufik, S.TP., M.Si., dan Dr. Andes Ismayana ST MT selaku Ketua, Wakil dan Sekretaris Program Doktor Teknik Industri Pertanian IPB, yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi dan semangat bagi penulis; 8). Direktur Manajemen Talenta BRIN atas beasiswa yang diberikan melalui program *Degree by Research*; 9). Kepala BRIN Prof. Dr. Arif Satria dan jajaran pimpinan BRIN atas dukungannya; 10). Kepala Organisasi Pertanian Pangan Puji Lestari STP MSc PhD yang telah memberikan dorongan dan support untuk menyelesaikan studi; 11). Kepala Organisasi Riset Energi dan Manufaktur Prof Dr. Cuk Supriadi Ali Nandar yang memberikan semangat untuk segera menyelesaikan studi ; 12). Keluarga besar PT NCU Bu Anne dan tim terima kasih atas kerjasamanya yang baik 14). Orang tua tercinta Yujasril Raza dan Almarhum Dra Fatimah Tanjung atas segala kasih sayang dan doa kepada ananda, 15) Adik tercinta Defit, Ira, dan Sita atas semangatnya, dan 16) terkhusus untuk Istri tercinta Marisa Permatasari, SPi, dan anak-anak terkasih Shafah, Rufa, dan Firas, yang selalu mendoakan, mendukung, memberikan semangat, dan cinta kasih yang diberikan bagi penulis.

Apresiasi dan terima kasih juga penulis sampaikan untuk semua yang pihak terlibat dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, selama penulisan karya ilmiah ini. Penulis menyadari penulisan disertasi ini masih memiliki banyak kekurangan, Semoga karya ilmiah ini tetap dapat memberi manfaat dan kontribusi nyata terhadap kemajuan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang Teknik Industri Pertanian.

Bogor, April 2026

Taufik Hidayat

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Kebaruan	4
II KARAKTERISTIK DAN PEMILIHAN BAHAN BAKU	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Tinjauan Pustaka	7
2.2.1 Pati Termodifikasi	7
2.2.2 Modifikasi Hidroksipropil	8
2.3 Metode	9
2.3.1 Lokasi, Waktu, Bahan dan Alat penelitian	9
2.3.2 Tahapan Penelitian	10
2.3.3 Analisis Pati Hidroksipropil	10
2.3.4 Analisis Iota Karagenan	13
2.3.5 Rancangan Percobaan	15
2.3.6 Uji Zeleny	16
2.3.7 Analisa Data	16
2.4 Hasil dan Pembahasan	16
2.4.1 Derajat Substitusi (DS)	16
2.4.2 <i>Water and Oil Holding Capacity</i>	18
2.4.3 <i>Swelling Power</i> dan Kelarutan	20
2.4.4 <i>Pasting Properties</i>	22
2.4.5 <i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i>	24
2.4.6 Penentuan Modifikasi Pati Terpilih	26
2.4.7 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	26
2.4.8 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	28
2.4.9 Karakteristik Iota Karagenan	30
2.4.10 Profil RVA Campuran Modifikasi Pati Hidroksipropil Singkong dan Iota Karagenan	39
2.5 Kesimpulan	42
III FORMULA DAN OPTIMASI PEMBUATAN LEMBARAN FILM	42
3.1 Pendahuluan	42
	X

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.

3.2 Tinjauan Pustaka	43
3.2.1 Pati Hidroksipropil	43
3.2.2 Karagenan	44
3.2.3 Plastisiser	47
3.2.4 Evaluasi Film dengan Pendekatan <i>Scale Down Methodology</i>	48
3.2.5 Optimasi Formula dengan Metode <i>Response Surface Methodology</i> RSM	49
3.3 Metode	50
3.3.1 Lokasi dan Waktu	50
3.3.2 Bahan dan Alat Penelitian	50
3.4 Tahapan Penelitian	51
3.4.1 Pra-Formulasi	51
3.4.2 Pembuatan Lembaran Film	52
3.4.3 Prosedur Pengujian	54
3.4.4 Analisis Data	57
3.5 Hasil dan Pembahasan	58
3.5.1 Kuat Tarik	59
3.5.2 Elastisitas	64
3.5.3 Kelengketan	68
3.5.4 Integrasi Interaksi Antar Respon Film dalam Formulasi Kapsul Lunak	73
3.5.5 Optimasi Formulasi	74
3.5.6 Pengujian Lembaran Film	76
3.6 Kesimpulan	82
IV PEMBUATAN KAPSUL DAN KARAKTERISASI	84
4.1 Pendahuluan	84
4.2 Tinjauan Pustaka	85
4.2.1 Kapsul Lunak	85
4.2.2 Metode <i>Rotary Die (Casting Film)</i>	92
4.3 Metode	92
4.3.1 Lokasi dan Waktu	92
4.3.2 Bahan dan Alat Penelitian	92
4.3.2 Tahapan Penelitian	92
4.3.3 Prosedur Pengujian	94
4.3.4 Analisis Data	100
4.4 Hasil dan Pembahasan	100
4.4.1 Keseragaman Bobot	100
4.4.2 Uji Dimensi	102
4.4.3 Uji Ketebalan	104
4.4.4 Kadar Air	106
4.4.5 Kemampuan <i>Sealing</i>	108
4.4.6 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	109
4.4.7 Stabilitas	111
	XI

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.

4.5 Kesimpulan	122
V PEMBAHASAN UMUM	123
VI KESIMPULAN DAN SARAN	128
6.1 Kesimpulan	128
6.2 Saran	128
DAFTAR PUSTAKA	129
LAMPIRAN	145
RIWAYAT HIDUP	168

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

2.1	Derajat substitusi pati hidroksipropil	17
2.2	Karakteristik derajat substitusi, WHC dan OHC pati hidroksipropil	18
2.3	Karakteristik <i>swelling power</i> dan kelarutan pati hidroksipropil	20
2.4	Karakteristik <i>pasting properties</i> pati hidroksipropil	22
2.5	Karakteristik DSC pati hidroksipropil	25
2.6	Hasil perhitungan penentuan modifikasi pati metode MADM (Zeleny)	26
2.7	Karakteristik iota karagenan	30
2.8	Parameter RVA formulasi cangkang kapsul lunak HPS–iota karagenan	41
3.1	Karakteristik kappa, iota, dan lambda Karagenan	46
3.2	Variasi rancangan formula untuk penentuan batas atas dan batas bawah lembaran film kapsul lunak pati hidroksipropil dan iota karagenan	54
3.3	Hasil pengujian kuat tarik, elastisitas, dan kelengketan masing-masing formula	57
3.4	Persamaan dan ANOVA pada respon kuat tarik	59
3.5	Persamaan dan ANOVA pada respon elastisitas	64
3.6	Persamaan dan ANOVA pada respon kelengketan	69
3.7	Pengaruh masing-masing faktor dan interaksinya terhadap karakteristik film	73
3.8	Formulasi optimum yang disarankan dengan respon terprediksi dan terobservasi	75
3.9	Karakteristik lembaran film formulasi optimum	76
4.1	Penelitian kapsul lunak baik gelatin dan non gelatin	87
4.2	Hasil pengujian keseragaman bobot kapsul lunak	101
4.3	Hasil pengujian dimensi kapsul lunak	103
4.4	Hasil pengujian ketebalan kapsul lunak	105
4.5	Hasil pengujian kadar air kapsul lunak	106
4.6	Hasil pengujian kemampuan sealing kapsul lunak	108
4.7	Hasil pengujian disintegrasi kapsul lunak	111
4.8	Penentuan formula kapsul lunak terpilih dengan metode MADM	116
4.9	Model persamaan kurva sorpsi isotermis beserta nilai MRD	119
4.10	Umur simpan kapsul dengan kemasan PP	120
4.11	Umur simpan kapsul dengan kemasan HDPE	121

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 GAMBAR

2.1	Model reaksi pati dengan propilen oksida (Villar et al. 2017)	8
2.2	Morfologi pati singkong hidroksipropil	26
2.3	FTIR pati singkong hidroksipropil	29
2.4	Gugus fungsi iota karagenan	34
2.5	Morfologi iota karagenan	35
2.6	Analisis X-ray Diffraction (XRD)	36
2.7	Profil RVA formulasi cangkang kapsul lunak HPS–iota karagenan	41
3.1	Struktur kimia karagenan (sumber: Biosynth, 2023)	47
3.2	Proses pembentukan gel pada karagenan (Cheng et al. 2022)	47
3.3	Visualisasi perkembangan riset karagenan (Cheng et al. 2022)	48
3.4	Proses evaluasi kapsul lunak di laboratorium (Oishi et al. 2018)	49
3.5	Pembuatan cangkang kapsul lunak pra-formulasi skala laboratorium; (a) pemanasan campuran iota-plastisiser; (b) pemanasan campuran dengan penambahan pati hidroksiporpil; (c) proses vakum campuran; (d) lembaran film	52
3.6	Proses pembuatan lembaran film	55
3.7	Kurva respon permukaan 3 dimensi nilai kuat tarik	61
3.8	Kurva respon permukaan 3 dimensi terhadap elastisitas	66
3.9	Kurva respon permukaan 3 dimensi terhadap kelengketan	70
4.1	Bibliometric tren riset kapsul lunak menggunakan vos viewer	86
4.2	Kerangka penelitian pembuatan film dan aplikasi cangkang kapsul lunak	87
4.3	Gambaran umum proses pembuatan kapsul lunak	92
4.4	Proses pembuatan kapsul lunak	95
4.5	Skema pelepasan bahan aktif kapsul lunak	97
4.6	Purwarupa kapsul lunak	100
4.7	Morfologi SEM kapsul lunak	111
4.8	Model kinetika disolusi	118
4.9	Hubungan kekerasan dengan log kadar air	116
4.10	Hubungan aktivitas air dengan kadar air	117
4.11	Kurva isotermis Chen Clayton	119

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 LAMPIRAN

1	Karakteristik dan sinergitas modifikasi pati hidroksiopropil dengan iota karagenan Dan Plastisiser	146
2	Hasil perhitungan penentuan modifikasi pati terpilih dengan metode MADM (Zeleny)	149
3	Karakteristik iota karagenan	153
4	Optimasi film	154
5	Uji disolusi	162
6	Uji umur simpan	163
7	Dokumentasi penelitian	165

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