

PERANCANGAN SCALE-UP PRODUKSI EKSTRAK β - KAROTEN DARI CRUDE PALM OIL BERBASIS NATURAL DEEP EUTECTIC SOLVENT PADA SKALA PILOT

RIONALDY HAKKI



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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



PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Perancangan *Scale-Up* Produksi Ekstrak β -Karoten dari *Crude Palm Oil* Berbasis *Natural Deep Eutectic Solvent* pada Skala Pilot” 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 tugas akhir ini.

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

Bogor, Juli 2026

Rionaldy Hakki
F3401221090



ABSTRAK

RIONALDY HAKKI. Perancangan *Scale-Up* Produksi Ekstrak β -Karoten dari *Crude Palm Oil* Berbasis *Natural Deep Eutectic Solvent* pada Skala Pilot. Dibimbing oleh MEIKA SYAHBANA RUSLI dan DWI SETYANINGSIH.

Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) yang tinggi di Indonesia membuka peluang peningkatan nilai tambah melalui pemanfaatan β -karoten, namun implementasi ekstraksi menggunakan *Natural Deep Eutectic Solvent* (NADES) masih terbatas pada skala laboratorium. Penelitian ini bertujuan merancang proses produksi ekstrak β -karoten dari CPO skala pilot berkapasitas umpan 10 kg CPO per batch, menentukan spesifikasi peralatan, serta menghitung harga pokok produksi. Perancangan dilakukan melalui pendekatan *scale-up* berbasis data sekunder dengan menyusun neraca massa, menentukan spesifikasi peralatan, dan analisis aspek ekonomi menggunakan metode *full costing*. Proses yang dirancang meliputi pembuatan NADES, ekstraksi β -karoten, ekstraksi ulang, separasi menggunakan *disc stack centrifuge*, dan evaporasi menggunakan *vertical tube forced circulation evaporator*. Hasil perancangan menunjukkan *recovery* β -karoten sebesar 87,6% dengan kapasitas produksi 4,5 kg ekstrak per bulan. Kebutuhan luas bangunan dan lahan masing-masing sebesar 33,90 m² dan 48,43 m², dengan estimasi investasi awal Rp879.309.373,10. Harga pokok produksi sebesar Rp118.113,42/g dan harga jual sebesar Rp129.924,77/g. Hasil penelitian ini menjadi acuan teknis dan ekonomis untuk pengembangan produksi ekstrak β -karoten berbasis NADES dari skala pilot ke skala yang lebih besar.

Kata kunci: β -karoten, CPO, harga pokok produksi, NADES, *scale-up*

ABSTRACT

RIONALDY HAKKI. Scale-Up Design of β -Carotene Extract Production from Crude Palm Oil Using a Natural Deep Eutectic Solvent at Pilot Scale. Supervised by MEIKA SYAHBANA RUSLI and DWI SETYANINGSIH.

Indonesia's high crude palm oil (CPO) production offers an opportunity to increase its value through β -carotene utilization. However, β -carotene extraction using Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) is still limited to the laboratory scale. This study aimed to design a pilot-scale β -carotene extract production process from CPO with a feed capacity of 10 kg CPO per batch, determine the equipment specifications, and estimate the production cost. The process was designed using a scale-up approach based on secondary data through mass balance development, equipment specification, and economic analysis using the full costing method. The proposed process consisted of NADES preparation, β -carotene extraction, re-extraction, separation using a disc stack centrifuge, and evaporation using a vertical tube forced circulation evaporator. The design achieved a β -carotene recovery of 87,6% and a production capacity 4,5 kg of extract per month. The required building and land areas were 33,90 m² and 48,43 m², respectively, with an estimated initial investment of IDR 879.309.373,10. The production cost and recommended selling price were estimated at IDR Rp118.113,42/g and IDR 129.924,77/g, respectively. This study provides a technical and economic reference for scaling up NADES-based β -carotene extract production.

Keywords: β -carotene, cost of production, CPO, NADES, scale-up



@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.

PERANCANGAN SCALE-UP PRODUKSI EKSTRAK β - KAROTEN DARI CRUDE PALM OIL BERBASIS NATURAL DEEP EUTECTIC SOLVENT PADA SKALA PILOT

RIONALDY HAKKI

Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
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.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:
1 Dr. Ir. Sapta Raharja D.E.A.
2 Prof. Dr. Ir. Suprihatin



@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



Judul Tugas Akhir : Perancangan *Scale-Up* Produksi Ekstrak β -Karoten dari
Crude Palm Oil Berbasis *Natural Deep Eutectic Solvent*
pada Skala Pilot
Nama : Rionaldy Hakki
NIM : F3401221090

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Meika Syahbana Rusli, M.Sc.Agr.

Pembimbing 2:

Dr. Dwi Setyaningsih S.T.P., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ono Suparno, S.T.P., M.T., IPM
NIP. 197212031997021001

Tanggal Ujian:
16 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam proyek yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2026 sampai bulan Juni 2026 ini ialah Pengembangan Proses Ekstraksi Karoten dari *Crude Palm Oil* Berbasis *Natural Deep Eutectic Solvent* Secara Berkelanjutan, dengan judul "Perancangan *Scale-Up* Produksi Ekstrak β -Karoten dari *Crude Palm Oil* Berbasis *Natural Deep Eutectic Solvent* pada Skala Pilot". Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak sehingga seluruh rangkaian penelitian dan penulisan tugas akhir dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Dwi Setyaningsih, S.T.P., M.Si., Dr. Ir. Meika Syahbana Rusli, M.Sc.Agr., Prof. Dr. Ir. Erliza Hambali, M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Suprihatin selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Keluarga penulis, ibunda tersayang Erna Kusnawati, ayah tercinta Eddi Hakki, Rayyan, dan Adam, atas segala doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta kepercayaan yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Geng "CeRiT" (Cecil, Rio, dan Tabina) selaku rekan satu tim penelitian yang telah bekerja sama, saling membantu, dan menciptakan suasana penelitian yang menyenangkan sehingga setiap proses dapat dilalui dengan penuh semangat.
4. PKS Mini IPB Jonggol yang telah bersedia menjadi mitra penelitian serta menyediakan bahan baku CPO yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini.
5. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, staf tata usaha, dan UPT Program Studi Teknik Industri Pertanian, IPB University, yang telah memberikan ilmu, pelayanan, serta dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga menyelesaikan studi.
6. Geng "PKJ", "Anak Ayah", dan "Alfalaval" selaku sahabat-sahabat terdekat penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, doa, serta menghadirkan keceriaan di berbagai situasi sehingga penulis tetap bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman Tinit (TIN 59) yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta kebersamaan selama masa perkuliahan dan proses penyusunan skripsi.

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

Bogor, Juli 2026

Rionaldy Hakki

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 CPO (<i>Crude Palm Oil</i>)	3
2.2 NADES (<i>Natural Deep Eutetic Solvent</i>)	5
2.3 <i>Scale-Up</i>	6
2.4 Harga Pokok Produksi	6
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Tahapan Desain Keteknikan	7
3.3 Metode Pengumpulan dan Analisis Data	8
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Hasil Eksplorasi dan Pendefinisian Masalah	12
4.2 Ideasi	14
4.3 Pengembangan Solusi Desain Keteknikan	14
4.4 Keterbatasan Penelitian	39
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45
RIWAYAT HIDUP	52



DAFTAR TABEL

1	Komposisi karotenoid dalam CPO	3
2	Perhitungan neraca massa produksi ekstrak β -karoten pada skala pilot berdasarkan sebaran massa skala laboratorium	15
3	Perhitungan neraca massa produksi ekstrak β -karoten pada skala pilot kondisi ideal	18
4	Hasil perhitungan <i>scale-up</i> proses pembuatan NADES	20
5	Hasil perhitungan <i>scale-up</i> proses ekstraksi β -karoten	22
6	Hasil perhitungan <i>scale-up</i> proses ekstraksi ulang	24
7	Spesifikasi mesin <i>disc stack centrifuge</i>	26
8	Hasil perhitungan waktu operasi pada proses separasi	27
9	Koefisien Persamaan Antoine untuk heksana	28
10	Kalor laten heksana pada beberapa suhu	29
11	Koefisien kapasitas panas air (Himmelblau dan Riggs 1989)	29
12	Kebutuhan alat dan mesin produksi	32
13	Kebutuhan luas area produksi skala pilot	34
14	Kebutuhan luas area produksi disertai dengan <i>allowance</i> dan luas lahan	35
15	Perhitungan biaya penyusutan mesin dan peralatan produksi ekstrak β -karoten	36
16	Perhitungan biaya variabel produksi ekstrak β -karoten	38
17	Perbandingan harga produk ekstrak β -karoten komersil	39

DAFTAR GAMBAR

1	Pohon industri minyak kelapa sawit (Kemenperin 2026)	4
2	Komponen NADES yang umum digunakan dalam kondisi hidrofobik (Ramon <i>et al.</i> 2023)	5
3	Skema dan variabel dari dimensi tangki pencampuran (Geankoplis 1992)	9
4	Diagram alir dan neraca massa proses ekstraksi β -karoten dari CPO dengan pelarut NADES skala laboratorium	13
5	Diagram alir dan neraca massa proses ekstraksi β -karoten dari CPO dengan pelarut NADES skala pilot berdasarkan sebaran massa skala laboratorium	16
6	Diagram alir dan neraca massa proses ekstraksi β -karoten dari CPO dengan pelarut NADES skala pilot kondisi ideal	19
7	Skema pembuatan NADES skala laboratorium	20
8	Desain tangki pencampuran dengan <i>propeller</i> pada proses pembuatan NADES	21
9	Skema ekstraksi β -karoten skala laboratorium	22
10	Desain tangki pencampuran dengan <i>propeller</i> pada proses ekstraksi β -karoten	23
11	Skema ekstraksi ulang skala laboratorium	24



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.

12	Desain tangki pencampuran dengan <i>propeller</i> pada proses ekstraksi ulang	25
13	Konfigurasi skematik <i>disc stack centrifuge</i>	26
14	Konfigurasi skematik <i>vertical tube forced circulation evaporator</i>	28
15	Skema proses produksi ekstrak β -karoten terintegrasi	31
16	Diagram aktivitas produksi ekstrak β -karoten dalam skala pilot	32

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Perhitungan <i>scale-up</i> proses pembuatan NADES	46
2	Lampiran 2 Perhitungan <i>scale-up</i> proses ekstraksi β -karoten	47
3	Lampiran 3 Perhitungan <i>scale-up</i> proses ekstraksi ulang	48
4	Lampiran 4 Perhitungan <i>scale-up</i> proses separasi ekstraksi β -karoten	49
5	Lampiran 5 Perhitungan <i>scale-up</i> proses separasi ekstraksi ulang	50
6	Lampiran 6 Perhitungan <i>scale-up</i> proses evaporasi	51



@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.