



**OPTIMASI MIKROENKAPSULASI MINYAK RIMPANG LENGKUAS MERAH  
(*Alpinia purpurata* K. Schum) TERHADAP KANDUNGAN SENYAWA  
FITOKIMIA**

**TESIS**

Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Magister

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN**



**SANG NORMA LINTANG ASMARA**  
206100301111002

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2021**



**OPTIMASI MIKROENKAPSULASI MINYAK RIMPANG LENGKUAS MERAH  
(*Alpinia purpurata* K. Schum) TERHADAP KANDUNGAN SENYAWA  
FITOKIMIA**

Oleh:

**SANG NORMA LINTANG ASMARA  
206100301111002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Magister Teknik Strata Dua (S2)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
MALANG**

**2021**



## TESIS

OPTIMASI MIKROENKAPSULASI MINYAK RIMPANG LENGKUAS MERAH  
(*Alpinia Purpurata* K. SCHUM) TERHADAP KANDUNGAN SENYAWA  
FITOKIMIA

Oleh:

**Sang Norma Lintang Asmara**  
NIM. 206100301111002

telah dipertahankan didepan penguji  
pada tanggal 17 Desember 2021  
dinyatakan telah memenuhi syarat

**Komisi Pembimbing,**

Ketua,

**Dr. Ir. Sukardi, MS.**

NIP.19600626 198601 1 001

Anggota,

**Dr. Dodyk Pranowo, STP, M.Si**

NIP. 19790405 200312 1 005

Malang, 17 Januari 2022

Universitas Brawijaya  
Program Studi Magister Teknik Industri Pertanian,  
Ketua Program Studi

**Dr. Sucipto, STP, MP**

NIP. 19730602 199903 1 001





**SANG NORMA LINTANG ASMARA. 206100301111002. Optimasi Mikroenkapsulasi Minyak Rimpang Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) Terhadap Kandungan Senyawa Fitokimia. Tesis. Pembimbing: Dr. Ir. Sukardi, MS dan Dr. Dodyk Pranowo, STP, M.Si.**

### RINGKASAN

Minyak atsiri rimpang lengkuas merah adalah minyak esensial yang dapat berasal dari penyulingan bunga, batang, dan daun lengkuas merah. Potensi penggunaan minyak atsiri lengkuas merah yang besar memiliki kelemahan yakni rentan terhadap kerusakan senyawa. Mikroenkapsulasi merupakan salah satu cara untuk melindungi hilangnya senyawa aktif yang mungkin terjadi pada proses penyimpanan dengan penyalutan tipis oleh bahan penyalut tertentu. Salah satu metode yang dapat digunakan pada proses mikroenkapsulasi adalah *freeze drying* karena dapat dilakukan pada suhu sangat rendah. Bahan penyalut yang digunakan pada penelitian ini adalah maltodekstrin dan gum arab dengan perbandingan 1:3, 1:1, dan 3:1. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kuantitas dan kualitas minyak rimpang lengkuas merah hasil distilasi pada berbagai perlakuan tegangan PEF. Selain itu, untuk mengetahui formulasi yang tepat terkait bahan penyalut yang optimal dan mengetahui karakteristik hasil mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah pada perlakuan optimal. Penelitian dilakukan dengan tiga tahap, yakni tahap pertama proses penyulingan dengan perlakuan pendahuluan PEF, tahap kedua proses mikroenkapsulasi dengan faktor rasio bahan penyalut, serta tahap ketiga verifikasi dari hasil respon optimum.

Hasil penelitian tahap pertama dan setelah proses distilasi diketahui bahwa perlakuan tegangan 4000V menyebabkan adanya rongga yang terbuka maksimal pada pori-pori membran sel irisan rimpang lengkuas merah. Penerapan perlakuan pendahuluan PEF berpengaruh nyata pada indeks bias, densitas, warna kecerahan, dan warna kemerahan, namun tidak berpengaruh nyata pada rendemen dan warna kekuningan. Perlakuan terbaik didapatkan pada rimpang lengkuas merah yang diberi perlakuan tegangan 4000V dan diperoleh minyak atsiri dengan rendemen sebesar 0,052%, indeks bias sebesar 1,48241, densitas sebesar 0,88793, dan warna L, a, b berturut-turut sebesar 18,33; 1,81; 10,44. Tahap optimasi mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah menunjukkan bahwa hasil optimal diperoleh pada perlakuan rasio maltodekstrin 3,75 dan rasio gum arab 9,14, menghasilkan rendemen sebesar 44,69%, kadar air sebesar 5,64%, TPC sebesar 28,43 mg GAE/g, nilai IC<sub>50</sub> sebesar 131,28 ppm, dan tingkat kelarutan sebesar 86,28% dengan nilai desirability sebesar 0,89. Pada tahap verifikasi menunjukkan bahwa hasil perbandingan antara nilai verifikasi aktual dan nilai prediksi didapatkan model telah sesuai. Rasio bahan penyalut yang optimal dapat menghasilkan respon rendemen, kadar air, TPC, DPPH, dan kelarutan yang baik. Berdasarkan pengamatan karakteristik morfologi, bahan penyalut yang dipilih dapat mempengaruhi bentuk dan ukuran partikel yang dihasilkan pada mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah.

**Kata kunci:** Mikroenkapsulasi, Minyak Atsiri, Optimasi, Rimpang Lengkuas Merah

**SANG NORMA LINTANG ASMARA. 206100301111002. Optimization of Microencapsulation of Red Galangal (*Alpinia purpurata* K. Schum) Rhizome Essential Oil against Phytochemical Compounds. Thesis. Supervisor: Dr. Ir. Sukardi, MS and Dr. Dodyk Pranowo, STP, M.Si.**

### SUMMARY

Red galangal rhizome essential oil is an essential oil that can be obtained from the distillation of red galangal flowers, stems, and leaves. The potential use of red galangal essential oil has a weakness that is prone to compound damage. Microencapsulation is one way to protect the loss of active compounds that may occur in the storage process with a thin coating by certain coating materials. Freeze-drying is one method that can be used in the microencapsulation process because it can be carried out at low temperatures. The coating materials used in this study were maltodextrin and gum arabic in a ratio of 1:3, 1:1, and 3:1. The aim of this study was to determine the quantity and quality of red galangal rhizome oil from the distillation of various PEF stress treatments. In addition, to determine the appropriate formulation related to the optimal coating material and to determine the characteristics of the microencapsulated results of red galangal essential oil in optimal treatment. The research was carried out in three stages, namely the first stage of the distillation process with PEF pretreatment, the second stage of the microencapsulation process with the coating material ratio factor, and the third stage of verification of the optimum response results.

The results of the first stage of the research and after the distillation process were found that the 4000V voltage treatment caused a maximum open cavity in the pores of the red galangal rhizome slice cell membrane. The application of PEF pretreatment significantly affected the refractive index, density, brightness, and reddish color but had no significant effect on yield and yellowish color. The best treatment was obtained on red galangal rhizome treated with 4000V voltage and obtained essential oil with a yield of 0.052%, refractive index of 1.48241, density of 0.88793, and colors L, a, b respectively 18.33; 1.81; 10.44. The optimization stage of microencapsulation of red galangal rhizome essential oil showed that the optimal results were obtained in the treatment with a maltodextrin ratio of 3.75 and a gum arabic ratio of 9.14. The result is a yield of 44.69%, water content of 5.64%, TPC of 28.43 mg GAE/g, the IC<sub>50</sub> value of 131.28 ppm, and solubility level of 86.28% with a desirability value of 0.89. The comparison between the actual verification and predicted values shows that the model is appropriate. The optimal coating material ratio can produce a good yield response, moisture content, TPC, DPPH, and solubility. Based on the observation of morphological characteristics, the selected coating material can affect the shape and size of the red galangal rhizome essential oil microcapsules.

**Keywords:** essential oil, microencapsulation, optimization, red galangal rhizome

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	iv
RINGKASAN.....	v
SUMMARY.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Perbandingan Metode dengan Penelitian Terkait.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Lengkuas Merah ( <i>Alpinia purpurata</i> K.Schum).....	6
2.2 Minyak Atsiri.....	7
2.3 <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF).....	7
2.4 Distilasi.....	9
2.5 Mikroenkapsulasi.....	10
2.6 Bahan Penyalut.....	11
2.6.1 Maltodekstrin.....	11
2.6.2 Gum Arab.....	12
2.7 Freeze Drying.....	12
2.8 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	14
<b>BAB III KERANGKA KONSEP DAN KERANGKA PEMIKIRAN.....</b>	<b>15</b>
3.1 Kerangka Berpikir Penelitian.....	15
3.2 Kerangka Konsep Penelitian.....	16
3.3 Hipotesis.....	20
<b>BAB IV METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>



4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
4.2 Alat dan Bahan.....	21
4.2.1 Alat.....	21
4.2.2 Bahan.....	21
4.3 Rancangan Percobaan.....	22
4.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	23
4.4.1 Penelitian Tahap 1.....	23
4.4.2 Penelitian Tahap 2.....	24
4.4.3 Penelitian Tahap 3.....	28
4.5 Parameter Pengamatan.....	29
4.5.1 Uji Rendemen.....	29
4.5.2 Indeks Bias.....	29
4.5.3 Densitas.....	29
4.5.4 Uji Warna.....	30
4.5.5 Uji Kadar Air.....	30
4.5.6 Analisis <i>Total Phenolic Content</i> .....	30
4.5.7 Analisis Aktivitas Antioksidan.....	31
4.5.8 Tingkat Kelarutan.....	32
4.5.9 Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> .....	33
4.5.10 Uji <i>Gas Chromatography– Mass Spectroscopy</i> .....	33
4.5.11 Uji <i>Particle Size Analyzer</i> .....	33
4.6 Analisa Data.....	34
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Penelitian Tahap I (Perlakuan PEF dan Proses Distilasi).....	35
5.1.1 Karakteristik Permukaan Rimpang Lengkuas Merah.....	35
5.1.2 Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	36
5.1.3 Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	37
5.1.4 Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	38
5.1.5 Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	40
5.1.6 Komponen Kimia Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	43
5.1.7 Penentuan Perlakuan Terbaik.....	45
5.2 Penelitian Tahap II (Optimasi Mikroenkapsulasi).....	46
5.2.1 Hasil Analisa <i>Central Composite Design</i> .....	46
5.2.2 Analisa Respon Rendemen Mikroenkapsulasi.....	47
5.2.3 Analisa Respon Kadar Air Mikroenkapsulasi.....	50





5.2.4 Analisa Respon <i>Total Phenolic Content</i> Mikroenkapsulasi.....	54
5.2.5 Analisa Respon Aktivitas Antioksidan Mikroenkapsulasi.....	57
5.2.6 Analisa Respon Tingkat Kelarutan Mikroenkapsulasi.....	60
5.2.7 Hasil Solusi Optimal Respon.....	63
5.3 Penelitian Tahap III.....	65
5.3.1 Verifikasi Kondisi Optimal Hasil Prediksi Model.....	65
5.3.2 Analisa GC-MS Perlakuan Optimal.....	66
5.3.3 Analisa <i>Scanning Electron Microscopy</i> Perlakuan Optimal.....	67
5.3.4 Ukuran Partikel Perlakuan Optimal.....	69
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>70</b>
6.1 Kesimpulan.....	70
6.2 Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>83</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rancangan Penelitian.....	24
Tabel 4.2 Rancangan Percobaan RSM.....	26
Tabel 4.3 Titik Komposit Terpusat yang Dicobakan.....	27
Tabel 5.1 Hasil Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	35
Tabel 5.2 Hasil Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	37
Tabel 5.3 Hasil Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	38
Tabel 5.4 Hasil Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	41
Tabel 5.5 Perbandingan Komponen Utama Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah Dengan dan Tanpa Perlakuan Pendahuluan PEF.....	42
Tabel 5.6 Fungsi Senyawa Kimia Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	44
Tabel 5.7 Penentuan Perlakuan Terbaik.....	45
Tabel 5.8 Data Hasil Perlakuan Terbaik Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	46
Tabel 5.9 Data Hasil Respon dengan <i>Central Composite Design</i> .....	47
Tabel 5.10 Kriteria Optimasi Respon Rendemen.....	48
Tabel 5.11 ANOVA Respon Rendemen.....	48
Tabel 5.12 Kriteria Optimasi Respon Kadar Air.....	51
Tabel 5.13 ANOVA Respon Kadar Air.....	51
Tabel 5.14 Kriteria Optimasi Respon Total Fenol.....	54
Tabel 5.15 ANOVA Respon Total Fenol.....	54
Tabel 5.16 Kriteria Optimasi Respon Aktivitas Antioksidan.....	57
Tabel 5.17 ANOVA Respon Aktivitas Antioksidan.....	57
Tabel 5.18 Kriteria Optimasi Respon Tingkat Kelarutan.....	59
Tabel 5.19 ANOVA Respon Tingkat Kelarutan.....	60
Tabel 5.20 Batasan Optimasi untuk Respon dan Faktor.....	62
Tabel 5.21 Hasil Prediksi Solusi Optimal dari <i>Software Design Expert 8.0</i> .....	62
Tabel 5.22 Hasil Solusi Optimal dari <i>Software Design Expert 8.0</i> .....	63
Tabel 5.23 Perbandingan Hasil Verifikasi Aktual dengan Prediksi.....	64
Tabel 5.24 Perbandingan Komponen pada Hasil Mikroenkapsulasi dan Minyak Rimpang Lengkuas Merah dengan Perlakuan Kontrol dan Perlakuan Pendahuluan PEF.....	67
Tabel 5.25 Distribusi Ukuran Partikel Mikro kapsul Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	69



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Proses Distilasi Minyak Rimpang Lengkuas Merah.....	23
Gambar 4.2 Proses Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	25
Gambar 5.1 Mikrostruktur Permukaan Rimpang Lengkuas Merah Kontrol (a); dengan Perlakuan Tegangan 3000V (b); 4000V (c); dan 5000V (d) pada perbesaran 300x.....	34
Gambar 5.2 Mikrostruktur Permukaan Rimpang Lengkuas Merah Kontrol (a); dengan Perlakuan Tegangan 3000V (b); 4000V (c); dan 5000V (d) pada Perbesaran 500x.....	35
Gambar 5.3 Grafik Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah....	36
Gambar 5.4 Grafik Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah....	38
Gambar 5.5 Grafik Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	40
Gambar 5.6 Grafik Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	40
Gambar 5.7 Kurva Response Surface Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Rendemen Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	50
Gambar 5.8 Kurva Response Surface Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Kadar Air Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	53
Gambar 5.9 Kurva Response Surface Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Total Phenolic Content Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	56
Gambar 5.10 Kurva Response Surface Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Aktivitas Antioksidan Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	58
Gambar 5.11 Kurva Response Surface Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Tingkat Kelarutan Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	61
Gambar 5.12 Kurva Response Surface Solusi Optimal Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	63
Gambar 5.13 Struktur Morfologi Mikrokapsul Minyak Atsiri Rimpang Merah pada (a) Perlakuan Kontrol; (b) Perlakuan Tegangan 4000 V.....	69



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisa Rendemen Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	85
Lampiran 2. Hasil Analisa Indeks Bias Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	86
Lampiran 3. Hasil Analisa Densitas Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	88
Lampiran 4. Hasil Analisa Warna Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	90
Lampiran 5. Penentuan Perlakuan Terbaik.....	96
Lampiran 6. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah Perlakuan Kontrol.....	98
Lampiran 7. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah Perlakuan Tegangan 3000V.....	99
Lampiran 8. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah Perlakuan Tegangan 4000V.....	101
Lampiran 9. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah Perlakuan Tegangan 5000V.....	103
Lampiran 10. Hasil Analisa Rendemen Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	105
Lampiran 11. Penentuan Kurva Standar Asam Galat dan Perhitungan <i>Total Phenolic Content</i> Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	106
Lampiran 12. Hasil Analisa Aktivitas Antioksidan IC50 Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	108
Lampiran 13. Hasil Analisa Tingkat Kelarutan Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah.....	109
Lampiran 14. Hasil Verifikasi Optimasi Mikroenkapsulasi Minyak Rimpang Lengkuas Merah.....	110
Lampiran 15. Hasil Pengujian GC-MS Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	111
Lampiran 16. Hasil Pengujian PSA Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah.....	118
Lampiran 17. Dokumentasi Pelaksanaan Penelitian.....	119



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lengkuas merupakan salah satu rempah yang banyak dimanfaatkan sebagai bumbu dapur dan obat herbal. Pemanfaatan lengkuas sebagai obat herbal dikarenakan aktivitas biologisnya seperti imunomodulator (Weidner *et al.*, 2007).

Lengkuas memiliki dua macam jenis, yakni lengkuas putih (*Alipinia galanga* L.) yang biasanya dimanfaatkan sebagai bumbu dapur dan lengkuas merah (*Alipinia purpurata* K. Schum) yang biasanya dimanfaatkan sebagai obat herbal (Lestari, 2005). Berdasarkan penelitian Bermawie *et al.* (2012), rimpang lengkuas merah memiliki beberapa khasiat seperti anti inflamasi, analgesik, anti hiperglikemik, anti alergi, antimikroba, antijamur, antikanker, antibakteri dan antioksidan. Selain sebagai obat herbal, lengkuas merah juga dapat dijadikan sebagai minyak atsiri.

Menurut Damayanti *et al.* (2015), senyawa yang dominan pada minyak atsiri kasar lengkuas merah adalah -bisabolene (11,78%) dan trans-caryophyllene (9,10%).

Pada penelitian lain dijelaskan bahwa minyak atsiri lengkuas merah mengandung 10 senyawa utama, yakni 1,8-cineole (40.92%), acetyl chavicol (10.33%), cis  $\beta$ -farnesene (6.91%), 1-caryophyllene (6.32%), 1- $\beta$ -bisabolene (3.37%),  $\beta$ -elemene (3.23%),  $\alpha$ -pinene (3.20%),  $\beta$ -sesquiphellandrene (2.32%),  $\beta$ -pinene (2.21%), dan germacrene-D (1.90%) (Sujono *et al.*, 2019).

Minyak atsiri lengkuas merah dapat diperoleh dengan menggunakan proses distilasi uap air. Namun, untuk memaksimalkan rendemen masih diperlukan perlakuan pendahuluan, salah satunya dengan penerapan *Pulsed Electric Field* (PEF). PEF merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan laju difusi produk dari jaringan tanaman pada saat proses ekstraksi dengan bantuan kejutan listrik dengan intensitas tinggi dan lama paparan tertentu (Siemer *et al.*, 2012).

Menurut Luengo *et al.* (2014), senyawa pada bahan tidak akan mengalami kerusakan karena perlakuan PEF dilakukan secara non termal dan dapat mempersingkat waktu ekstraksi. Penerapan tegangan dan lama paparan PEF dapat dilibatkan dalam proses perolehan rendemen minyak lengkuas merah.

Potensi penggunaan minyak atsiri lengkuas merah yang besar memiliki kelemahan yakni rentan terhadap kerusakan senyawa akibat reaksi oksidasi, suhu penyimpanan, sinar UV, serta kelembaban (Petrovic *et al.*, 2010; Calvo *et al.*, 2012). Kerusakan senyawa tersebut dapat menyebabkan penurunan umur simpan dan perubahan sifat sensoris pada minyak atsiri lengkuas merah (Velasco *et al.*,



2003). Sehingga, perlu dilakukan upaya untuk mempertahankan senyawa aktif yang terkandung dalam minyak atsiri lengkuas merah, salah satunya dengan melakukan mikroenkapsulasi.

Mikroenkapsulasi merupakan salah satu cara untuk melindungi hilangnya senyawa aktif yang mungkin terjadi pada proses penyimpanan dengan penyalutan tipis oleh bahan penyalut tertentu (Nugraheni *et al.*, 2016). Penerapan mikroenkapsulasi dapat memperpanjang stabilitas oksidatif dari inti kapsul dan menjamin pelepasan zat yang lebih terkontrol selama proses (Ozbek dan Pelin, 2017). Menurut Gharsallaoui *et al.* (2007), mikroenkapsulasi merubah bahan berbentuk cair menjadi padat agar melindungi bahan inti dari hilangnya *flavor*. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses mikroenkapsulasi, yakni emulsi, *freeze drying*, *coacervation*, dan *spray drying* (Chordiya dan Senthilkurnaran, 2012). Metode yang sering digunakan pada mikroenkapsulasi minyak adalah metode *spray drying* yang dianggap sebagai solusi optimal karena memungkinkan transformasi emulsi menjadi serbuk, serta dapat mempertahankan senyawa penting. Namun, terdapat metode lain yakni *freeze drying* yang dapat dilakukan pada suhu sangat rendah. Proses yang berlangsung selama *freeze drying* adalah sublimasi dan desorpsi (Ogrodowska *et al.*, 2017). Pada proses mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah akan dilakukan menggunakan teknik *freeze drying*. Teknik ini relatif cocok untuk bahan yang peka terhadap panas karena dapat menjaga reaksi oksidatif seminimal mungkin (Cano-Higuita *et al.*, 2015).

Pemilihan jenis bahan penyalut pada teknik *freeze drying* sangat mempengaruhi keberhasilan mikroenkapsulasi. Komposisi bahan penyalut menentukan sifat fungsional mikrokapsul dan umumnya bahan tersebut berasal dari hidrokoloid, gum, pati termodifikasi, dekstrin, dan lipid (Arifan dan Deddy, 2012). Dalam proses mikroenkapsulasi, rasio bahan inti dan bahan penyalut pada *freeze drying* dapat mempengaruhi karakteristik dari mikrokapsul yang dihasilkan (Cilek *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2014). Ketepatan pemilihan ini dapat mempengaruhi jumlah rendemen dan stabilitas mikrokapsul yang diperoleh. Formulasi rasio bahan penyalut pada sifat fisikokimia mikrokapsul minyak atsiri lengkuas merah belum pernah ada pada penelitian sebelumnya. Hasil mikroenkapsulasi yang didapatkan dari minyak rimpang lengkuas merah dapat dimanfaatkan pada berbagai sektor komersial, seperti industri makanan, tekstil, pestisida, dan obat-obatan (Bakry *et al.*, 2016).



Penelitian mengenai perlakuan pendahuluan PEF pada ekstraksi minyak atsiri rimpang lengkuas merah yang belum ada sebelumnya dapat dilakukan untuk memaksimalkan perolehan rendemen. Selain itu, perlu dilakukan pengujian mengenai optimasi formulasi mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) agar mendapatkan senyawa fitokimia yang optimal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat ditarik berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kuantitas dan kualitas minyak rimpang lengkuas merah hasil distilasi pada berbagai perlakuan tegangan PEF?
2. Bagaimana formulasi bahan penyalut yang optimal dalam proses mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah?
3. Bagaimana karakteristik hasil mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah terbaik terhadap kandungan senyawa fitokimia?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan kuantitas dan kualitas minyak rimpang lengkuas merah hasil distilasi pada berbagai perlakuan tegangan PEF dan tanpa PEF.
2. Menemukan formulasi bahan penyalut yang optimal dalam proses mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah.
3. Mengidentifikasi karakteristik hasil mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah terbaik terhadap kandungan senyawa fitokimia.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan hanya sebatas skala laboratorium.
2. Bahan yang digunakan adalah rimpang lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum).
3. Pengujian kuantitas minyak atsiri dilakukan dengan pengukuran rendemen, sedangkan pengujian kualitas minyak atsiri meliputi uji GC-MS, warna, indeks bias, dan berat jenis.



4. Pengujian pada formulasi terbaik dilakukan dengan uji ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan uji komponen kimia menggunakan *Gas Chromatography – Mass Spectroscopy* (GC-MS).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai formulasi rasio bahan penyalut yang optimal dalam proses mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah.
2. Memberikan informasi terkait potensi minyak atsiri rimpang lengkuas merah sebagai bahan biofarmaka
3. Memberikan data sebagai bahan dalam penelitian lanjutan atau penelitian lain yang berkaitan.

### 1.6 Perbandingan Metode dengan Penelitian Terkait

Penelitian Silva-Espinoza *et al.* (2020), dilakukan optimalisasi kondisi pada metode *freeze drying* yang dapat mempengaruhi senyawa fitokimia dan komponen bioaktif pada jeruk. Kondisi *freeze drying* yang optimal terjadi pada tekanan rendah (5 Pa) dan suhu penyimpanan tinggi (50°C). Pada kondisi tersebut dapat menjaga nutrisi dan sifat kimia pada bahan.

Pudziuvelyte *et al.* (2020), melakukan penelitian mengenai enkapsulasi ekstrak etanol *Elsholzia ciliate* menggunakan berbagai perbandingan bahan penyalut. Metode pengeringan yang digunakan adalah *freeze drying*. Hasil penelitian menjelaskan bahwa metode *freeze drying* adalah metode yang efektif untuk menghasilkan formulasi bahan farmasi atau makanan dengan jumlah polifenol yang bertambah. Penggunaan bahan penyalut berupa maltodekstrin memiliki nilai TPC sebesar 21,17%, sedangkan apabila dipadukan dengan gum arab nilai TPC meningkat menjadi 32,73%.

Gonzalez-Ortega *et al.* (2020), melakukan optimasi formulasi bahan penyalut dan bahan inti pada proses mikroenkapsulasi ekstrak fenolik daun zaitun.

Optimasi menggunakan *Response Surface Method* (RSM) untuk mengetahui efek formulasi bahan penyalut terhadap efisiensi enkapsulasi, antioksidan, serta sifat fisik dari hasil mikroenkapsulasi. Penelitian ini juga melakukan pengamatan mengenai morfologi serbuk menggunakan *electron spectroscopy*.





Novaldi *et al.* (2019), melakukan pembuatan mikroenkapsulasi ekstrak ampas jahe merah yang dihasilkan dari limbah sisa minyak atsiri jahe merah. Proses mikroenkapsulasi menggunakan metode *freeze drying* dengan bahan penyalut maltodekstrin. Dalam penelitian tersebut menggunakan beberapa rasio perbandingan antara ekstrak jahe merah dengan bahan penyalut yaitu 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, dan 1:10 (b/b). Hasil penelitian menunjukkan efisiensi enkapsulasi pada rasio 1:6.

Warsito *et al.* (2017) melakukan penelitian mengenai mikroenkapsulasi minyak atsiri jeruk purut (*Cytrus hystrix*) dan pengujian aktivitas terhadap kandungan antimikroba. Penelitian ini menggunakan dua bahan, yaitu minyak atsiri yang berasal dari daun dan kulit buah. Mikroenkapsulasi dilakukan menggunakan metode *cross-linking* dengan bahan penyalut kitosan dan glutaraldehida dengan perbandingan 2:1. Metode mikroenkapsulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan *freeze drying*.

Pada penelitian Masrukan dan Umar (2019), dilakukan mikroenkapsulasi minyak atsiri daun cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) menggunakan bahan enkapsulan gelatin kulit kerbau yang diekstrak dengan larutan asam klorida dengan rasio minyak atsiri daun lengkuas merah yakni 1:10, 1:15, dan 1:20. Metode mikroenkapsulasi pada penelitian ini menggunakan *spray drying* dengan suhu inlet 100°C.

Penelitian Risnawati *et al.* (2017), dilakukan mikroenkapsulasi minyak atsiri dari tanaman nilam (*Pogostemon cablin*, Benth) sebagai antijamur. Bahan penyalut yang digunakan dalam proses mikroenkapsulasi minyak atsiri nilam adalah maltodekstrin dengan perbandingan 1:12, 1:10, dan 1:8. Metode mikroenkapsulasi pada penelitian ini menggunakan *spray drying* dengan suhu inlet 140°C, kecepatan semprot 5 ml/menit, dan tekanan penyemprotan 4 bar.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata* K. Schum)

*Alpinia* merupakan genus terbesar dalam famili jahe. Rimpang lengkuas merah memiliki bau yang tajam, dapat meningkatkan nafsu makan, dan memiliki rasa yang khas. Rimpang ini dapat digunakan untuk pengobatan sakit kepala, rematik, sakit tenggorokan dan penyakit ginjal (Prajapathi *et al.*, 2003). Studi fitokimia pada lengkuas merah menyebutkan bahwa rimpang ini memiliki kandungan flavonoid, kaempferol-3-rutinoside dan kaempferol-3-olucronide (Victoria *et al.*, 2009). Menurut Kochuthressia *et al.* (2010), kandungan fitokimia pada lengkuas merah memiliki aktivitas antimikroba terhadap mikroorganisme tertentu. Selain itu, lengkuas merah memiliki potensi dalam pengobatan tuberculosis karena memiliki aktivitas anti inflamasi (Villaflares *et al.*, 2010). Lengkuas merah juga dapat berfungsi sebagai sumber makanan potensial karena memiliki kandungan antioksidan alami.



**Gambar 2.1** Rimpang Lengkuas Merah  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) merupakan salah satu jenis rempah-rempah yang banyak digunakan sebagai produk fitofarmaka. Rimpang lengkuas merah mengandung minyak atsiri yang aktif sebagai antijamur dan antibakteri. Rimpang lengkuas merah mengandung minyak atsiri  $\pm 1\%$  (Azzahra *et al.*, 2013). Sejak zaman dahulu lengkuas sering digunakan sebagai jamur seperti *Pitiriasis versikolor*. Di masyarakat, lengkuas digunakan untuk menghilangkan bintik-bintik putih seperti panu pada kulit dengan cara mengoleskan potongan lengkuas pada bagian tubuh yang sakit. Kandungan lengkuas berupa minyak atsiri

dan senyawa kimia metil khavikol asetat berkhasiat sebagai antijamur. Beberapa referensi menyebutkan, minyak atsiri dari rimpang lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) terdiri dari 48% methylinamat, 20-30% 1,8-cineole, 1 % kapur barus, dan sisanya d-pinen, galangin, dan eugenol sebagai penyebab rasa pedas pada lengkuas (Sujono *et al.*, 2019).

## 2.2 Minyak Atsiri

Minyak atsiri adalah cairan hidrofobik pekat yang mengandung senyawa aroma yang mudah menguap dari tanaman. Minyak atsiri digunakan dalam wewangian, aromaterapi, kosmetik, dupa, obat-obatan, produk pembersih rumah tangga dan untuk penyedap makanan dan minuman. Keuntungan dari minyak atsiri adalah konsentrasi, rasa dan kesamaannya dengan bahan yang identik. Menurut Asbahani *et al.* (2015), minyak atsiri adalah cairan aromatik berminyak yang diekstraksi dari bahan tanaman aromatik yang dapat disintesis pada berbagai bagian tanaman sebagai metabolit sekunder. Sebagian besar minyak atsiri memiliki kestabilan yang cukup dan mengandung antioksidan alami dan antimikroba alami (Somesh *et al.*, 2015). Umumnya minyak atsiri tidak berwarna pekat, namun semakin lama waktu penyimpanan dapat menyebabkan minyak atsiri dapat teroksidasi yang mengakibatkan warnanya menjadi lebih gelap. Oleh karena itu, minyak atsiri perlu disimpan di tempat yang sejuk dan kering dengan tutup rapat dan sebaiknya disimpan pada botol kaca gelap (Rassem *et al.*, 2016).

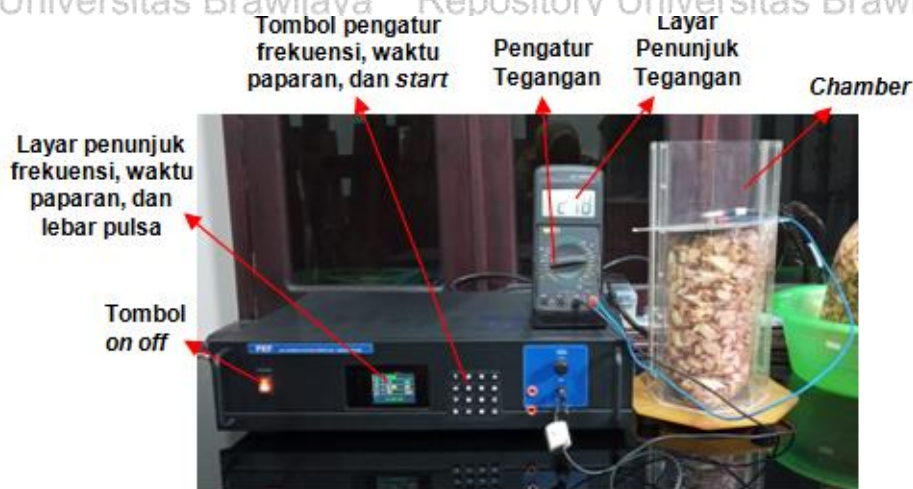
Minyak atsiri yang diekstrak dari rimpang lengkuas merah berbentuk cairan berwarna lebih pekat daripada minyak rimpang lengkuas putih. Selain itu, minyak atsiri lengkuas merah memiliki hasil minyak yang agak kental dengan aroma khas lengkuas. Bau khas lengkuas dari minyak atsiri lengkuas merah relatif lebih tajam dibandingkan dengan bau minyak atsiri lengkuas putih (Sanjaya *et al.*, 2018)

## 2.3 Pulsed Electric Field (PEF)

Teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF) adalah metode pengawetan makanan non-termal yang melibatkan penggunaan pulsa listrik pendek untuk melakukan inaktivasi mikroba yang dapat merugikan pada kualitas makanan (Syed *et al.*, 2017). Wouters *et al.* (2001) juga menjelaskan bahwa PEF dikenal sebagai salah satu alat non-termal yang paling menguntungkan untuk dekontaminasi mikroba makanan yang melibatkan medan listrik (5-50kV/cm) berpulsa dengan tegangan tinggi pendek ( $\mu$ s) antara dua elektroda yang menyebabkan inaktivasi

mikroba pada suhu yang lebih rendah daripada metode termal. Teknologi ini didasarkan pada penerapan tegangan tinggi (hingga 60 kV) berpulsa listrik pendek ( $\mu\text{s}$ - $\text{ms}$ ) ke biomaterial untuk meningkatkan permeabilitas selnya, yang memfasilitasi transfer massa senyawa intraseluler melintasi membran sel (Puertolas *et al.*, 2010). Keunggulan utama dari PEF adalah lebih unggul daripada metode pengolahan dan pengawetan termal lainnya karena mengurangi perubahan yang merugikan dalam kualitas dan nutrisi makanan dan menjaga atribut fisik dan sensorik makanan (Syed *et al.*, 2017). Selain itu, perlakuan tegangan dan waktu yang singkat dapat menghasilkan induksi yang dapat mempengaruhi permeabilitas membran sel (Asavasanti *et al.*, 2011).

Dalam ekstraksi minyak pada bahan alami seperti tumbuhan, perlakuan pendahuluan PEF dapat memudahkan senyawa berdifusi dengan pelarut. Perlakuan PEF dapat mengubah bentuk sel atau memecah sel. Tegangan yang diberikan pada bahan dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan permeabilitas membran sel (Zderic *et al.*, 2013; Silve *et al.*, 2016). PEF menyebabkan elektroporasi (Barba *et al.*, 2015) dan meningkatkan permeabilitas air pada membran sel (Huang *et al.*, 2019; Janositz *et al.*, 2011). Kerusakan pada membran meminimalkan energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan bahan dari sel sehingga ekstraksi menjadi efisien, yang akhirnya ekstraksi santan dapat ditingkatkan dan diperoleh minyak dalam jumlah besar (Hejazian *et al.*, 2016). Efektivitas perlakuan dengan teknologi PEF bergantung pada intensitas kekuatan medan listrik dan energi total yang diterapkan, dan karakteristik sel biologis seperti morfologi, konduktivitas listrik, dan komposisi kimianya (Puertolas *et al.*, 2010).



**Gambar 2.2** Komponen Perangkat Alat PEF  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)



## 2.4 Distilasi

Distilasi adalah pemisahan komponen dari umpan cair berdasarkan perbedaan volatilitas (Kulkarni, 2017). Distilasi juga dapat didefinisikan sebagai proses perubahan cairan menjadi uap yang kemudian didinginkan hingga berubah menjadi bentuk cair kembali (Walangare *et al.*, 2013). Dalam proses distilasi terjadi proses penyebaran komponen oleh fase cair dan uap. Menurut Bangkaha *et al.* (2011), zat yang memiliki titik didih yang lebih rendah akan terjadi penguapan lebih dahulu. Terdapat beberapa metode ekstraksi minyak atsiri yang umumnya digunakan, yakni hidrodistilasi, destilasi uap, ekstraksi pelarut, enflourage, cohobation, dan maserasi (Raseem *et al.*, 2016).

Menurut Guenther (2006), terdapat tiga jenis distilasi yakni *hydrodistillation*, *water and steam distillation*, dan *steam distillation*. *Hydrodistillation* atau penyulingan dengan air merupakan salah satu cara penyulingan dengan cara menggabungkan bahan dengan air mendidih secara langsung. Umumnya metode ini digunakan pada bahan berupa bunga atau bubuk buah-buahan. *Water and steam distillation* atau penyulingan dengan air dan uap dilakukan menggunakan ketel yang diisi dengan air dan bahan diletakkan pada sebuah saringan. Umumnya bahan yang dapat disuling menggunakan metode ini adalah akar, rimpang, batang, dan daun. *Steam distillation* atau penyulingan dengan uap merupakan penyulingan yang dilakukan menggunakan uap jenuh pada tekanan lebih dari 1 atm.



Gambar 2.3 Alat Destilasi Uap Air  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)



## 2.5 Mikroenkapsulasi

Proses mikroenkapsulasi melibatkan pembentukan lapisan film pelindung yang biasanya disusun oleh bahan polimer. Kombinasi bahan enkapsulasi (bahan dinding) merupakan salah satu variabel pada proses mikroenkapsulasi yang dapat mempengaruhi perlindungan zat aktif dalam sistem mikroenkapsulasi (Araujo *et al.*, 2020). Mikroenkapsulasi telah digunakan untuk meningkatkan termostabilitas, stabilitas oksidatif, dan umur simpan. Selain itu, sangat berguna untuk mengawetkan senyawa bioaktif dan volatil dari minyak atsiri (Bakry *et al.*, 2016). Dalam metode enkapsulasi, bahan dinding memiliki pengaruh yang sangat baik terhadap sifat fisik dan fungsional produk mikroenkapsulasi (Premi dan Sharma, 2017). Maltodekstrin (MD), gum arab (GA), dan isolat protein whey (WPI) adalah bahan dinding yang paling sering digunakan untuk mikroenkapsulasi minyak (Chew *et al.*, 2018). Saat ini mikroenkapsulasi merupakan salah satu teknik yang paling penting digunakan untuk melapisi bahan selama pengolahan makanan (Pieczykolan dan Kurek, 2019). Selanjutnya, pendekatan ini mungkin berguna untuk melindungi senyawa yang sensitif terhadap lingkungan luar. Bahan bioaktif yang ditutupi oleh bahan penyalut memperoleh ketahanan terhadap suhu tinggi, cahaya, oksigen, dan mikroorganisme. Selain itu, bahan penyalut yang digunakan dalam mikroenkapsulasi mempertahankan berbagai karakteristik fisikokimia dari senyawa yang dilindungi, termasuk sifat kelembaban dan umur simpannya. Sifat-sifat ini tergantung pada struktur bahan penyalut (Nawi *et al.*, 2015).

Mikroenkapsulasi digunakan secara luas untuk meningkatkan stabilitas sampel cair dengan mengubahnya menjadi bentuk bubuk yang lebih stabil. Beberapa metode yang dapat digunakan pada proses mikroenkapsulasi minyak yakni koaservasi, emulsifikasi, polimerisasi, *spray drying*, *freeze drying*, dan ekstrusi leleh. Proses *spray drying* merupakan metode yang sering diterapkan untuk mikroenkapsulasi minyak karena peralatan yang mudah dijumpai dan biaya yang rendah (Calvo *et al.*, 2012). Menurut Berry (2004), metode mikroenkapsulasi yang umum digunakan dalam makanan dan minuman adalah *spray drying* dan *freeze drying* yang digunakan untuk melindungi bahan bioaktif alami atau yang melekat dan mencegah hilangnya rasa selama penyimpanan, dan memperpanjang umur simpan produk. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses mikroenkapsulasi adalah konsentrasi total padatan, kandungan minyak, viskositas, ukuran tetapan, dan emulsifikasi mempengaruhi stabilitas emulsi yang dihasilkan. Selain itu, stabilitas emulsi ini memiliki peran penting dalam



memaksimalkan efisiensi enkapsulasi dan stabilitas mikroenkapsulasi bahan bioaktif (Cao *et al.*, 2018; Giorgio *et al.*, 2019).

## 2.6 Bahan Penyalut

### 2.6.1 Maltodekstrin

Maltodekstrin adalah polisakarida yang terdiri dari unit D-glukosa yang dihubungkan terutama oleh ikatan glikosidik, diperoleh dengan hidrolisis asam atau enzim dari beberapa pati seperti jagung, beras, kentang, pati, atau gandum. Maltodekstrin berasal dari hidrolisis asam pati jagung dan dianggap sebagai agen enkapsulasi yang lebih baik karena viskositasnya yang rendah dan kelarutan dalam air yang tinggi (Balasubramani *et al.*, 2015). Karakteristik lain yang dimiliki oleh maltodekstrin adalah memiliki rasa netral dan larutan yang tidak berwarna (Arepally dan Gospami, 2019).

Maltodekstrin adalah bahan dinding yang paling umum digunakan karena biayanya yang rendah, viskositas rendah pada konsentrasi padatan tinggi, rasa netral, dan perlindungan yang baik terhadap oksidasi dengan kapasitas pengemulsi yang rendah (Fernandes *et al.*, 2014). Maltodekstrin dipilih sebagai bahan penyalut karena memiliki sifat penghambat oksigen yang sangat baik, namun kurangnya karakteristik emulsifikasi menciptakan kebutuhan akan bahan penyalut tambahan (Runge, 2004). Selain itu, maltodekstrin sering digunakan pada produk yang sulit dikeringkan, dengan tujuan untuk mengurangi masalah lengket dan aglomerasi selama penyimpanan (Gabas *et al.*, 2007). Penggunaan maltodekstrin sebagai kombinasi dalam bahan penyalut tambahan memiliki keuntungan dalam mengurangi biaya dan meningkatkan perlindungan inti bahan (Campelo *et al.*, 2018).

### 2.6.2 Gum Arab

Gum arab adalah pengemulsi dan penstabil makanan yang banyak digunakan dalam industri makanan karena mudah dimasukkan ke dalam makanan dan minuman olahan. Bahan ini memiliki kelarutan tinggi dan viskositas yang relatif rendah dan tidak mempengaruhi rasa atau tekstur asli pada makanan (Estevinho dan Rocha, 2018). Sifat-sifat yang dimiliki oleh gum arab menjadikannya sebagai bahan yang ideal dalam mengembangkan produk makanan yang dikemas (Bajaj dan Singhal, 2021). Penambahan bahan penstabil seperti gum arab dalam larutan umpan dapat meningkatkan efisiensi enkapsulasi dan stabilitas keseluruhan



produk akhir (Karangutkar dan Ananthanarayan, 2020). Gum arab adalah heteropolisakarida kompleks dengan struktur bercabang tinggi, terdiri dari asam D-glukuronat, L-rhamnosa, D-galaktosa, dan L-arabinosa, termasuk sekitar 2% protein. Gum arab menunjukkan viskositas rendah, kelarutan tinggi, dan karakteristik pengemulsi yang baik yang menjadikannya bahan dinding yang sesuai (Korma *et al.*, 2019).

Pada proses mikroenkapsulasi, gum arab merupakan salah satu bahan penyalut yang sering digunakan (Mahdavi *et al.*, 2016). Hingga saat ini, gum arab masih umum digunakan sebagai agen penyalut bahan inti. Menurut Alawi *et al.* (2018), gum arab memiliki aktivitas antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen seperti *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*. Gum arab digunakan sebagai bahan dinding dalam pengeringan semprot karena sifat emulsifikasi yang baik, kelarutan tinggi, dan viskositas rendah dalam larutan berair. Selain itu, memberikan retensi yang baik dari zat yang mudah menguap dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap oksidasi (Chew *et al.*, 2018).

### **2.7 Freeze Drying**

Pembekuan merupakan langkah awal dari proses *freeze drying*, dimana sampel dipapar pada suhu rendah sehingga sampel menjadi padat (Morais *et al.*, 2016), kemudian terjadi pengeringan beku. Laju pembekuan merupakan parameter yang harus dioptimalkan karena laju pembekuan menghasilkan pembentukan berbagai jenis kristal es. Pembekuan cepat menyebabkan kristal es kecil dan banyak, sedangkan pembekuan lambat membentuk kristal yang lebih besar dan lebih sedikit. Dengan demikian, luas permukaan kristal ini akan mempengaruhi langkah pengeringan beku lebih lanjut (Ingvarsson *et al.*, 2011).

*Freeze drying* adalah proses di mana air disublimasikan dengan transisi langsung air dari padat (es) menjadi uap, sehingga menghilangkan keadaan cair, dan kemudian menyerap air dari lapisan "kering". Ini banyak digunakan untuk stabilisasi makanan berkualitas tinggi, bahan biologis, dan obat-obatan, seperti protein, vaksin, bakteri, dan sel mamalia. Dalam prosesnya, kualitas produk kering (sifat biologis, nutrisi, dan organoleptik) dipertahankan (Assegehegn *et al.*, 2019). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa pembekuan air dalam bahan sebelum liofilisasi menghambat proses kimia, biokimia, dan mikrobiologi. Hal ini menyebabkan rasa, bau, dan kandungan nutrisinya tidak berubah. Bahan makanan mentah mengandung banyak air, berkisar antara 80% sampai 95%.



Penghilangan air dengan hasil sublimasi dalam penciptaan struktur yang sangat berpori dari produk *freeze-dried* (Jia *et al.*, 2019).

*Freeze drying* adalah teknik dehidrasi berdasarkan sublimasi air yang ada dalam suatu produk, yang menghasilkan pengurangan aktivitas air dan oleh karena itu terkait dengan proses deteriorasi yang dialami makanan (Canovas *et al.*, 2005). Produk dibekukan untuk dikenakan tekanan vakum dengan sublimasi konsekuensi dan desorpsi air. Pengeringan beku beroperasi pada suhu rendah, yang berkontribusi untuk mempertahankan karakteristik seperti rasa, warna atau penampilan dan untuk meminimalkan degradasi senyawa termolabil, banyak dari mereka yang bertanggung jawab atas aroma dan nilai gizi buah. Dengan demikian, produk akhir beku-kering berkualitas tinggi dibandingkan dengan teknik dehidrasi lainnya (Karam *et al.*, 2016). Kelemahan dari *freeze drying* adalah biayanya yang tinggi, karena waktu proses yang lama dan biaya energi yang terkait dengan tahap vakum. Untuk alasan ini, hanya digunakan secara luas untuk mendapatkan produk dengan nilai tambah tinggi, seperti yang terjadi di industri farmasi serta di beberapa industri makanan tertentu. Namun, mengingat nilai sensorik dan fungsional buah yang tinggi, terkait dengan kandungan senyawa bioaktifnya yang tinggi, pengeringan beku dapat menjadi peluang khusus dalam kasus ini. Dalam hal ini, teknik tersebut dapat memberikan format makanan yang berbeda, di antaranya produk buah yang renyah dengan penerimaan konsumen yang baik sebagai makanan ringan (Navarette *et al.*, 2019). Meskipun optimasi yang memadai dari kondisi proses berkontribusi untuk mengurangi durasi proses, beberapa laporan telah menunjukkan bahwa baik pembekuan dan variabel pengeringan, seperti tingkat pembekuan atau tekanan kerja dan suhu rak selama langkah pengeringan, dapat mempengaruhi kualitas dari produk yang diperoleh (Cebalos *et al.*, 2012).

## 2.8 Response Surface Methodology (RSM)

*Response Surface Methodology* (RSM) merupakan kombinasi teknik statistik dan matematika berdasarkan beberapa percobaan, yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan dan mencari kondisi optimum (Wu *et al.*, 2012).

RSM digunakan apabila terdapat beberapa variabel input yang berpotensi mempengaruhi respons suatu proses. RSM dapat digambarkan sebagai teknik yang melibatkan perhitungan kompleks pada proses optimasi (Said *et al.*, 2015).

Pendekatan ini mengembangkan desain eksperimen yang sesuai yang mengintegrasikan semua variabel independen dan menggunakan input data dari



eksperimen untuk akhirnya menghasilkan satu set persamaan yang dapat memberikan nilai teoritis dari suatu output. Output diperoleh dari analisis regresi yang dirancang dengan baik yang didasarkan pada nilai-nilai terkontrol dari variabel independen. Setelah itu, variabel dependen dapat diprediksi berdasarkan nilai-nilai baru variabel independen.

Penggunaan metodologi respon permukaan (RSM) dalam optimasi proses adalah pendekatan penghematan waktu dan biaya karena jumlah percobaan eksperimental yang diperlukan untuk mengevaluasi beberapa variabel dan interaksi mereka berkurang (Zhu *et al.*, 2013). Keuntungan menggunakan metode RSM meliputi pengurangan jumlah percobaan, identifikasi interaksi antar faktor, deteksi respon optimal dalam wilayah percobaan, dan pemodelan empiris data.



### III. KERANGKA KONSEP DAN KERANGKA PEMIKIRAN

#### 3.1 Kerangka Berpikir Penelitian

Minyak atsiri lengkuas merah adalah minyak esensial yang dapat berasal dari penyulingan bunga, batang, dan daun lengkuas merah (Gulcin *et al.*, 2012). Menurut Millind dan Khanna (2011), jumlah permintaan minyak atsiri lengkuas merah di pasaran sangat tinggi, karena dapat digunakan pada bidang farmasi, industri makanan, pertanian, kosmetik, dan industri lainnya. Di Indonesia, produksi minyak atsiri lengkuas merah cukup tinggi karena dinilai memiliki kualitas yang baik dengan kadar eugenol sekitar 70-90% (Atanasova *et al.*, 2017; Nejad *et al.*, 2017; Uddin *et al.*, 2017).

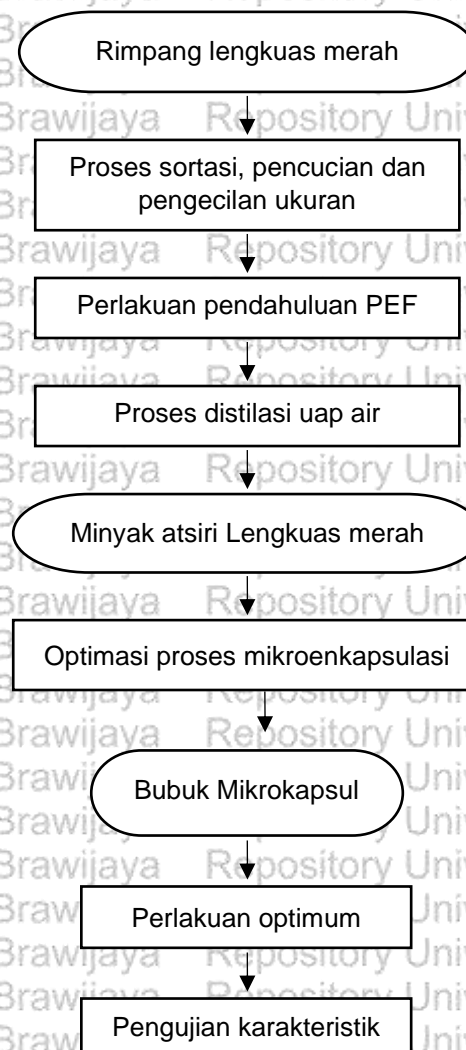
Senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) terdiri dari 1,8-cineole, -pinene, 48% methylinamat, 20-30% 1,8-cineole, 1 % kapur barus, dan sisanya d-pinen, galangin, dan eugenol sebagai penyebab rasa pedas pada lengkuas (Sujono *et al.*, 2019). Sineol (1,8-cineole) adalah monoterpena alami, yang juga dikenal sebagai eucalyptol. Senyawa ini merupakan salah satu senyawa utama pada banyak minyak atsiri tumbuhan. Sineol terbukti memiliki manfaat terapeutik pada penyakit inflamasi saluran napas, seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik (Juergens, 2014).

Mikroenkapsulasi dilakukan agar senyawa aktif yang terdapat pada minyak atsiri lengkuas merah tidak mengalami kerusakan selama proses maupun penyimpanan. Faktor yang mempengaruhi mikroenkapsulasi dengan metode *freeze drying* salah satunya adalah pemilihan bahan penyalut. Menurut Gharsallaoui *et al.* (2007), bahan penyalut yang biasa digunakan pada proses mikroenkapsulasi adalah gum (gum arab, karagenan, sodium aglinat), karbohidrat (dekstrin, pati, sukrosa), selulosa (metilselulosa, karboksimetilselulosa), lemak (parafin, asam stearat, pospolipid) dan protein (gelatin, albumin). Maltodekstrin merupakan salah satu bahan penyalut berasal dari karbohidrat yang memiliki beberapa kelebihan yakni tidak higroskopis, tidak berasa manis, berwarna putih, memiliki kelarutan yang tinggi, tidak berbau, mempunyai stabilitas yang baik terhadap oksigen, serta aman dikonsumsi (Sadeghi *et al.*, 2008). Penggunaan gum arab sebagai bahan penyalut dianggap sebagai polimer penyalut ideal yang terdiri dari D-galaktosa, asam D-glukuronat, L-arabinosa, L-rhamnosa, dan komponen protein minor (2%) yang menjadikan gum arab memiliki karakteristik pengemulsi yang sangat baik (Jafari *et al.*, 2008). Gum arab juga mampu

membentuk emulsi stabil dengan minyak atsiri dalam larutan berair pada rentang pH yang luas (Martin *et al.*, 2010). Pada penelitian ini digunakan bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab dengan perbandingan 1:3, 1:1, dan 3:1. Formulasi yang tepat terkait bahan penyalut yang digunakan dalam proses mikroenkapsulasi dengan menggunakan metode *freeze drying* sangat perlu diketahui. Hal ini berkaitan dengan hasil mikrokapsul yang diperoleh agar mendapatkan formula yang optimal.

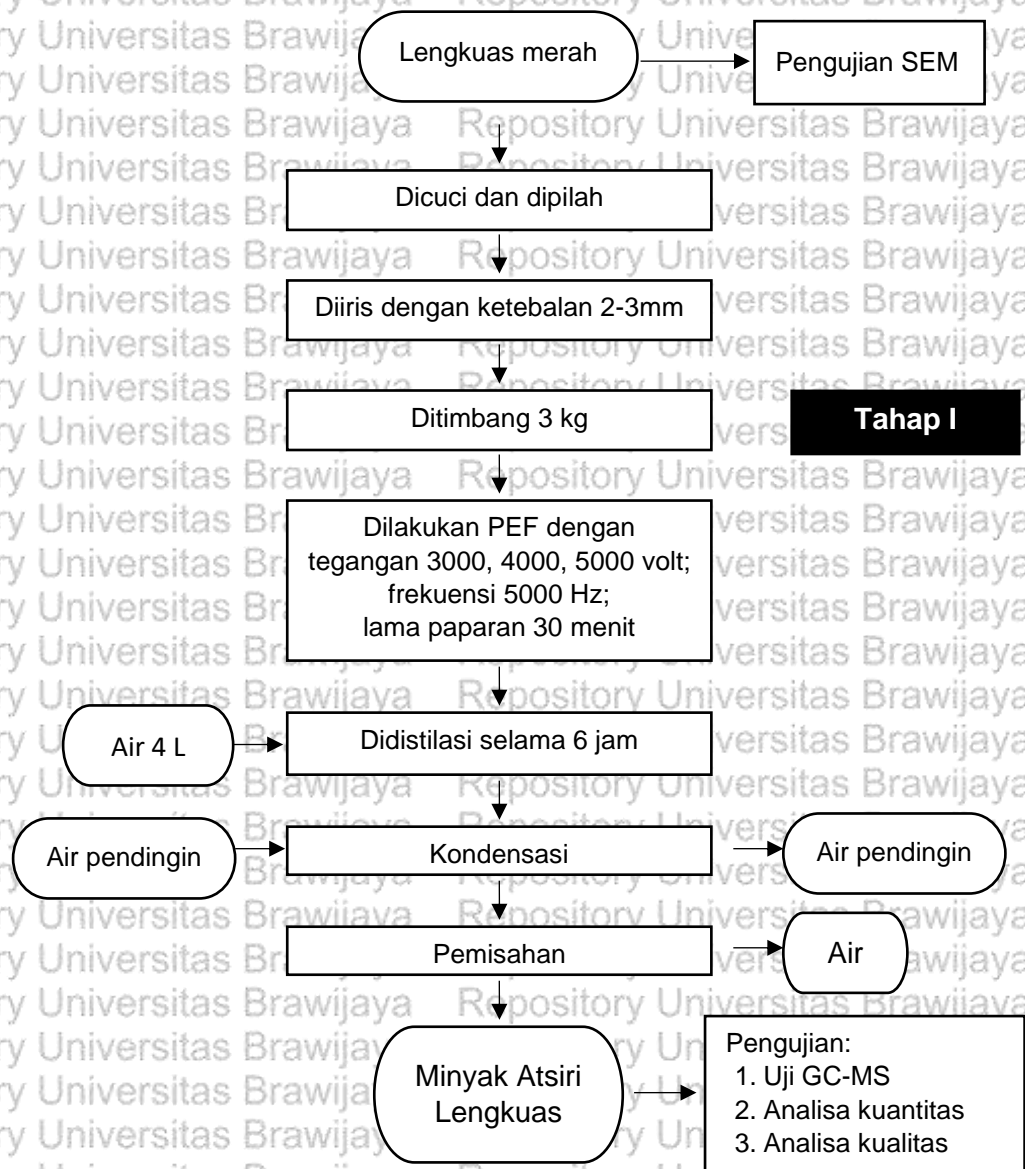
### 3.2 Kerangka Konsep Penelitian

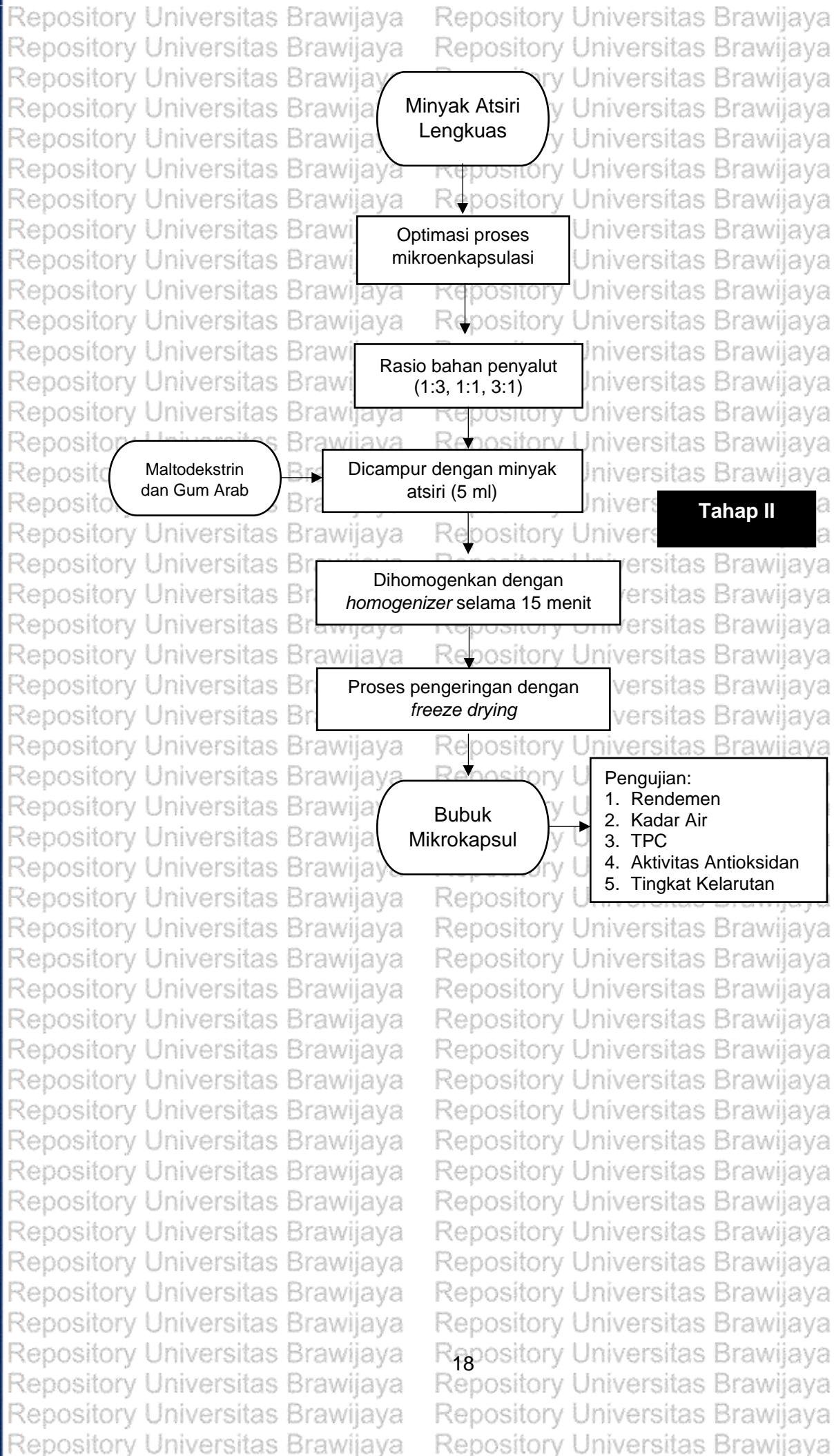
Berdasarkan paparan kerangka berpikir dalam penelitian ini, maka disusunlah kerangka konsep penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.

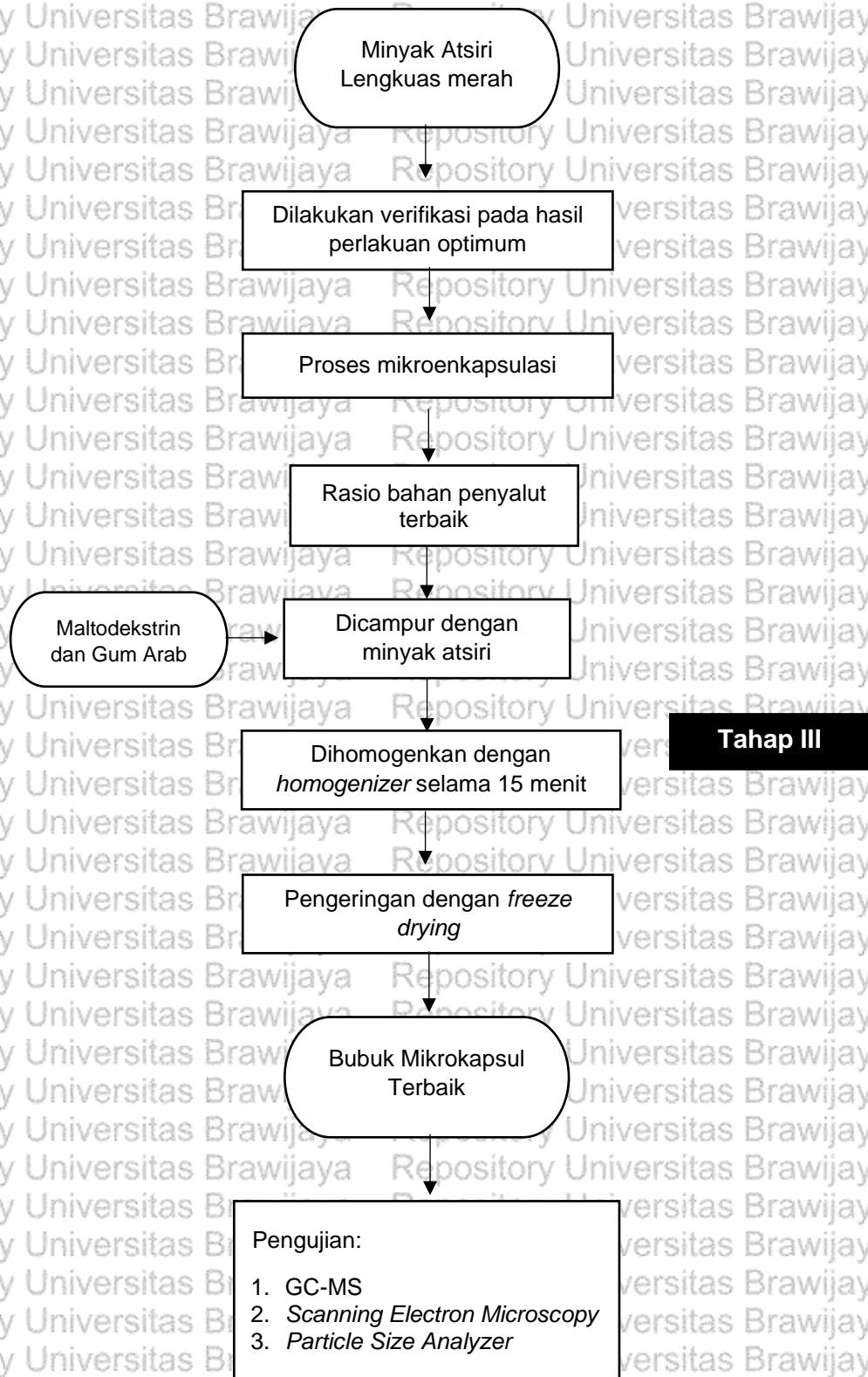


**Gambar 3.1** Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan kerangka konsep yang telah disusun di atas, maka terbentuklah sajian kerangka operasional penelitian. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yakni tahap pertama, tahap kedua, dan tahap ketiga. Tahap pertama adalah jabaran proses penyulingan minyak atsiri yang berasal dari rimpang lengkuas merah. Tahap kedua merupakan jabaran proses mikroenkapsulasi dengan faktor rasio bahan penyalut terhadap beberapa respon meliputi rendemen, kadar air, *total phenolic content* (TPC), aktivitas antioksidan (DPPH), dan tingkat kelarutan. Tahap ketiga merupakan verifikasi dari respon optimum dari penelitian yang dilakukan pada tahap kedua dan dilakukan pengujian morfologi mikrokapsul dan ukuran partikel mikrokapsul.







Gambar 3.2 Kerangka Operasional Penelitian



### 3.3 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini antara lain:

1. Diduga formulasi bahan penyalut dapat menyebabkan proses mikroenkapsulasi yang optimal.
2. Diduga terdapat pengaruh mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah terhadap kandungan senyawa fitokimia.



## IV. METODE PENELITIAN

### 4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini secara keseluruhan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Agrokimia, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Pembuatan mikrokapsul menggunakan *freeze dryer* yang ada di *Ma-Chung Research Center for Photosynthetic Pigment*. Pengujian GC-MS dan UV-Vis dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Pengujian SEM dilakukan di Institut Biosains Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli – Oktober 2021.

### 4.2 Alat dan Bahan

#### 4.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada perlakuan pendahuluan adalah generator *Pulsed Electrical Field* (PEF). Alat yang digunakan pada proses distilasi adalah kondensor, dan distilator, sedangkan, alat yang dibutuhkan pada proses mikroenkapsulasi adalah *magnetic stirrer* (ThermoScientific), *homogenizer* (UltraTurax), peralatan glassware seperti *beaker glass* 250 ml (Pyrex grade A), *beaker glass* 500 ml (Pyrex grade A), gelas ukur 100 ml (Pyrex grade A), corong, dan erlenmeyer 500 ml (Pyrex grade A). Alat utama yang digunakan untuk proses mikroenkapsulasi adalah *freeze dryer* (Labconco). Alat yang digunakan untuk analisa diantaranya *moisture analyzer* (OHAUS MB25), spektrofotometer UV-Vis (Analytik Jena Specord 200 Plus), *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (Shimadzu QP2010 Plus), *Scanning Electron Microscopy* (HITACHI), *colorimeter* (PCE-CSM4), *Particle Size Analyzer* (CILAS 1090 DRY), timbangan digital (Sartorius 5201-1S), refraktometer (Atago PAL-2), piknometer (*Pyrex*), gelas ukur 10 ml (Pyrex grade A), *beaker glass* 50 ml (Pyrex grade A), 100 ml, 250 ml (Pyrex grade A), dan 500 ml (Pyrex grade A), labu ukur 10 ml (Pyrex grade A), labu ukur 50 ml (Pyrex grade A), kuvet (Quartz), vortex (VM-300), tabung reaksi, erlenmeyer, mikropipet, bluetip, pipet ukur 10 ml, pipet ukur 2 ml, dan bulb.

#### 4.2.2 Bahan

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini adalah rimpang lengkuas merah umur 9-10 bulan yang diperoleh dari pedagang Pasar Blimbing Malang. Bahan penyalut yang digunakan adalah maltodekstrin dan gum arab dari Toko Kimia Nurra Gemilang. Bahan yang dibutuhkan pada saat perlakuan



pendahuluan dengan PEF adalah plastic PP berukuran 2 kg sebagai pembungkus bahan utama. Bahan lain yang digunakan untuk analisa adalah kain saring, kertas saring, alumunium foil, kardus, etanol PA, akuades, Asam Galat ( $C_7H_6O_5$ ), Reagen Folin-Ciocalteu 10%, Natrium Karbonat ( $Na_2CO_3$ ) 7,5%, 1,1 Difenil-2-Pikrihidrazil (DPPH) dan tween 80 dari Toko Kimia Duta Jaya.

#### 4.3 Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan tiga tahap, yaitu tahap pertama adalah menentukan perlakuan terbaik untuk mendapatkan minyak atsiri rimpang lengkuas merah melalui *water and steam distillation* dan perlakuan pendahuluan PEF. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan faktor tunggal yaitu tegangan (V) yang terdiri dari tiga perlakuan yaitu 3000V, 4000V, dan 5000V. Lama paparan PEF yang digunakan dalam proses selama 30 menit. Variabel terikat terdiri dari rendemen, indeks bias, berat jenis, dan warna. Penentuan perlakuan terbaik dilakukan dengan uji pembobotan menggunakan metode Zeleny (1982).

Penelitian tahap kedua adalah optimasi proses mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah. Metode penelitian yang digunakan adalah Metode Respon Permukaan atau *Response Surface Method* (RSM). Rancangan percobaan menggunakan *software Design Expert* versi 8 (Trial) dengan menggunakan pendekatan *Central Composite Design* (CCD). Pada penelitian ini terdapat 2 variabel, yaitu variabel bebas dan variabel respon. Variabel bebas yang terdapat pada penelitian ini adalah rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2). Variabel respon merupakan variabel dependen yang dipengaruhi variabel bebas. Variabel respon pada penelitian ini adalah *total phenolic content* (TPC) (Y1), aktivitas antioksidan (Y2), rendemen (Y3), dan efisiensi enkapsulasi (Y4).

Penelitian tahap tiga adalah verifikasi dari respon optimum dari penelitian yang dilakukan pada tahap kedua. Setelah didapatkan respon optimum akan dilakukan pengujian morfologi mikrokapsul dan ukuran partikel mikrokapsul, serta analisis fitokimia. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia yang terdapat pada minyak atsiri yang telah dilakukan mikroenkapsulasi. Selain itu, untuk memberikan informasi mengenai senyawa yang memiliki efek farmakologi.



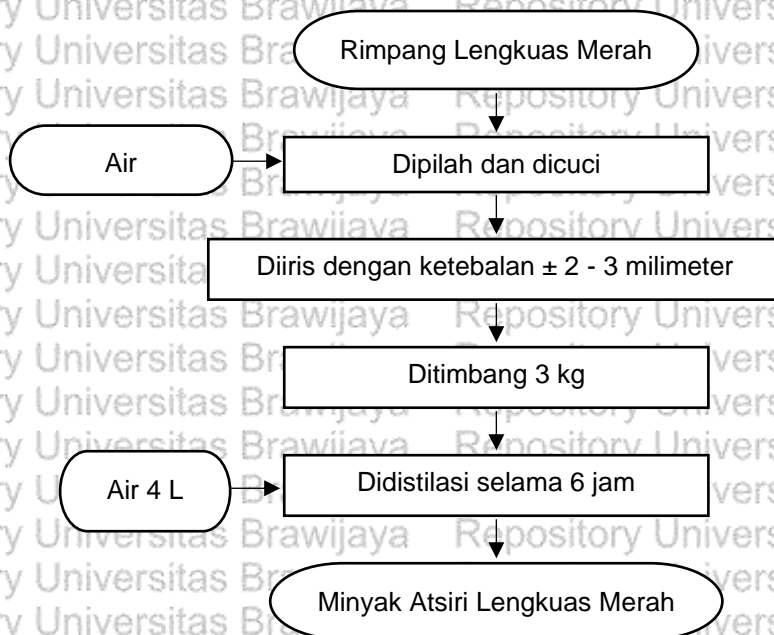
#### 4.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

##### 4.4.1 Penelitian Tahap I

Penelitian tahap pertama dilakukan untuk mendapatkan minyak atsiri menggunakan metode *water and steam distillation* atau penyulingan dengan uap dan air. Sebelum dilakukan distilasi dilakukan perlakuan pendahuluan berupa *Pulsed Electrical Field* (PEF) pada bahan baku. Pada perlakuan pendahuluan dicari tegangan dan lama paparan terbaik dengan rentang tegangan 3000, 4000, dan 5000 volt, sedangkan lama paparan 30 menit. Proses distilasi rimpang lengkuas merah menggunakan acuan dari penelitian terdahulu Yustica *et al.* (2019) yang berhasil mengoptimalkan rendemen minyak atsiri. Langkah distilasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Lengkuas merah dipilah dan dicuci bersih dengan air mengalir.
2. Lengkuas yang telah bersih diiris tipis dengan ketebalan  $\pm 2 - 3$  milimeter.
3. Kemudian dimasukkan air ke dalam ketel destilator dan potongan lengkuas merah diletakkan pada saringan.
4. Ditutup ketel hingga rapat dan tidak ada celah dan dinyalakan kompor dan ditunggu hingga terbentuk uap panas pada kondensor.
5. Dilakukan distilasi selama 6 jam.
6. Dipisahkan distilat pada botol kaca dan ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat untuk memisahkan lapisan air dengan minyak.

Diagram alir proses ekstraksi minyak atsiri rimpang lengkuas merah menggunakan metode distilasi uap dan air dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Proses Distilasi Minyak Rimpang Lengkuas Merah

Rancangan percobaan pada penelitian tahap I adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan faktor tunggal yaitu tegangan PEF yang terdiri dari tiga perlakuan (3000 V, 4000 V, dan 5000 V). Masing-masing perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan, sehingga terdapat 9 percobaan. Perlakuan proses distilasi minyak rimpang lengkuas merah dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Rancangan Penelitian

Tegangan (V)	Ulangan		
	1	2	3
V1	V1U1	V1U2	V1U3
V2	V2U1	V2U2	V2U3
V3	V3U1	V3U2	V3U3

Dari Tabel 4.1 diperoleh perlakuan sebagai berikut:

V1: Tegangan 3000V

V2: Tegangan 4000V

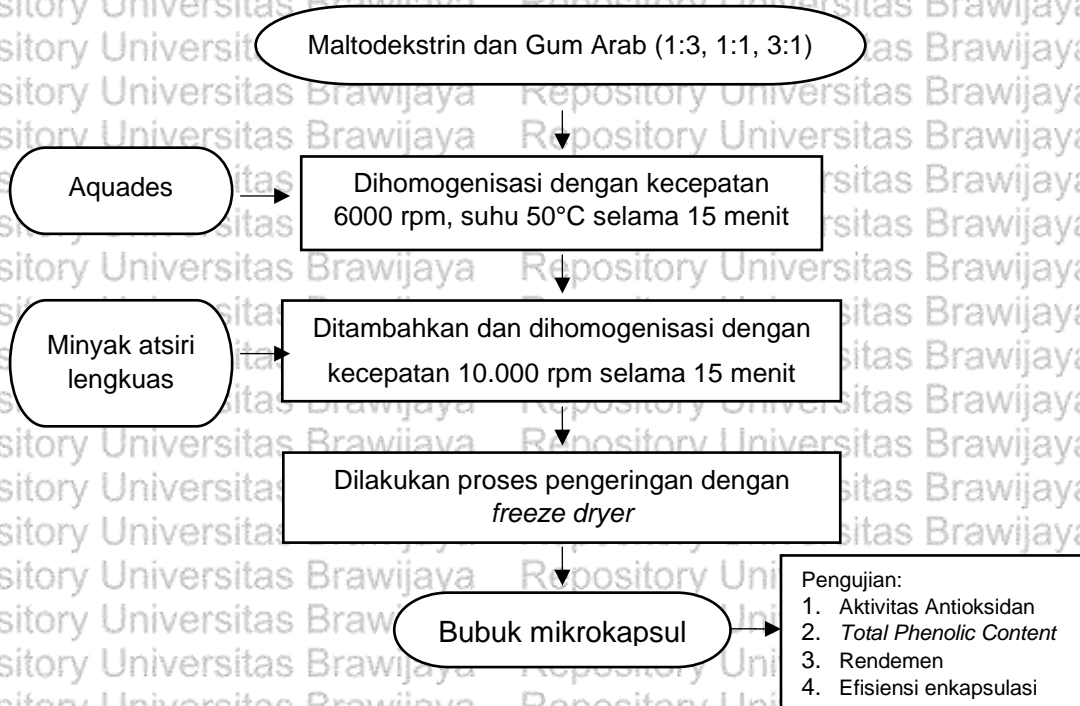
V3: Tegangan 5000V

#### 4.4.2 Penelitian Tahap II

Penelitian tahap kedua dilakukan untuk mengoptimalkan proses mikroenkapsulasi minyak rimpang lengkuas merah. Mikroenkapsulasi menggunakan metode *freeze drying* dengan faktor berupa rasio bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab. Terdapat beberapa tahapan proses mikroenkapsulasi minyak rimpang lengkuas merah sebagai berikut:

1. Disiapkan bahan penyalut yang terdiri dari maltodekstrin dan gum arab (1:3, 1:1, 3:1) dengan total 15 gr.
2. Ditambahkan 75 ml aquades pada masing-masing rasio bahan penyalut.
3. Dihomogenisasi pada kecepatan 6000 rpm, suhu 50°C selama 15 menit.
4. Ditambahkan 5ml minyak atsiri rimpang lengkuas merah kedalam bahan enkapsulan, lalu dihomogenkan selama 15 menit dengan kecepatan 15.000 rpm.
5. Dimasukkan kedalam tabung khusus untuk pembekuan larutan.
6. Dipasang tabung ke alat *freeze dryer* yang telah dihidupkan.
7. Bubuk enkapsulasi jadi saat bahan telah mengering.

Diagram alir proses mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah menggunakan *freeze drying* dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** Proses Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Optimasi proses mikroenkapsulasi dilakukan menggunakan metode penelitian *Response Surface Method* (RSM) dengan pendekatan *Central Composite Design* (CCD). Rancangan percobaan menggunakan *software Design Expert* versi 8. Rancangan percobaan dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk melakukan rancangan percobaan sebagai berikut:

1. Penentuan level faktor yang akan diteliti, dimana faktor yang digunakan adalah rasio maltodekstrin ( $X_1$ ) dan rasio gum arab ( $X_2$ ). Masing-masing faktor terdiri dari 3 taraf dengan kode +1, -1, dan 0 sebagai titik pusat.

a. Rasio maltodekstrin (A), terdiri dari 3 taraf:

$$X_1: (X_1 = -1) = 3,75$$

$$X_1: (X_1 = 0) = 7,50$$

$$X_1: (X_1 = 1) = 11,25$$

$$\text{Jarak antar faktor} = 3,75$$

b. Rasio gum arab (B), terdiri dari 3 taraf:

$$X_2: (X_2 = -1) = 3,75$$

$$X_2: (X_2 = 0) = 7,50$$



- $X_2: (X_2 = 1) = 11,25$   
 Jarak antar faktor = 3,75
- Penetapan level faktor yang sesuai dengan titik pusat  $X_1 = 0$  dan  $X_2 = 0$ . Pada faktor rasio maltodekstrin, hubungan antara variabel  $X_1$  dengan variabel asli dinyatakan sebagai berikut:

$$X_1 = (A-7,50)/3,75, A = 3,75 X_1 + 7,50 \dots\dots\dots (1)$$

Pada faktor rasio gum arab, hubungan antara variabel  $X_1$  dengan variabel asli dinyatakan sebagai berikut:

$$X_2 = (B-7,50)/3,75, B = 3,75 X_1 + 7,50 \dots\dots\dots (2)$$

- Penentuan nilai  $\alpha = 2(k/4)$ , dimana  $k = 2$  sehingga diperoleh nilai  $\alpha$  sebesar 1,414. Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai taraf faktor yang sesuai dengan nilai  $-\alpha = -1,414$  dan nilai  $\alpha = 1,414$  dengan melakukan perhitungan hubungan variabel  $X_1$  dan  $X_2$  dengan variabel asli pada persamaan (1) dan (2).

Dari persamaan 1 dapat diketahui bahwa :

a.  $X_1 = -1,414$

$A = 2,20$

b.  $X_1 = 1,414$

$A = 12,80$

Dari persamaan 2 dapat diketahui bahwa:

a.  $X_2 = -1,414$

$B = 2,20$

b.  $X_2 = 1,414$

$B = 12,80$

**Tabel 4.2** Rancangan Percobaan RSM

No.	Faktor		Faktor		Respon				
	X1	X2	Rasio MD	Rasio GA	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	TPC (mg GAE/gr)	DPPH (ppm)	Keluturan (%)
1	-1	-1	3,75	3,75	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
2	+1	-1	11,25	3,75	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
3	-1	+1	3,75	11,25	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
4	+1	+1	11,25	11,25	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
5	-1,414	0	2,20	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
6	+1,414	0	12,80	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
7	0	-1,414	7,50	2,20	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
8	0	+1,414	7,50	12,80	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
9	0	0	7,50	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
10	0	0	7,50	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
11	0	0	7,50	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
12	0	0	7,50	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
13	0	0	7,50	7,50	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5



**Tabel 4.3** Titik Komposit Terpusat yang Dicobakan

Faktor	- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
Rasio maltodekstrin	2,20	3,75	7,50	11,25	12,80
Rasio gum arab	2,20	3,75	7,50	11,25	12,80

Langkah-langkah penentuan solusi optimal dari proses mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah adalah sebagai berikut:

1. Metode yang dipilih yaitu *Respon Surface Method* (RSM) dan desain model yang digunakan untuk rancangan percobaan yaitu *Central Composite Design* (CCD).
2. Pada *numeric factor* diisi 2 karena faktor perlakuan yang digunakan adalah rasio maltodekstrin dan rasio gum arab.
3. Dimasukkan nama dan satuan masing-masing faktor perlakuan pada kolom *name* dan *unit*.
4. Dimasukkan batas atas pada kolom *high* dan batas bawah pada kolom *low* untuk masing-masing faktor, kemudian tekan *continue*.
5. Ditetapkan respon yang digunakan yaitu *total phenolic content*, aktivitas antioksidan, rendemen, dan efisiensi enkapsulasi, sehingga pada *response* pilih 4 karena respon yang digunakan ada 4.
6. Setelah itu, dilengkapi dengan nama pada kolom *name* dan satuan pada kolom *unit* untuk masing-masing respon. Klik *finish*.
7. Klik kanan pada kolom *Std.* dan klik *sort ascending*.
8. Data hasil penelitian dimasukkan pada masing-masing kolom respon dari tiap-tiap perlakuan.
9. Klik *analysis*, masing-masing analisis dari setiap respon dibuka, kemudian klik *fit summary*, *model*, ANOVA untuk mengetahui hasil perhitungan analisis ragam ANOVA, *diagnostic*, dan *model graphs*.
10. Klik menu *view* untuk menampilkan kurva 3 dimensi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antar faktor perlakuan masing-masing respon.
11. Hasil solusi optimal dapat dilihat pada menu *numeric optimization* pada program *Design Expert* lalu dipilih *optimal solution*.

#### 4.4.3 Penelitian Tahap III

Penelitian tahap ketiga adalah verifikasi dari solusi optimal. Verifikasi perlakuan optimal dilakukan untuk memastikan keakuratan dari solusi hasil optimal



pada masing-masing variabel bebas. Tahap verifikasi dilakukan dengan melakukan penelitian ulang dengan rasio bahan penyalut yang merupakan solusi optimal terbaik. Setelah itu, dilakukan pengujian morfologi dan pengujian ukuran partikel. Hasil verifikasi yang dilakukan kemudian dibandingkan dengan solusi prediksi yang dihasilkan pada *running* program. Apabila hasilnya tidak berbeda nyata dengan solusi optimal program, maka perlakuan yang terpilih dapat dianggap sebagai solusi optimal. Setelah dilakukan verifikasi, dilakukan pengujian morfologi mikrokapsul dan ukuran partikel mikrokapsul, serta analisis fitokimia. Analisa fitokimia dilakukan menggunakan metode uji *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) dan UV-Vis.

#### 4.5 Parameter Pengamatan

##### 4.5.1 Uji Rendemen (SNI, 2014)

Sampel bahan baku ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat sebagai berat bahan awal. Hasil perlakuan akhir ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat sebagai berat produk yang dihasilkan. Rendemen bahan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\%Rendemen = \frac{\text{berat produk yang dihasilkan (gram)}}{\text{berat bahan awal (gram)}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

##### 4.5.2 Indeks Bias (SNI, 2014)

Penentuan indeks bias pada minyak atsiri idealnya dilakukan pada suhu ruang  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Berikut prosedur pengukuran densitas pada minyak atsiri menggunakan refraktometer:

1. Mengaliri alkohol pada permukaan prisma refraktometer dan dilap dengan tisu agar steril dan bersih.
2. Meneteskan minyak atsiri yang akan diukur indeks biasnya diatas prisma refraktometer.
3. Didiamkan beberapa saat agar suhu minyak dan alat stabil.
4. Membaca angka yang muncul pada layer alat refraktometer.





#### 4.5.3 Densitas (SNI, 2014)

Pengukuran densitas pada minyak atsiri idealnya dilakukan pada suhu ruang  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Berikut prosedur pengukuran densitas pada minyak atsiri menggunakan piknometer berdasarkan SNI (2014):

1. Ditimbang piknometer dalam keadaan kosong dan bersih.
2. Mengisi piknometer dengan aquades kemudian ditutup dan ditimbang.
3. Mengosongkan piknometer dan dibersihkan dengan etanol.
4. Mengisi piknometer dengan minyak kemudian ditutup dan ditimbang.
5. Menentukan densitas minyak atsiri menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Densitas} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

$m$  = massa piknometer kosong (gr)

$m_1$  = massa piknometer dan aquades (gr)

$m_2$  = massa piknometer dan minyak (gr)

#### 4.5.4 Uji Warna (Angkadja et al., 2014)

Pengujian warna dilakukan dengan menggunakan alat *colour reader*. Prosedur pengujian adalah dengan mempersiapkan minyak yang akan diuji warnanya pada sebuah wadah bening. Pengujian dilakukan pada ruang tertutup dan tanpa ada cahaya matahari. Hasil dari pengujian berupa nilai meliputi L (kecerahan),  $a^*$  (warna kemerahan), dan  $b^*$  (warna kekuningan).

#### 4.5.5 Uji Kadar Air (Nielsen, 2010)

Pengujian kadar air pada sampel mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah dilakukan menggunakan alat *moisture analyzer*. Mikrokapsul dimasukkan kedalam loyang alumunium yang terletak di dalam alat, dan dilakukan penimbangan sebanyak 1,2 gr. Kemudian sampel dipanaskan dengan menaikkan suhu secara konstan pada rentang suhu  $25 - 275^{\circ}\text{C}$ . Saat kelembaban dikeluarkan dari sampel, alat akan secara otomatis menimbang dan menghitung persentase kadar air bahan. Waktu pengukuran bergantung pada persentase kadar air bahan.

#### 4.5.6 Analisis Total Phenolic Content (Marjoni et al., 2015)

Pengujian total fenol dilakukan dengan prosedur modifikasi sebagai berikut.



#### Pembuatan Kurva Standar Asam Galat:

1. Serbuk Asam Galat ditimbang sebanyak 0,01 gr.
2. Dimasukkan kedalam labu ukur 100 ml dan ditambahkan aquades sampai dengan tanda batas.
3. Larutan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan induk asam galat sebesar 100 ppm
4. Larutan diencerkan dengan konsentrasi 0 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm.
5. Masing-masing konsentrasi diambil 0,5 ml dan ditambahkan 2,5 ml reagen Folin-Ciocalteau 10%.
6. Larutan dihomogenkan dan diinkubasi selama 5 menit dalam gelap.
7. Ditambahkan 2 ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7,5% kedalam larutan.
8. Dihomogenkan dan diinkubasi selama 30 menit dalam gelap.
9. Diukur absorbansi dengan panjang gelombang 765nm.
10. Hasil pengukuran absorbansi di plot ke kurva dengan x adalah konsentrasi asam galat dan Y adalah absorbansi, sehingga diperoleh rumus regresi  $Y = ax+b$ .

#### Pembuatan Larutan Uji (Sampel):

1. Sampel ditimbang sebanyak 0,01gr dan dilarutkan kedalam 10 ml aquades.
2. Larutan diambil sebanyak 0,5 ml dan dimasukkan kedalam tabung reaksi gelap.
3. Larutan dicampur dengan 2,5 ml reagen Folin-Ciocalteau 10% dengan pelarut aquades
4. Campuran dihomogenkan dan diinkubasi selama 5 menit dalam gelap dan suhu ruang.
5. Ditambahkan sebanyak 2 ml larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7,5% dengan pelarut aquades.
6. Larutan dihomogenkan dan diinkubasi selama 30 menit dalam gelap dan suhu ruang.
7. Blanko yang digunakan adalah aquades 0,5 ml ditambah dengan 2,5 ml reagen Folin-Ciocalteau 10% dan 2 ml larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7,5%.
8. Diukur serapan panjang gelombang maksimal yaitu 765nm dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis.
9. Jumlah senyawa fenolik diukur berdasarkan kurva baku *Gallic Acid Equivalent* (GAE)/gr ekstrak.



10. Kadar senyawa fenolik dalam sampel diukur dengan persamaan sebagai berikut.

$$C = \frac{c \times fp \times v}{m} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan:

C = Konsentrasi TPC (mg GAE/g ekstrak)

c = konsentrasi asam galat (miu g GAE/ml)

V = Volume larutan sampel yang diambil untuk pengujian (ml)

m = bobot sampel yang digunakan untuk pengujian (g)

#### 4.5.7 Analisis Aktivitas Antioksidan (Handayani *et al.*, 2014)

Analisis aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH dengan modifikasi prosedur sebagai berikut.

Pembuatan Larutan DPPH 0,2 mM:

1. Menimbang DPPH sebanyak 3,9433 mg
2. Dilarutkan dengan metanol di dalam labu ukur hingga 50 ml.

Pembuatan Larutan Sampel:

1. Sebanyak 0,01 gr ekstrak ditimbang kemudian dilarutkan dalam labu ukur dengan 10 ml metanol, sehingga diperoleh larutan induk 1000 ppm.
2. Larutan induk diencerkan dengan 5 seri pengenceran yaitu 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm.

Pembuatan Larutan Blanko:

1. Larutan DPPH dipipet sebanyak 1 ml kemudian dimasukkan kedalam 2 ml metanol.
2. Larutan dihomogenkan dan diinkubasi dalam gelap selama 30 menit.

Pengukuran Daya Antioksidan

1. Sampel pada masing-masing konsentrasi diambil 2 ml dan dimasukkan kedalam tabung reaksi.
2. Kemudian pada masing-masing tabung reaksi ditambahkan 1 ml DPPH dengan 0,2 mM.
3. Larutan yang telah ditambahkan DPPH dihomogenkan dan diinkubasi dalam gelap selama 30 menit.
4. Diukur absorbansinya dengan Spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm. Kemampuan antioksidan diukur sebagai penurunan serapan larutan DPPH akibat adanya penambahan sampel.



5. Nilai serapan larutan DPPH sebelum dan sesudah penambahan ekstrak, persentase penghambatan radikal bebas (persen inhibisi) dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\%inhibisi = \frac{abs\ blanko - abs\ sampel}{abs\ blanko} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

6. Hasil pengukuran dimasukkan kedalam persamaan regresi linear menggunakan rumus  $Y = aX + b$ , dimana Y adalah persen inhibisi dan X adalah konsentrasi. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan nilai  $IC_{50}$  dari masing-masing sampel.

#### 4.5.8 Tingkat Kelarutan (Tomsone *et al.*, 2020)

Penentuan kelarutan mikrokapsul dalam air dihitung dengan menggunakan kertas saring Whatman no.42 melalui persentase berat residu yang tidak dapat lolos melalui penyaringan. Kertas saring ditimbang terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengukuran tingkat kelarutan dilakukan dengan menimbang 0,1 gr sampel mikrokapsul (a) dimasukkan ke dalam 10 mL aquades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan tersebut disaring dengan kertas saring dan bagian sampel yang tidak tersaring dioven selama 1 jam pada suhu 105°C, lalu ditimbang. Bobot sampel yang tidak disaring (b) diperoleh dari selisih bobot kertas saring akhir dengan bobot kertas saring awal. Persentase tingkat kelarutan dapat diukur dengan menghitung selisih bobot sampel dibagi dengan bobot sampel mikrokapsul dan dikalikan dengan 100%.

#### 4.5.9 Uji *Scanning Electron Microscopy* (Cerdeira *et al.*, 2005)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penampilan dan morfologi bahan baku utama, bahan baku yang diberi perlakuan, serta mikrokapsul. Pengujian diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dengan menempatkan sampel mikrokapsul pada plat aluminium menggunakan perekat yang dilapisi lapisan tipis emas sebelum dilakukan pengamatan menggunakan instrumen SEM pada tegangan 5 kV dan perbesaran 5.000x.

#### 4.5.10 Uji *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (Liu *et al.*, 2014)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan fitokimia minyak atsiri dan mikrokapsul yang dihasilkan menggunakan alat *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis dilakukan dengan menginjeksikan sampel pada alat dengan kondisi port injeksi hingga 250°C, temperature oven hingga 60°C

dan dinaikan berkala hingga 280°C. Detektor yang digunakan adalah spektrometer massa (MS) dengan energi ionisasi 70 eV rentang massa scan (m/z) 28–600, dengan temperatur detektor 250°C. Spektrum yang diperoleh dicocokkan pada literatur yang mendukung. Identifikasi lebih lanjut dilakukan dengan membandingkan spektrum massa dari komponen sampel yang diuji dengan database yang tersimpan pada computer.

#### 4.5.11 Uji *Particle Size Analyzer* (Fernandes *et al.*, 2014)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel pada sampel mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah. Distribusi ukuran partikel diukur menggunakan instrumen difraksi sinar laser. Sampel disuspensikan dalam isopropil alkohol dengan pengadukan konstan dan disonikasi menggunakan *ultrasound* selama 30 detik. Diameter rata-rata (D [4,3]) dan diameter volume ekuivalen pada volume kumulatif 10% (d10), 50% (d50), dan 90% (d90). Distribusi ukuran partikel dalam serbuk (span) dihitung dengan menggunakan persamaan:  
$$\text{Span} = [(d90 - d10)/d50]$$

#### 4.6 Analisa Data

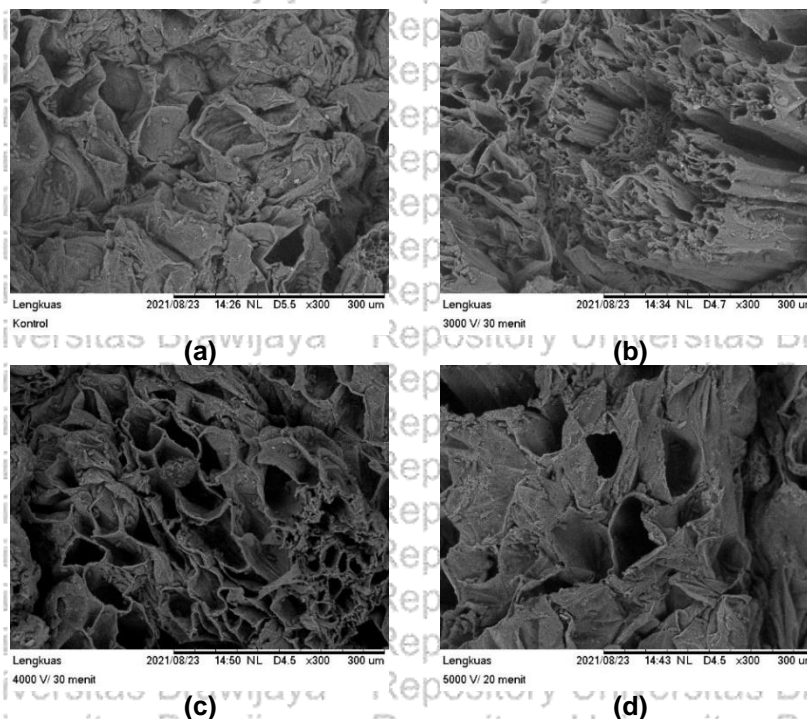
Data yang diperoleh dari hasil penelitian dikumpulkan dan ditabulasikan menggunakan software Microsoft Excel 2010. Data pada penelitian tahap pertama dianalisis menggunakan SPSS 17. Jika terdapat pengaruh nyata dari perlakuan, maka analisis dilanjutkan dengan Uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan selang kepercayaan 5%. Apabila tidak terdapat interaksi antara kedua faktor namun salah satu atau kedua faktor berpengaruh nyata, maka dilakukan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan tingkat kepercayaan 5%. Penentuan perlakuan terbaik dilakukan dengan metode Zeleny. Sedangkan, hasil pada penelitian tahap kedua dan ketiga dianalisis menggunakan metode RSM dengan *software Design Expert versi 8*. Verifikasi data optimasi dilakukan dengan membandingkan nilai respon hasil dari penelitian dengan hasil prediksi dari *software*.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

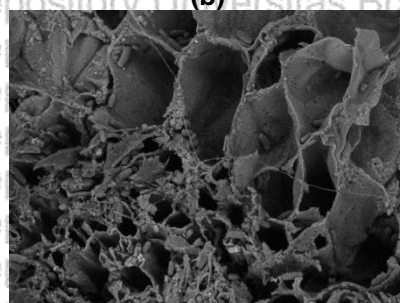
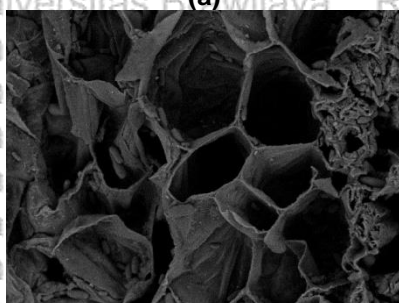
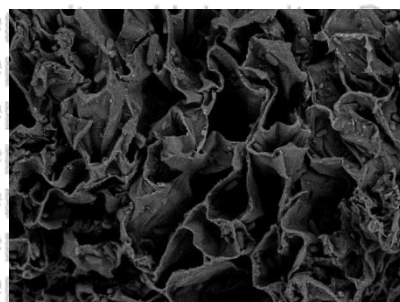
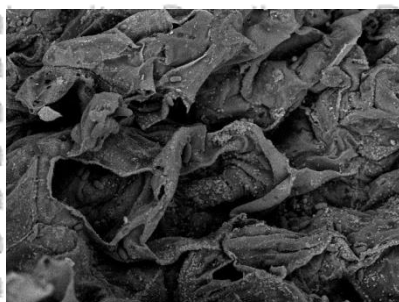
### 5.1 Penelitian Tahap I (Perlakuan PEF dan Proses Distilasi)

#### 5.1.1 Karakteristik Permukaan Rimpang Lengkuas Merah

Penggunaan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) diperlukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik permukaan rimpang lengkuas merah tanpa perlakuan dan dengan perlakuan pendahuluan *Pulsed Electric Field* (PEF). Perbesaran yang digunakan pada pengujian ini adalah perbesaran 300X (**Gambar 5.1**) dan perbesaran 500X (**Gambar 5.2**). Berdasarkan hasil mikrograf SEM didapatkan sampel kontrol memiliki rongga yang padat dan cenderung tertutup. Pada perlakuan tegangan 3000V rongga sel mulai terbuka, dan terbuka maksimal pada perlakuan tegangan 4000V. Rongga sel mulai tertutup sebagian saat dilakukan perlakuan tegangan 5000V, hal ini disebabkan karena sel mulai mengalami kerusakan akibat pemberian tegangan tinggi. Tegangan listrik yang diberikan pada bahan dapat merusak dinding sel karena aliran/medan listrik (Jelin *et al.*, 2015). Adanya rongga yang lebih besar pada bahan yang diberikan perlakuan PEF dapat dikarenakan terjadinya elektroporasi dan sel elektroporasi yang bergabung satu sama lain (Jalte *et al.*, 2009).



**Gambar 5.1.** Mikrostruktur Permukaan Rimpang Lengkuas Merah Kontrol (a); dengan Perlakuan Tegangan 3000V (b); 4000V (c); dan 5000V (d) pada perbesaran 300x



**Gambar 5.2** Mikrostruktur Permukaan Rimpang Lengkuas Merah Kontrol (a); dengan Perlakuan Tegangan 3000V (b); 4000V (c); dan 5000V (d) pada Perbesaran 500x

### 5.1.2 Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

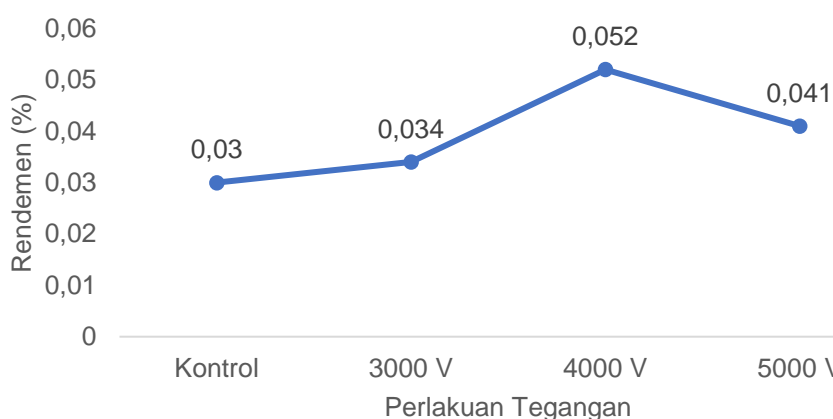
Rendemen minyak atsiri rimpang lengkuas merah diperoleh dari persentase perbandingan bahan baku rimpang lengkuas merah yang digunakan dan jumlah minyak atsiri yang didapatkan pada proses distilasi. Hasil analisis rendemen dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa faktor tegangan tidak berpengaruh nyata ( $\alpha=0,05$ ) terhadap rendemen minyak atsiri. Hal ini dikarenakan faktor tegangan memiliki nilai signifikan kurang dari 0,05, namun nilai F lebih kecil dari F tabel 5%, sehingga tidak dilakukan uji lanjut DMRT. Rata-rata rendemen minyak atsiri dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

**Tabel 5.1** Hasil Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Perlakuan	Rendemen (%)
Tanpa PEF (Kontrol)	0,030
PEF 3000 V	0,034±0,002
PEF 4000 V	0,052±0,01
PEF 5000 V	0,041±0,002

Berdasarkan **Tabel 5.1** menunjukkan bahwa rata-rata rendemen minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 0,034% hingga 0,052%. Rendemen yang

paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 4000V sebesar 0,052%. Rendemen yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 0,034%. Hal ini serupa dengan penelitian Yajun *et al.* (2017), dengan pemberian tiga perlakuan tegangan berbeda didapatkan hasil rendemen tertinggi pada perlakuan tegangan 4000 V. Peristiwa ini disebabkan adanya perbedaan potensial trans membran antara bagian dalam dan luar membran sel yang berubah menjadi lebih besar karena gaya elektrostatis yang mengakibatkan disintegrasi organel dan struktur seluler, dan terjadi pula peningkatan pelepasan zat volatil pada bahan (Dobrova *et al.*, 2010). Pelepasan zat volatil pada bahan yang semakin banyak sangat berpengaruh pada rendemen yang didapatkan. Peningkatan intensitas tegangan yang diberikan pada bahan menyebabkan pengaruh negatif pada hasil distilasi, salah satunya penurunan jumlah rendemen (Lin *et al.*, 2011). Grafik perbandingan rata-rata rendemen pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 5.3**.



**Gambar 5.3** Grafik Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

### 5.1.3 Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Indeks bias minyak atsiri rimpang lengkuas merah diperoleh dari pengukuran menggunakan alat refraktometer. Pengukuran indeks bias dilakukan untuk mengidentifikasi kemurnian minyak (Bakhshabadi *et al.*, 2017). Hasil analisis indeks bias dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa faktor tegangan berpengaruh nyata ( $\alpha=0,05$ ) terhadap indeks bias minyak atsiri. Hal ini dikarenakan faktor tegangan memiliki nilai signifikan kurang dari 0,05 dan nilai F hitung lebih besar dari F tabel 5%. sehingga dilakukan uji lanjut DMRT. Rata-rata indeks bias minyak atsiri dapat dilihat pada **Tabel 5.2**.

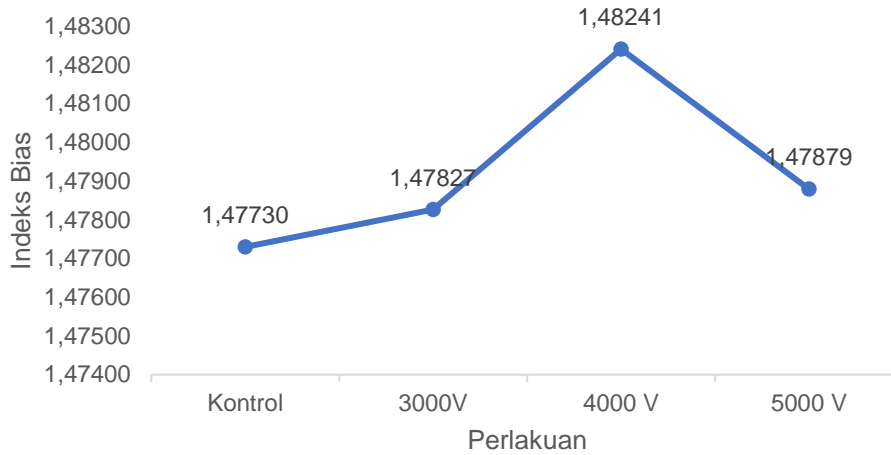


**Tabel 5.2** Hasil Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Perlakuan	Indeks Bias ( $^{\circ}$ brix)	DMRT 5%
Tanpa PEF (Kontrol)	1,47730	
PEF 3000 V	1,47981 $\pm$ 0,0011 <sup>a</sup>	4,74952
PEF 4000 V	1,48241 $\pm$ 0,0005 <sup>b</sup>	4,84620
PEF 5000 V	1,47879 $\pm$ 0,0009 <sup>a</sup>	

Keterangan: Notasi yang berbeda menunjukkan berbeda nyata atau signifikan ( $\alpha=0,05$ )

Berdasarkan **Tabel 5.2** menunjukkan bahwa rata-rata indeks bias minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 1,47527 $^{\circ}$ brix hingga 1,48241 $^{\circ}$ brix. Indeks bias yang paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 4000V sebesar 1,48241 $^{\circ}$ brix. Indeks bias yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 1,47527 $^{\circ}$ brix. Rentang indeks bias pada minyak atsiri lengkuas merah berdasarkan literatur terkait berkisar antara 1,458 - 1,4894 $^{\circ}$ brix (Loi and Nguyen, 2016; Yustica *et al.*, 2019), sehingga nilai indeks bias minyak atsiri rimpang lengkuas merah yang dihasilkan pada penelitian ini sesuai dengan literatur. Nilai indeks bias sangat berhubungan dengan komponen yang terdapat pada minyak atsiri. Semakin banyak komponen rantai panjang seperti seskuiterpen atau gugus fungsi yang mengandung oksigen maka cahaya yang datang akan semakin susah untuk dibiaskan (Mahlinda dan Muhammad, 2019). Tingginya nilai indeks bias minyak atsiri lengkuas merah juga dapat disebabkan oleh komponen kimia yaitu terpen teroksidasi pada sampel, yang merupakan molekul rantai panjang dengan ikatan tidak jenuh atau mengandung banyak gugus oksigen (Rahman *et al.*, 2019). Menurut Rialita *et al.* (2015), senyawa yang terkandung di dalam minyak atsiri lengkuas merah mempengaruhi nilai indeks bias, semakin besar berat molekul maka nilai indeks bias akan semakin besar. Pemberian perlakuan pendahuluan PEF dengan tegangan yang semakin tinggi dapat menyebabkan pori-pori membran sel terbuka sehingga minyak tersuling lebih maksimal dan menghasilkan indeks bias yang semakin tinggi (Sukardi *et al.*, 2016). Namun, pada penelitian ini dengan pemberian tegangan tertinggi (5000V) menghasilkan indeks bias yang menurun dari perlakuan sebelumnya. Menurut Paoplook dan Mohamad (2013), penurunan indeks bias dapat disebabkan karena meningkatnya kekuatan medan listrik yang diterapkan pada bahan. Grafik perbandingan rata-rata indeks bias pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 5.4**.



**Gambar 5.4** Grafik Indeks Bias Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

#### 5.1.4 Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Densitas minyak atsiri merupakan salah satu tolak ukur yang dapat dijadikan ukuran kualitas (Florida *et al.*, 2013). Hasil analisis indeks bias dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tegangan berpengaruh nyata ( $\alpha=0,05$ ) terhadap densitas minyak atsiri. Hal ini dikarenakan tegangan memiliki nilai signifikan kurang dari 0,05 dan nilai F hitung lebih besar daripada F tabel 5%, sehingga dilakukan uji lanjut DMRT. Rata-rata densitas minyak atsiri dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

**Tabel 5.3** Hasil Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Perlakuan	Densitas	DMRT 5%
Tanpa PEF (Kontrol)	0,8720	
PEF 3000 V	0,88119 $\pm$ 0,0021 <sup>a</sup>	0,00323
PEF 4000 V	0,88793 $\pm$ 0,0016 <sup>b</sup>	0,00329
PEF 5000 V	0,88531 $\pm$ 0,0029 <sup>ab</sup>	

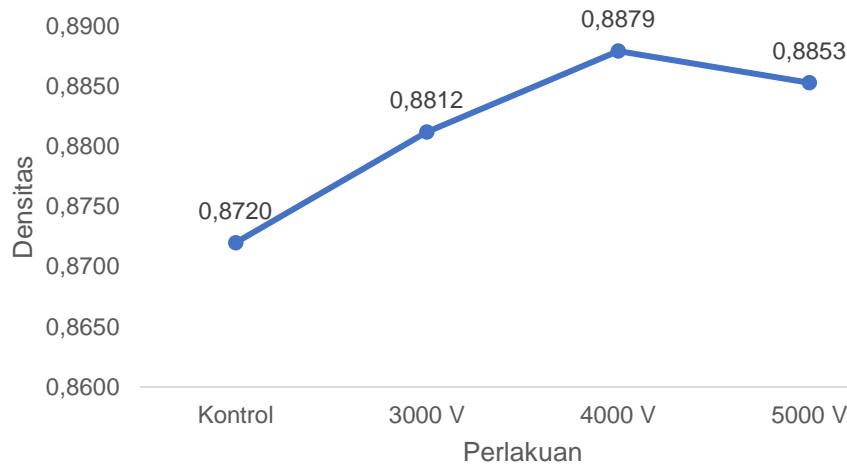
Keterangan: Notasi yang berbeda menunjukkan berbeda nyata atau signifikan ( $\alpha=0,05$ )

Berdasarkan **Tabel 5.3** menunjukkan bahwa rata-rata densitas minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 0,88119 hingga 0,88793. Densitas yang paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 4000V sebesar 0,88793. Densitas yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 0,88119. Rentang densitas pada minyak atsiri lengkuas merah berdasarkan literatur terkait berkisar antara 0,812 - 0,90836 (Loi and Nguyen, 2016; Yustica *et al.*, 2019), sehingga nilai densitas minyak atsiri rimpang lengkuas merah yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan literatur.



Densitas berhubungan dengan fraksi berat senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri. Semakin besar fraksi berat yang terkandung dalam minyak, maka semakin besar pula nilai densitasnya (Fitri *et al.*, 2017). Selain itu, densitas juga sering dikaitkan dengan proses oksidasi ataupun reaksi polimerisasi yang terjadi pada minyak atsiri. Semakin tinggi nilai densitas kemungkinan disebabkan oleh proses oksidasi atau reaksi polimerisasi, dimana molekul baru terbentuk dan menghasilkan nilai densitas yang lebih tinggi (Augustyn *et al.*, 2021). Menurut Ospina *et al.* (2016), besarnya densitas minyak atsiri berhubungan dengan komposisi atau senyawa yang terdapat pada minyak itu sendiri. Senyawa yang terkandung di dalam minyak atsiri lengkuas merah mempengaruhi nilai densitas, semakin besar berat molekul maka semakin besar pula densitasnya (Rialita *et al.*, 2015).

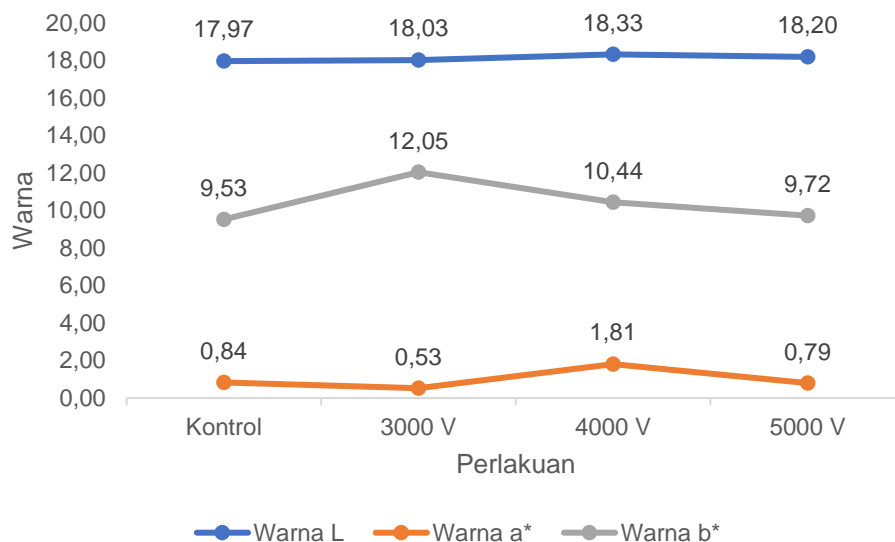
Perlakuan pendahuluan PEF dapat menyebabkan pori-pori membran sel terbuka, sehingga pelarut dapat dengan mudah menjangkau senyawa kompleks yang ada pada bagian tumbuhan yang semula tertutup/tersembunyi (Sukardi *et al.*, 2016). Menurut Gotama *et al.* (2017), semakin tinggi tegangan yang digunakan pada perlakuan pendahuluan dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori membran sel semakin *irreversible*. Hal ini berakibat pada jumlah senyawa yang diperoleh pada proses distilasi akan semakin banyak dan meningkatkan nilai densitas minyak. Namun, pada penelitian ini menunjukkan penurunan densitas pada perlakuan pendahuluan tegangan 5000V yang dapat disebabkan karena membran sel telah mengalami kerusakan sehingga senyawa volatile hilang dan menghasilkan minyak lebih sedikit. Peristiwa ini dapat disebabkan karena penggunaan tegangan yang terlalu tinggi dengan waktu yang cukup lama memungkinkan terjadinya degradasi pada beberapa senyawa (Argo dan Febriyanti, 2020). Tzima *et al.* (2021) juga menjelaskan bahwa PEF dapat mengakibatkan penurunan konsentrasi beberapa senyawa dan terjadi pembentukan turunannya. Grafik perbandingan rata-rata densitas pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 5.5**.



**Gambar 5.5** Grafik Densitas Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

### 5.1.5 Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Pengujian warna minyak atsiri dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari berbagai perlakuan. Variabel monokromatik  $L^*$ ,  $a^*$  dan  $b^*$  diukur untuk menentukan koordinat ruang warna:  $L^*$  sebagai ukuran kecerahan,  $a^*$  sebagai ukuran kehijauan/kemerahan, dan  $b^*$  untuk kebiruan/kuning. *Color reader* yang digunakan dikalibrasi terhadap pelat putih standar sebelum pengukuran warna (Boudhrioua *et al.*, 2009). Grafik perbandingan rata-rata warna pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 5.6**.



**Gambar 5.6** Grafik Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah



Hasil analisis warna dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Hasil ANOVA pada warna L dan a\* minyak atsiri menunjukkan bahwa tegangan berpengaruh nyata ( $\alpha=0,05$ ). Hal ini dikarenakan tegangan memiliki nilai signifikan kurang dari 0,05 dan nilai F hitung lebih besar daripada F tabel 5%, sehingga dilakukan uji lanjut DMRT. Warna b\* minyak atsiri menunjukkan bahwa tegangan tidak berpengaruh nyata ( $\alpha=0,05$ ). Hal ini dikarenakan tegangan memiliki nilai signifikan lebih besar dari 0,05 dan nilai F hitung lebih kecil daripada F tabel 5%, sehingga tidak dilakukan uji lanjut DMRT. Rata-rata nilai warna L, a\*, dan b\* minyak atsiri dapat dilihat pada **Tabel 5.4**.

**Tabel 5.4** Hasil Warna Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Perlakuan	Warna (L) Kecerahan	DMRT 5%	Warna (a*) Kemerahan	DMRT 5%	Warna (b*) Kekuningan
Tanpa PEF (Kontrol)	17,97		0,84		9,53
PEF 3000 V	18,03±0,11 <sup>b</sup>	0,07410	0,53±0,20 <sup>b</sup>	0,27006	12,05±1,74
PEF 4000 V	18,33±0,08 <sup>a</sup>	0,07561	1,81±0,05 <sup>a</sup>	0,27556	10,44±0,24
PEF 5000 V	18,20±0,04 <sup>b</sup>		0,79±0,19 <sup>a</sup>		9,72±0,10

Keterangan: Notasi yang berbeda menunjukkan berbeda nyata atau signifikan ( $\alpha=0,05$ )

Berdasarkan **Tabel 5.4** menunjukkan bahwa rata-rata warna L minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 18,03 hingga 18,33. Warna L yang paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 4000V sebesar 18,33. Warna L yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 18,03. Tingkat kecerahan pada minyak atsiri secara umum meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan PEF yang diberikan dan mencapai optimum pada titik tertentu (Choviya *et al.*, 2011). Berdasarkan hasil pengujian warna dapat diketahui bahwa pada penelitian ini tingkat kecerahan menurun ketika diberikan perlakuan tegangan 5000V yang dapat disimpulkan titik optimum berada pada tegangan 4000V. Kecerahan warna pada minyak dipengaruhi oleh senyawa yang terkandung di dalamnya. Senyawa terpenoid merupakan senyawa yang sebagian besar terdapat pada minyak atsiri, senyawa ini tidak berwarna pada keadaan semula dan dapat berubah menjadi agak gelap saat teroksidasi (Rialita *et al.*, 2015). Senyawa terpenoid meliputi senyawa monoterpena dan seskuiterpen, sehingga tingkat kecerahan pada minyak atsiri lengkuas merah diduga karena memiliki kandungan senyawa monoterpena dan seskuiterpen yang tinggi.

Rata-rata warna a\* minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 0,53 hingga 1,81. Warna a\* yang paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan

4000V sebesar 1,81. Warna a\* yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 0,53. Menurut Rahardiyani *et al.* (2020), warna kemerahan dapat disebabkan karena adanya senyawa terpenoid. Hasil pengujian senyawa kimia dengan GC-MS (**Tabel 5.5**) menghasilkan akumulasi komponen utama (senyawa terpenoid) tertinggi sebesar 71,1% didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V, dengan nilai warna a\* terendah.

Rata-rata nilai warna b\* minyak atsiri lengkuas merah berkisar antara 9,72 hingga 12,05. Warna b\* yang paling tinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 3000V sebesar 12,05. Warna b\* yang paling rendah didapatkan pada perlakuan tegangan 5000V sebesar 9,72. Berdasarkan hasil di atas diketahui bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan pada perlakuan pendahuluan akan menyebabkan warna kekuningan (b\*) semakin menurun. Warna kekuningan pada penelitian ini cenderung tidak ada perubahan yang signifikan pada perlakuan tegangan PEF yang berbeda, sehingga diduga perlakuan tetap mempertahankan karakteristik minyak atsiri (Sukardi *et al.*, 2018). Menurut Rahardiyani *et al.* (2020), warna kekuningan yang semakin tinggi disebabkan karena kandungan flavonoid.

### 5.1.6 Komponen Kimia Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Pengujian komponen kimia pada minyak atsiri rimpang lengkuas merah dilakukan menggunakan *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS). Pengujian dilakukan pada sampel minyak atsiri kontrol dan sampel minyak atsiri dengan perlakuan pendahuluan PEF 3000V (V1), 4000V (V2), dan 5000V (V3). Berdasarkan pengujian didapatkan 32 komponen/senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri kontrol yang dapat dilihat pada **Lampiran 6**. Terdapat 39 komponen pada perlakuan V1 (**Lampiran 7**), 43 komponen pada perlakuan V2 (**Lampiran 8**), dan 43 komponen pada perlakuan V3 (**Lampiran 9**). Perbandingan persentase sembilan komponen utama pada masing-masing perlakuan dengan perlakuan kontrol dapat dilihat pada **Tabel 5.5**.

**Tabel 5.5** Perbandingan Komponen Utama Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah Dengan dan Tanpa Perlakuan Pendahuluan PEF

No.	Nama Komponen	Berat Molekul	Densitas	Area%			
				Kontrol	V1	V2	V3
1	Eucalyptol	154.249	0.9225	27,35	29,03	8,99	12,21
2	α-Terpineol	154.253	0.93	2,70	14,18	3,74	3,97
3	Terpinen-4-ol	154.253	0.9	4,31	11,12	3,19	3,59
4	Chavicol	134.18	1.020	6,40	8,88	9,04	9,84



5	$\beta$ -Pinene	136.238	0.872	<b>8,70</b>	<b>7,89</b>	2,06	3,43
6	$\beta$ -Famesene	204.36	0.813	<b>11,64</b>		<b>8,67</b>	<b>6,71</b>
7	$\alpha$ -Cadinol	222.37	0.9	-	-	<b>7,85</b>	<b>6,68</b>
8	Caryophyllene	204.357	0.9052	3,20	-	5,77	<b>6,01</b>
9	$\beta$ -Copaene	204.357	0.939	-	-	<b>6,52</b>	4,45
<b>Total Area (%)</b>				<b>64,3</b>	<b>71,1</b>	<b>55,83</b>	<b>56,89</b>

Keterangan: V1 = Tegangan 3000V, V2 = Tegangan 4000V, V3 = Tegangan 5000V

Komponen utama dalam minyak atsiri yaitu monoterpen yang berperan sebagai pemberi rasa dan bau dimana monoterpenoid, sesquiterpenoid, diterpenoid, triterpenoid, tetraterpenoid dan politerpenoid merupakan bagian dari senyawa terpenoid (salah satu metabolit sekunder). Karakteristik dari senyawa monoterpen dan sesquiterpen adalah bersifat mudah menguap, senyawa diterpen bersifat kurang menguap, dan triterpen bersifat tidak menguap (Zulak dan Bohlamnn, 2010). Menurut Silalahi (2018), senyawa yang sebagian besar menjadi penyusun minyak atsiri adalah senyawa monoterpen dan sesquiterpen. Pada hasil pengujian diperoleh beberapa senyawa utama penyusun minyak atsiri rimpang lengkuas merah yaitu senyawa yang memiliki komposisi paling besar di dalam minyak atsiri. Berdasarkan **Tabel 5.5** terdapat lima komponen senyawa utama yang terkandung dalam minyak atsiri lengkuas merah tanpa perlakuan pendahuluan PEF yakni eucalyptol sebesar 27,35%,  $\beta$ -famesene sebesar 11,64%,  $\beta$ -pinene sebesar 8,70%, chavicol sebesar 6,40%, dan terpinen-4-ol sebesar 4,31%. Pada perlakuan pendahuluan tegangan 3000v terdapat senyawa utama meliputi eucalyptol sebesar 29,03%,  $\alpha$ -terpineol sebesar 14,18%, terpinen-4-ol sebesar 11,12%, chavicol sebesar 8,88%, dan  $\beta$ -pinene sebesar 7,89%. Pada perlakuan pendahuluan tegangan 4000V terdapat senyawa utama meliputi chavicol sebesar 9,04%, eucalyptol sebesar 8,99%,  $\beta$ -famesene sebesar 8,67%,  $\alpha$ -cadinol sebesar 7,85%, dan  $\beta$ -copaene sebesar 6,52%. pada perlakuan pendahuluan tegangan 5000v terdapat senyawa utama meliputi eucalyptol sebesar 12,21%, chavicol sebesar 9,84%,  $\beta$ -famesene sebesar 6,71%,  $\alpha$ -cadinol sebesar 6,68%, dan caryophyllene sebesar 6,01%.

Senyawa utama yang terkandung dalam masing-masing perlakuan memiliki perbedaan. Senyawa eucaplytol, chavicol,  $\alpha$ -terpineol, terpinen-4-ol, dan  $\beta$ -pinene merupakan senyawa monoterpen. Senyawa lainnya, yakni senyawa  $\beta$ -famesene,  $\alpha$ -cadinol, caryophyllene,  $\beta$ -copaene termasuk kedalam senyawa sesquiterpen. Penerapan PEF yaitu penerapan metode elektroporasi, tegangan listrik diberikan kepada sel sehingga terjadi kerusakan pada dinding sel namun

komponen bioktif seperti senyawa metabolit sekunder tidak akan mengalami kerusakan (Rahmah *et al.*, 2019). Kerusakan dinding sel tersebut menyebabkan kandungan di dalamnya dapat dengan mudah untuk keluar dari dalam jaringan ketika proses destilasi termasuk senyawa kimianya. Perbedaan persentase senyawa kimia utama pada masing-masing perlakuan pendahuluan dapat disebabkan karena adanya reaksi isomerisasi (Sukardi *et al.*, 2016). Reaksi isomerisasi adalah reaksi berubahnya suatu senyawa kimia menjadi komposisi kimia yang sama namun strukturnya berbeda, sehingga sifat fisik dan kimianya umumnya berbeda (Chhabra *et al.*, 2013). Pada proses penyulingan dengan metode distilasi uap-air memungkinkan adanya reaksi isomerisasi yang tidak diharapkan, sehingga terdapat senyawa baru yang bermunculan (Rettberg *et al.*, 2012).

Karakteristik minyak atsiri yang berbeda dapat disebabkan karena perbedaan komposisi kimianya (Ma'mun, 2006). Selain itu, perbedaan titik didih dari berbagai senyawa juga mempengaruhi banyaknya komponen yang dihasilkan dalam proses distilasi. Senyawa dengan titik didih terendah akan menguap terlebih dahulu (Rifai *et al.*, 2019). Supardan *et al.* (2013), juga menjelaskan bahwa fraksi yang kurang volatil akan tetap berada pada bahan di akhir proses distilasi, sehingga senyawa yang lebih mudah menguap memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan senyawa yang kurang mudah menguap. Perbedaan titik didih dan fungsi dari komponen senyawa utama yang terkandung pada masing-masing minyak atsiri rimpang lengkuas merah dapat dilihat pada **Tabel 5.6**.

**Tabel 5.6** Fungsi Senyawa Kimia Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

No	Nama Senyawa	Golongan	Rumus Kimia	Titik Didih	Fungsi
1.	Eucaplytol	Monoterpen	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	176-177°C	Mengobati peradangan saluran napas, antiinflamasi, antimikroba, antikanker, analgesik, obat penenang, hipertensi dan antioksidan (Sudradjat, 2020)
2.	Chavicol	Monoterpen	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	238°C	Penghambat tironase (Row dan Ho, 2009), antibakteri dan antioksidan (Lely <i>et al.</i> , 2017).
3.	α-Terpineol	Monoterpen	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	214-217°C	Antioksidan, antikanker, antikonvulsan, antiulcer, antihipertensi, antinosiseptif, digunakan untuk meningkatkan penetrasi kulit





4.	Terpinen-4-ol	Monoterpen	$C_{10}H_{18}O$	209°C	dan memiliki sifat insektisida (Khaleel <i>et al.</i> , 2018). Antibakteri (Cordeiro <i>et al.</i> , 2020), antitumor, antikanker (Shapira <i>et al.</i> , 2016), antifungal (Mondello <i>et al.</i> , 2006).
5.	$\beta$ -pinene	Monoterpen	$C_{10}H_{16}O$	165-167°C	Antikoagulan, antitumor, antimikroba, antimalaria, antioksidan, antiinflamasi dan analgesic (Salehi <i>et al.</i> , 2019)
6.	$\beta$ -Famesene	Seskuiterpen	$C_{15}H_{24}$	124°C	Antioksidan (Palmer-Young <i>et al.</i> , 2015)
7.	$\alpha$ -Cadinol	Seskuiterpen	$C_{15}H_{26}O$	73-74°C	Antifungal (Su <i>et al.</i> , 2013)
8.	Caryophyllene	Seskuiterpen	$C_{15}H_{24}$	262-264°C	Antiinflammatory, antioksidan, sedative, antidepressif, antitumor (Francomano <i>et al.</i> , 2019).
9.	$\beta$ -Copaene	Seskuiterpen	$C_{15}H_{24}$	124°C	Antioksidan dan antigenotoxic (Turkez <i>et al.</i> , 2014)

### 5.1.7 Penentuan Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik didapatkan berdasarkan hasil uji karakteristik minyak atsiri lengkuas merah yang dihasilkan dari proses distilasi, meliputi rendemen, indeks bias, densitas, dan warna ( $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Setiap parameter memiliki nilai, dimana nilai yang sesuai harapan yaitu nilai yang sesuai dengan nilai maksimal atau minimal dari setiap parameter. Perlakuan terbaik dipilih berdasarkan tingkat kerapatannya, dimana perlakuan yang memiliki tingkat kerapatan paling kecil dinyatakan sebagai perlakuan terbaik. Hasil perhitungan alternatif rerata terbaik dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Perlakuan terbaik didapatkan dari total terendah. Nilai total adalah penjumlahan dari nilai  $L1$ ,  $L2$ , dan  $L\infty$ . Hasil penentuan perlakuan terbaik dapat dilihat pada **Tabel 5.7**. Jika diurutkan berdasarkan peringkat perlakuan terbaik dihasilkan pada pemberian tegangan 4000V, 3000V, dan 5000V.

**Tabel 5.7** Penentuan Perlakuan Terbaik

Perlakuan	Parameter			Total	Ranking
	L1	L2	$L\infty$		
3000V	0,179	0,00	0,118	0,297	3
4000V	0,020	0,000	0,022	0,043	1
5000V	0,162	0,000	0,094	0,256	2

Perlakuan terbaik didapatkan pada minyak atsiri lengkuas merah yang diberi perlakuan tegangan 4000V yang dapat dilihat pada **Tabel 5.9**. Berdasarkan data pada tabel dapat diketahui bahwa rendemen minyak atsiri lengkuas merah

terbaik yaitu sebesar 0,052%. Indeks bias terbaik sebesar 1,48241 dengan densitas sebesar 0,88793. Warna L, a\*, b\* terbaik berturut-turut sebesar 18,33; 1,81; 10,44. Menurut Slamet *et al.* (2019), kandungan senyawa pada minyak atsiri dapat mempengaruhi berat jenis maupun indeks bias minyak atsiri. Semakin banyaknya karbon berantai panjang yang terkandung di dalamnya maka semakin tinggi pula indeks bias dan berat jenisnya. Panjangnya rantai molekul senyawa tersebut mempengaruhi fraksi berat minyak atsiri dimana senyawa seskuiterpen termasuk fraksi berat dibandingkan dengan monoterpen.

**Tabel 5.8** Data Hasil Perlakuan Terbaik Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Parameter	Perlakuan Terbaik PEF (4000V)	Literatur
Rendemen	0,052	0,040 <sup>1</sup> - 0,1062 <sup>2</sup>
Indeks Bias	1,48241	1,458 <sup>3</sup> - 1,4894 <sup>4</sup>
Densitas	0,88793	0,812 <sup>3</sup> - 0,90836 <sup>4</sup>
Warna L	18,33	Jernih, bening <sup>4</sup>
Warna a*	1,81	-
Warna b*	10,44	-

Sumber: <sup>1</sup>Kanjilal and Rumi (2010), <sup>2</sup>Sujono *et al.* (2019), <sup>3</sup>Loi and Nguyen (2016), <sup>4</sup>Yusticia *et al.* (2019)

## 5.2. Penelitian Tahap II (Optimasi Mikroenkapsulasi)

### 5.2.1 Hasil Analisa *Central Composite Design*

Optimasi mikroenkapsulasi dilakukan dengan mencari respon terbaik dari faktor berupa perbandingan rasio maltodekstrin dan gum arab. Respon yang digunakan pada penelitian ini adalah rendemen, kadar air, *total phenolic content*, aktivitas antioksidan, dan total kelarutan. Data hasil respon pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5.10**. Data selanjutnya diolah dengan analisa statistika yang bertujuan untuk mengoptimalkan faktor rasio bahan penyalut agar dapat menghasilkan nilai total fenol tertinggi dan nilai IC<sub>50</sub> terendah. Data respon menunjukkan bahwa persentase rendemen mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah berada pada range 41,364 – 48,375%. Kadar air mikroenkapsulasi memiliki range 1,33 – 8,49%. Total fenol berada pada range 2,2680 – 30,6186 mg GAE/gr dan nilai IC<sub>50</sub> memiliki range 122,888 – 186,034 ppm. Tingkat kelarutan pada air hasil mikroenkapsulasi mencapai 82,1 – 96,7%.

**Tabel 5.9** Data Hasil Respon dengan *Central Composite Design*

No.	Faktor		Faktor		Respon				
	X1	X2	Rasio MD	Rasio GA	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	TPC (mg GAE/gr)	DPPH (ppm)	Keluruhan (%)
1	-1	-1	3.75	3.75	42.960	3.96	17.2165	167.03	84.5
2	+1	-1	11.25	3.75	43.575	2.27	19.7938	166.12	83
3	-1	+1	3.75	11.25	42.675	3.26	25.9794	136.70	86.2
4	+1	+1	11.25	11.25	42.764	2.18	11.5464	172.84	90.4
5	-1,414	0	2.20	7.50	42.551	4.6	30.6186	122.89	82.1
6	+1,414	0	12.80	7.50	43.281	1.83	2.26804	186.03	89.2
7	0	-1,414	7.50	2.20	43.673	1.33	2.78351	184.63	96.7
8	0	+1,414	7.50	12.80	41.363	1.66	5.87629	175.44	91.9
9	0	0	7.50	7.50	48.275	8.49	20.3093	152.59	93.5
10	0	0	7.50	7.50	47.925	7.76	21.8557	149.34	93.4
11	0	0	7.50	7.50	48.375	6.05	22.3711	145.19	94.2
12	0	0	7.50	7.50	48.075	7.52	21.3402	150.90	93.9
13	0	0	7.50	7.50	48.300	6.96	21.8557	148.99	94

### 5.2.2 Analisa Respon Rendemen Mikroenkapsulasi

Rendemen mikroenkapsulasi diperoleh dari perbandingan hasil serbuk mikroenkapsulasi yang didapatkan dengan emulsi yang dihasilkan sebelum perlakuan pengeringan dengan *freeze dry*. Perhitungan rendemen mikroenkapsulasi dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa respon rendemen tertinggi sebesar 48,375% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 7,5gr dan rasio gum arab 7,5gr. Rendemen terendah sebesar 41,364% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 7,5gr dan rasio gum arab 12,8gr. Dari data penelitian tersebut menunjukkan bahwa banyaknya rendemen bergantung pada jumlah emulsi yang dihasilkan, sehingga bergantung pada banyaknya bahan penyalut yang digunakan. Penelitian Wilkowska *et al.* (2016) juga menjelaskan bahwa banyaknya rendemen pada proses mikroenkapsulasi bergantung pada metode yang digunakan, metode *freeze dry* memiliki hasil rendemen paling tinggi.

Pemilihan model terhadap respon total fenol ditentukan berdasarkan kriteria *Sequential Model Sum of Squares*, *Lack of Fit*, *Adjusted R<sup>2</sup>*, dan *Predicted R<sup>2</sup>* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.10**. Kriteria optimasi rendemen dapat diketahui

bahwa model yang disarankan untuk penentuan titik optimal adalah model *quadratic*. Hal ini dapat dilihat pada nilai *Sequential Model Sum of Squares* memiliki *p-value* paling rendah yakni  $<0,0001$  yang menunjukkan peluang kesalahan model paling kecil. Perhitungan nilai *Lack of Fit* pada model *quadratic* memiliki *p-value* sebesar 0,0419 atau kurang dari 0,05 yang berarti kedua faktor memiliki pengaruh nyata terhadap respon. Pemilihan model berdasarkan nilai *adjusted R-squared* dan *predicted R-squared* didasarkan pada nilai yang terbesar. Berdasarkan keseluruhan kriteria, model *quadratic* dapat menjelaskan hubungan antara faktor rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2) terhadap respon rendemen.

**Tabel 5.10** Kriteria Optimasi Respon Rendemen

	<b>Sequential</b>	<b>Lack of Fit</b>	<b>Adjusted</b>	<b>Predicted</b>	
<b>Parameter</b>	<b>p-value</b>	<b>p-value</b>	<b>R-Squared</b>	<b>R-Squared</b>	
Linear	0.8581	$< 0.0001$	-0.1638	-0.5301	
2FI	0.9350	$< 0.0001$	-0.2921	-1.0809	
<u>Quadratic</u>	<u><math>&lt; 0.0001</math></u>	<u>0.0419</u>	<u>0.9833</u>	<u>0.9390</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0.0601	0.1024	0.9924	0.8909	Aliased

Hasil analisa ragam (ANOVA) yang ditampilkan pada **Tabel 5.11**, menunjukkan nilai *p-value* untuk model terpilih yakni *quadratic* memiliki pengaruh nyata dan signifikan terhadap respon rendemen, sehingga model ini dapat dikatakan sudah tepat.

**Tabel 5.11** ANOVA Respon Rendemen

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>p-value (Prob &gt; F)</b>	
Model	90.55	5	18.11	142.15	$< 0.0001$	significant
A-Rasio Maltodekstrin	0.38	1	0.38	2.96	0.1293	
B-Rasio Gum Arab	2.38	1	2.38	18.68	0.0035	
AB	0.069	1	0.069	0.54	0.4849	
A <sup>2</sup>	45.88	1	45.88	360.10	$< 0.0001$	
B <sup>2</sup>	53.25	1	53.25	417.96	$< 0.0001$	
Residual	0.89	7	0.13			
Lack of Fit	0.75	3	0.25	7.35	0.0419	significant
Pure Error	0.14	4	0.034			
Cor Total	91.44	12				

Persamaan polynomial pada model *quadratic* pada respon rendemen (Y1) yang dipengaruhi oleh faktor rasio maltodekstrin (A) dan rasio gum arab (B) adalah sebagai berikut:



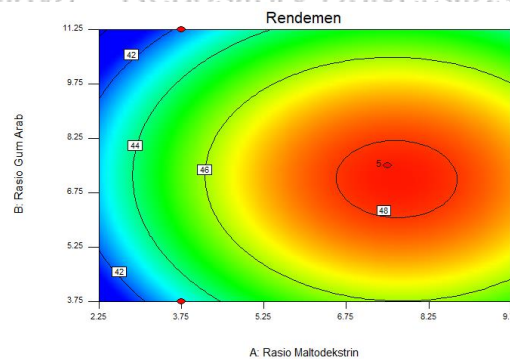
$$Y1 = 48,19 + 0,22A - 0,55B - 0,13AB - 2,57A^2 - 2,77B^2$$

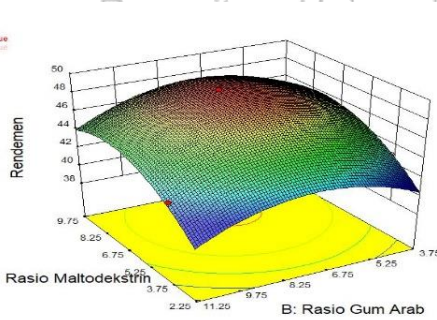
Nilai 48,19 diartikan bahwa dengan adanya pengaruh faktor terhadap respon rendemen yang dihasilkan adalah sebesar 48,19 satuan. Nilai 0,22A dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio maltodekstrin dapat menaikkan rendemen sebesar 0,22 satuan. Nilai -0,55B dapat diartikan bahwa setiap 1 unit rasio gum arab dapat menurunkan rendemen sebesar 0,55 satuan.

Persamaan model polynomial dan grafik *contour plot* tiga dimensi digunakan untuk menentukan titik optimal nilai respon rendemen dengan variabel rasio maltodekstrin dan rasio gum arab. Pada **Gambar 5.7** dapat dilihat bahwa rendemen terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan rendemen semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan semakin tinggi nilai rendemen, dan warna biru menunjukkan semakin rendah nilai rendemen. Berdasarkan kurva tiga dimensi dapat diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Grafik menunjukkan model *quadratic* yang menunjukkan terdapat puncak sebagai kondisi optimal dan terdapat penurunan berdasarkan kedua faktor yang digunakan. Berdasarkan penelitian Cid-Ortega dan Jose (2020), perpaduan bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab berpengaruh pada banyaknya rendemen yang dihasilkan pada proses mikroenkapsulasi. Selain itu, Srihari *et al.* (2010) menyebutkan bahwa semakin besar viskositas akan menyebabkan rendemen semakin turun, hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya kandungan padatan terlarut. Bahan penyalut gum arab dapat menyebabkan peningkatan viskositas pada emulsi yang dapat mengakibatkan pengeringan pada proses mikroenkapsulasi tidak berjalan sempurna (Khasanah *et al.*, 2015). Sehingga, pada penelitian ini rendemen terkecil adalah perlakuan dengan rasio gum arab terbanyak.

Design-Expert® Software  
Factor Coding: Actual  
Rendemen  
● Design Points  
48,375  
41,3836

X1 = A: Rasio Maltodekstrin  
X2 = B: Rasio Gum Arab





**Gambar 5.7** Kurva *Response Surface* Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Rendemen Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

### 5.2.3 Analisa Respon Kadar Air Mikroenkapsulasi

Kadar air merupakan salah satu faktor yang berhubungan dengan kualitas produk mikroenkapsulasi yang termasuk hasil dari proses pengeringan (Ferrari *et al.*, 2011). Karrar *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa persentase kadar air sangat penting untuk mengidentifikasi kualitas bubuk dan stabilitas penyimpanan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kadar air untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang ada pada serbuk mikroenkapsulasi minyak rimpang lengkuas merah dengan metode *freeze dry*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa respon kadar air tertinggi sebesar 8,49% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 7,5gr dan rasio gum arab 7,5gr. Kadar air terendah sebesar 1,33% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 7,5gr dan rasio gum arab 2,2gr. Dari data penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar air yang dihasilkan dari proses mikroenkapsulasi tidak dipengaruhi secara signifikan oleh rasio bahan penyalut. Menurut penelitian Du *et al.* (2014), struktur kimia yang berbeda dari bahan penyalut mengakibatkan beragamnya kadar air setiap kombinasi. Bahan penyalut gum arab merupakan heteropolisakarida kompleks dengan struktur yang sangat bercabang dan memiliki rantai pendek dan lebih banyak gugus hidrofilik (Silva *et al.*, 2013). Konsentrasi maltodekstrin yang lebih tinggi menyebabkan rendahnya kadar air pada mikrokapsul (Kha *et al.*, 2010). Sehingga, semakin besar rasio gum arab yang digunakan sebagai bahan penyalut dapat menyebabkan kadar air semakin tinggi. Pada penelitian ini memiliki hasil yang kurang sesuai dikarenakan terdapat *human error* dan kerusakan pada alat *freeze dry* yang menyebabkan perlakuan pengeringan pada semua emulsi terbagi menjadi dua *batch*.



Pemilihan model terhadap respon kadar air ditentukan berdasarkan kriteria *Sequential Model Sum of Squares*, *Lack of Fit*, *Adjusted R<sup>2</sup>*, dan *Predicted R<sup>2</sup>* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.12**, kriteria optimasi kadar air dapat diketahui bahwa model yang disarankan untuk penentuan titik optimal adalah model *quadratic*. Hal ini dapat dilihat pada nilai *Sequential Model Sum of Squares* memiliki p-value paling rendah sebesar  $<0,0001$  yang menunjukkan peluang kesalahan model paling kecil. Perhitungan nilai *Lack of Fit* pada model *quadratic* memiliki p-value sebesar 0,7629 atau lebih dari 0,05 yang berarti kedua faktor memiliki tidak berpengaruh nyata terhadap respon kadar air. Pemilihan model berdasarkan nilai *adjusted R-squared* dan *predicted R-squared* didasarkan pada nilai yang terbesar. Berdasarkan keseluruhan kriteria, model *quadratic* dapat menjelaskan hubungan antara faktor rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2) terhadap respon kadar air.

**Tabel 5.12** Kriteria Optimasi Respon Kadar Air

	Sequential	Lack of Fit	Adjusted	Predicted	
Parameter	p-value	p-value	R-Squared	R-Squared	
Linear	0.7005	0.0109	-0.1175	-0.4785	
2FI	0.9186	0.0081	-0.2402	-0.8737	
Quadratic	$< 0.0001$	0.7629	0.9089	0.8493	Suggested
Cubic	0.8041	0.4330	0.8831	0.4393	Aliased

Hasil ANOVA yang ditampilkan pada **Tabel 5.13**, menunjukkan nilai p-value untuk model terpilih yakni *quadratic* memiliki pengaruh nyata dan signifikan terhadap respon kadar air, sehingga model ini dapat dikatakan sudah tepat.

**Tabel 5.13** ANOVA Respon Kadar Air

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	77.20	5	15.44	24.94	0.0003	Significant
A-Rasio Maltodekstrin	5.59	1	5.59	9.03	0.0198	
B-Rasio Gum Arab	0.013	1	0.013	0.021	0.8886	
AB	0.093	1	0.093	0.15	0.7098	
A <sup>2</sup>	25.91	1	25.91	41.85	0.0003	
B <sup>2</sup>	54.15	1	54.15	87.47	$< 0.0001$	
Residual	4.33	7	0.62			
Lack of Fit	0.99	3	0.33	0.40	0.7629	not significant
Pure Error	3.34	4	0.83			
Cor Total	81.53	12				



Persamaan polinomial pada model *quadratic* pada respon kadar air ( $Y_2$ ) yang dipengaruhi oleh faktor rasio maltodekstrin (A) dan rasio gum arab (B) adalah sebagai berikut:

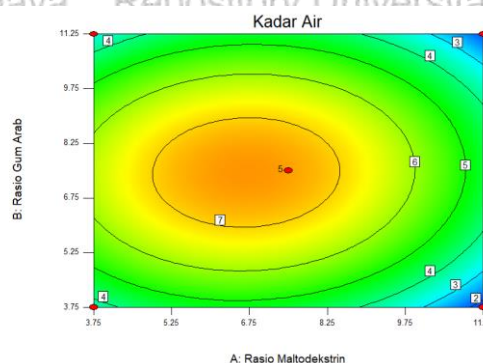
$$Y_2 = 7,36 - 0,84A - 0,04B + 0,15AB - 1,93A^2 - 2,79B^2$$

Nilai 7,36 diartikan bahwa dengan adanya pengaruh faktor terhadap respon kadar air yang dihasilkan adalah sebesar 7,36 satuan. Nilai  $-0,84A$  dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio maltodekstrin dapat menurunkan kadar air sebesar 0,84 satuan. Nilai  $-0,04B$  dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio gum arab dapat menurunkan kadar air sebesar 0,04 satuan.

Persamaan model polinomial dan grafik *contour plot* dan tiga dimensi digunakan untuk menentukan titik optimal nilai respon kadar air dengan variabel rasio maltodekstrin dan rasio gum arab. Pada **Gambar 5.8** dapat dilihat bahwa kadar air terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan kadar air semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan semakin tinggi nilai kadar air, dan warna biru menunjukkan semakin rendah nilai kadar air. Berdasarkan kurva tiga dimensi dapat diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Grafik menunjukkan model *quadratic* yang menunjukkan terdapat puncak sebagai kondisi optimal dan terdapat penurunan berdasarkan kedua faktor yang digunakan. Pada penelitian terdahulu, hasil mikroenkapsulasi dengan kadar air yang rendah meningkatkan higroskopisitas karena memiliki kemampuan menyerap kelembaban terkait dengan konsentrasi air antara mikrokapsul dan atmosfer (Tonon *et al.*, 2011).

Design-Expert® Software  
Factor Coding: Actual  
Kadar Air  
Design Points  
1: 40  
2: 33

X1 = A: Rasio Maltodekstrin  
X2 = B: Rasio Gum Arab

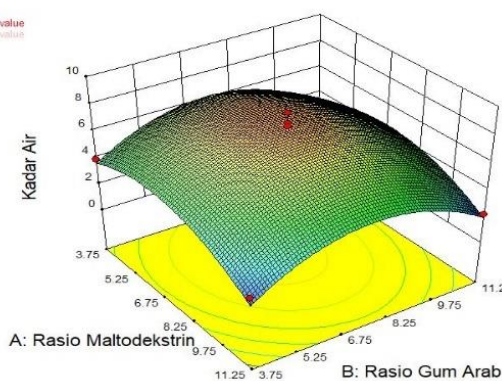






Design-Expert® Software  
Factor Coding: Actual  
Kadar Air  
● Design points above predicted value  
● Design points below predicted value  
1.33  
8.49

X1 = A: Rasio Maltodekstrin  
X2 = B: Rasio Gum Arab



**Gambar 5.8** Kurva *Response Surface* Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Kadar Air Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

#### 5.2.4 Analisa Respon *Total Phenolic Content* Mikroenkapsulasi

Senyawa fenol merupakan suatu senyawa yang mengandung gugus hidroksil (-OH), yang terikat langsung pada gugus cincin hidrokarbon aromatik.

Klasifikasi senyawa fenol yang terkandung dalam tumbuhan yaitu fenol sederhana, benzoquinone, asam fenolat, asetofenon, naftokuinon, xanton, bioflavonoid kumarin, stilben, turunan tirosin, asam hidroksi sinamat, flavonoid, lignan, dan tanin (Dhianawaty dan Ramdan, 2013). Dalam penelitian ini dilakukan pengujian total fenol untuk mengetahui seberapa besar kandungan senyawa fenolik yang ada pada serbuk mikroenkapsulasi minyak rimpang lengkuas merah. Kurva standar yang digunakan pada pengujian ini adalah kurva standar asam galat.

Kurva standar yang didapatkan dan perhitungan total fenol dapat dilihat pada **Lampiran 11**.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa respon total fenol tertinggi sebesar 30,6187 mg GAE/gr yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 2,2gr dan rasio gum arab 7,5gr. Total fenol terendah sebesar 2,268 mg GAE/gr yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 12,8gr dan rasio gum arab 7,5gr. Dari data penelitian tersebut menunjukkan bahwa total fenol cenderung meningkat dengan semakin kecilnya rasio maltodekstrin. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Busch *et al.* (2017) yang menjelaskan bahwa bahan penyalut gum arab dapat melindungi lebih banyak senyawa bioaktif yang disebabkan oleh struktur gum yang bercabang sehingga memudahkan zat untuk melindungi kandungan fenolik dengan ikatannya.

Pemilihan model terhadap respon total fenol ditentukan berdasarkan kriteria *Sequential Model Sum of Squares*, *Lack of Fit*, *Adjusted R<sup>2</sup>*, dan *Predicted R<sup>2</sup>*

yang dapat dilihat pada **Tabel 5.14**. Kriteria optimasi total fenol dapat diketahui bahwa model yang disarankan untuk penentuan titik optimal adalah model *quadratic*. Hal ini dapat dilihat pada nilai *Sequential Model Sum of Squares* memiliki p-value paling rendah sebesar 0,0589 yang menunjukkan peluang kesalahan model lebih kecil. Perhitungan nilai *Lack of Fit* pada model *quadratic* memiliki p-value sebesar 0,0002 atau kurang dari 0,05 yang berarti kedua faktor memiliki pengaruh nyata terhadap respon. Pemilihan model berdasarkan nilai *adjusted R-squared* dan *predicted R-squared* didasarkan pada nilai yang terbesar. Berdasarkan keseluruhan kriteria, model *quadratic* dapat menjelaskan hubungan antara faktor rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2) terhadap respon *total phenolic content* (TPC).

**Tabel 5.14** Kriteria Optimasi Respon Total Fenol

Parameter	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	
Linear	0.1094	< 0.0001	0.2291	-0.3136	
2FI	0.3003	< 0.0001	0.2448	-0.3546	
<u>Quadratic</u>	<u>0.0589</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.5677</u>	<u>-0.7791</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0.2529	0.0001	0.6508	-8.1520	Aliased

Hasil ANOVA yang ditampilkan pada **Tabel 5.15**, menunjukkan nilai p-value untuk model terpilih yakni *quadratic* memiliki pengaruh nyata dan signifikan terhadap respon *total phenolic content*, sehingga model ini dapat dikatakan sudah tepat.

**Tabel 5.15** ANOVA Respon *Total Phenolic Content*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	711.73	5	142.35	4.15	0.0451	<i>significant</i>
A-Rasio Maltodekstrin	337.34	1	337.34	9.84	0.0165	
B-Rasio Gum Arab	2.99	1	2.99	0.087	0.7764	
AB	72.34	1	72.34	2.11	0.1897	
A <sup>2</sup>	1.67	1	1.67	0.049	0.8317	
B <sup>2</sup>	298.12	1	298.12	8.69	0.0214	
Residual	240.02	7	34.29			
Lack of Fit	237.57	3	79.19	129.58	0.0002	<i>significant</i>
Pure Error	2.44	4	0.61			
Cor Total	951.75	12				

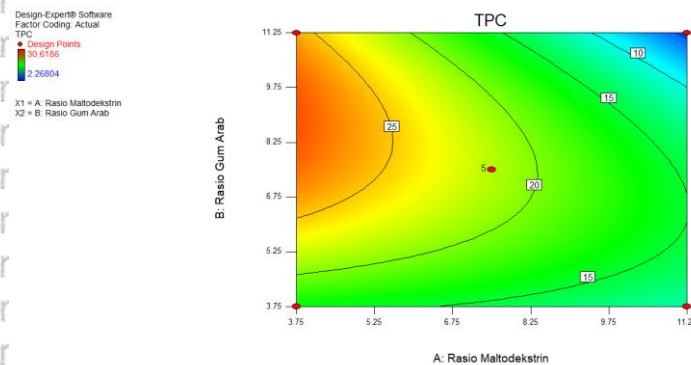


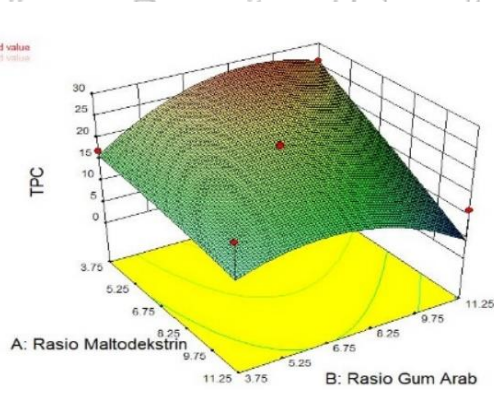
Persamaan polinomial pada model *quadratic* pada respon *total phenolic content* (Y3) yang dipengaruhi oleh faktor rasio maltodekstrin (A) dan rasio gum arab (B) adalah sebagai berikut:

$$Y_3 = 21,55 - 6,49A + 0,61B - 4,25AB - 0,49A^2 - 6,55B^2$$

Nilai 21,55 diartikan bahwa dengan adanya pengaruh faktor terhadap respon total fenol yang dihasilkan adalah sebesar 21,55 satuan. Nilai -6,49A dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio maltodekstrin dapat menurunkan total fenol sebesar -6,49 satuan. Nilai +0,61B dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio gum arab dapat meningkatkan total fenol sebesar 0,61 satuan.

Persamaan model polinomial dan grafik *contour plot* tiga dimensi digunakan untuk menentukan titik optimal nilai respon total fenol dengan variable rasio maltodekstrin dan rasio gum arab. Pada **Gambar 5.9** dapat dilihat bahwa total fenol terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan total fenol semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan semakin tinggi nilai total fenol, dan warna biru menunjukkan semakin rendah nilai total fenol. Berdasarkan kurva tiga dimensi dapat diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Grafik menunjukkan model *quadratic* yang menunjukkan terdapat puncak sebagai kondisi optimal dan terdapat penurunan berdasarkan kedua faktor yang digunakan. Berdasarkan penelitian Blainski *et al.* (2013), semakin banyak rasio bahan penyalut yang digunakan dapat mengurangi intensitas warna biru pada reagen folin ciocalteau, sehingga menyebabkan kadar total fenol menurun.





**Gambar 5.9** Kurva *Response Surface* Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon *Total Phenolic Content* Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

### 5.2.5 Analisa Respon Aktivitas Antioksidan Mikroenkapsulasi

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian DPPH untuk mengetahui seberapa besar aktivitas antioksidan yang ada pada serbuk mikroenkapsulasi minyak rimpang lengkuas merah. Perhitungan tingkat aktivitas antioksidan dapat dilihat pada **Lampiran 12**. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa respon aktivitas antioksidan tertinggi sebesar 186,03 ppm yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 12,8gr dan rasio gum arab 7,5gr. Aktivitas antioksidan terendah sebesar 122,89 ppm yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 2,2gr dan rasio gum arab 7,5gr. Dari data penelitian tersebut menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan cenderung meningkat dengan semakin besarnya rasio maltodekstrin. Hal ini sesuai dengan penelitian Ananingsih *et al.* (2014), konsentrasi maltodekstrin yang terlalu tinggi dapat menyebabkan nilai aktivitas antioksidan semakin rendah karena maltodekstrin hanya berperan untuk meningkatkan rendemen pada produk.

Pemilihan model terhadap respon aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) ditentukan berdasarkan kriteria *Sequential Model Sum of Squares*, *Lack of Fit*, *Adjusted  $R^2$* , dan *Predicted  $R^2$*  yang dapat dilihat pada **Tabel 5.16**. Kriteria optimasi aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) diketahui bahwa model yang disarankan untuk penentuan titik optimal adalah model *quadratic*. Hal ini dapat dilihat pada nilai *Sequential Model Sum of Squares* memiliki p-value paling rendah sebesar 0,0110 yang menunjukkan peluang kesalahan model lebih kecil. Perhitungan nilai *Lack of Fit* pada model *quadratic* memiliki p-value sebesar 0,0069 atau kurang dari 0,05 yang berarti kedua faktor memiliki pengaruh nyata terhadap respon. Pemilihan model nilai *adjusted R-squared* dan *predicted R-squared* didasarkan pada nilai yang

terbesar. Berdasarkan keseluruhan kriteria, model *quadratic* dapat menjelaskan hubungan antara faktor rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2) terhadap respon aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>).

**Tabel 5.16** Kriteria Optimasi Respon Aktivitas Antioksidan

Parameter	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	
Linear	0.0327	0.0012	0.3945	-0.0089	
2FI	0.2229	0.0012	0.4349	0.0015	
<u>Quadratic</u>	<u>0.0110</u>	<u>0.0069</u>	<u>0.7999</u>	<u>0.2096</u>	Suggested
Cubic	0.0269	0.0278	0.9341	-0.3126	Aliased

Hasil analisa ragam (ANOVA) yang ditampilkan pada **Tabel 5.17**, menunjukkan nilai p-value untuk model terpilih yakni *quadratic* memiliki pengaruh nyata dan signifikan terhadap respon aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>), sehingga model dapat dikatakan sudah tepat.

**Tabel 5.17** ANOVA Respon Aktivitas Antioksidan

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	3755.29	5	751.06	10.60	0.0037	<i>significant</i>
A-Rasio Maltodekstrin	1938.77	1	1938.77	27.35	0.0012	
B-Rasio Gum Arab	167.49	1	167.49	2.36	0.1681	
AB	343.23	1	343.23	4.84	0.0637	
A <sup>2</sup>	5.46	1	5.46	0.077	0.7894	
B <sup>2</sup>	1300.12	1	1300.12	18.34	0.0036	
Residual	496.19	7	70.88			
Lack of Fit	465.88	3	155.29	20.49	0.0069	<i>significant</i>
Pure Error	30.31	4	7.58			
Cor Total	4251.49	12				

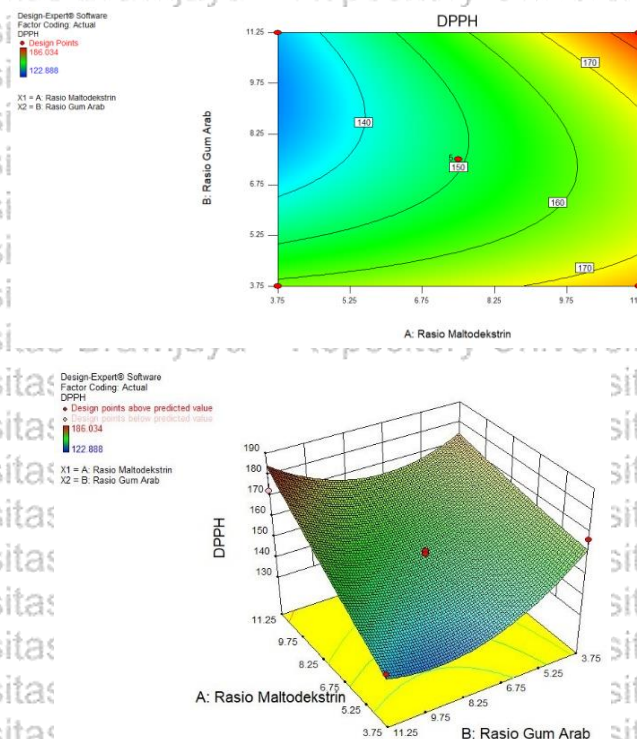
Persamaan polynomial model *quadratic* pada respon aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>) (Y4) dipengaruhi oleh faktor rasio maltodekstrin (A) dan rasio gum arab (B) adalah sebagai berikut:

$$Y_4 = 149,40 + 15,57A - 4,58B + 9,26AB + 0,89A^2 + 13,67B^2$$

Nilai 149,40 diartikan bahwa dengan adanya pengaruh faktor terhadap respon aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>) yang dihasilkan adalah sebesar 149,40 satuan. Nilai 15,57A dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio maltodekstrin dapat meningkatkan aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>) sebesar 15,57 satuan. Nilai -4,58B dapat

diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio gum arab dapat menurunkan aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) sebesar 4,58 satuan.

Persamaan model polynomial dan grafik *contour plot* tiga dimensi digunakan untuk menentukan titik optimal nilai respon aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) dengan variabel rasio maltodekstrin dan rasio gum arab. Pada **Gambar 5.10** dapat dilihat bahwa aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan semakin tinggi nilai aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ), dan warna biru menunjukkan semakin rendah nilai aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ). Berdasarkan kurva tiga dimensi diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Grafik model *quadratic* menunjukkan terdapat puncak sebagai kondisi optimal dan terdapat penurunan berdasarkan kedua faktor yang digunakan. Gum arab yang digunakan sebagai bahan penyalut mampu melindungi senyawa bioaktif yang dienkapsulasi selama proses pengeringan dan penyimpanan (Noghabi dan Mohammad, 2019). Menurut Boger *et al.* (2018), kombinasi antara maltodekstrin dan gum arab dengan formulasi tertentu dapat meningkatkan aktivitas antioksidan.



**Gambar 5.10** Kurva *Response Surface* Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Aktivitas Antioksidan Mikrokapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

### 5.2.6 Analisa Respon Tingkat Kelarutan Mikrokapsulasi

Kelarutan merupakan sifat yang penting dalam mikrokapsul karena dapat mengalami rehidrasi ketika digunakan sebagai bahan pangan atau farmasi (Syamaladevi *et al.*, 2012). Menurut Kha *et al.* (2010), faktor yang mempengaruhi tingkat kelarutan adalah bahan baku, bahan penyalut, dan sifat mikrokapsul meliputi kadar air dan ukuran partikel. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tingkat kelarutan untuk mengetahui seberapa besar persentase kelarutan mikrokapsul minyak rimpang lengkuas merah dalam air. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa respon tingkat kelarutan tertinggi sebesar 96,7% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 7,5gr dan rasio gum arab 2,2gr. Tingkat kelarutan terendah sebesar 82,1% yang diperoleh dari perlakuan rasio maltodekstrin 2,2gr dan rasio gum arab 7,5gr. Penelitian Krisnitya *et al.* (2020), menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi maltodekstrin dapat membuat persentase tingkat kelarutan serbuk mikrokapsul semakin baik.

Pemilihan model respon tingkat kelarutan ditentukan berdasarkan kriteria *Sequential Model Sum of Squares*, *Lack of Fit*, *Adjusted R<sup>2</sup>*, dan *Predicted R<sup>2</sup>* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.18**. Kriteria optimasi tingkat kelarutan diketahui bahwa model yang disarankan untuk penentuan titik optimal adalah model *quadratic*. Hal ini dapat dilihat pada nilai *Sequential Model Sum of Squares* memiliki p-value paling rendah sebesar 0,0119 yang menunjukkan peluang kesalahan model paling kecil. Perhitungan nilai *Lack of Fit* pada model *quadratic* memiliki p-value sebesar <0,0001 atau kurang dari 0,05 yang berarti kedua faktor memiliki pengaruh nyata terhadap respon. Pemilihan model berdasarkan nilai *adjusted R-squared* dan *predicted R-squared* didasarkan pada nilai yang terbesar. Berdasarkan keseluruhan kriteria, model *quadratic* dapat menjelaskan hubungan antara faktor rasio maltodekstrin (X1) dan rasio gum arab (X2) terhadap respon tingkat kelarutan.

**Tabel 5.18** Kriteria Optimasi Respon Tingkat Kelarutan

Parameter	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared
Linear	0.6751	< 0.0001	-0.1093	-0.8014
2FI	0.6006	< 0.0001	-0.1935	-1.8321
Quadratic	0.0119	< 0.0001	0.5676	-0.7843
Cubic	0.1378	< 0.0001	0.7260	-6.2029

Hasil ANOVA yang ditampilkan pada **Tabel 5.19**, menunjukkan nilai p-value untuk model terpilih yakni *quadratic* memiliki pengaruh nyata dan signifikan terhadap respon tingkat kelarutan, sehingga model ini dapat dikatakan sudah tepat.

**Tabel 5.19** ANOVA Respon Tingkat Kelarutan

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	207.41	5	41.48	4.15	0.0451	significant
A-Rasio Maltodekstrin	20.29	1	20.29	2.03	0.1972	
B-Rasio Gum Arab	0.67	1	0.67	0.067	0.8034	
AB	8.12	1	8.12	0.81	0.3973	
A <sup>2</sup>	178.29	1	178.29	17.84	0.0039	
B <sup>2</sup>	3.78	1	3.78	0.38	0.5578	
Residual	69.96	7	9.99			
Lack of Fit	69.50	3	23.17	201.44	< 0.0001	significant
Pure Error	0.46	4	0.12			
Cor Total	277.37	12				

Persamaan polynomial pada model *quadratic* pada respon tingkat kelarutan (Y5) yang dipengaruhi oleh faktor rasio maltodekstrin (A) dan rasio gum arab (B) adalah sebagai berikut:

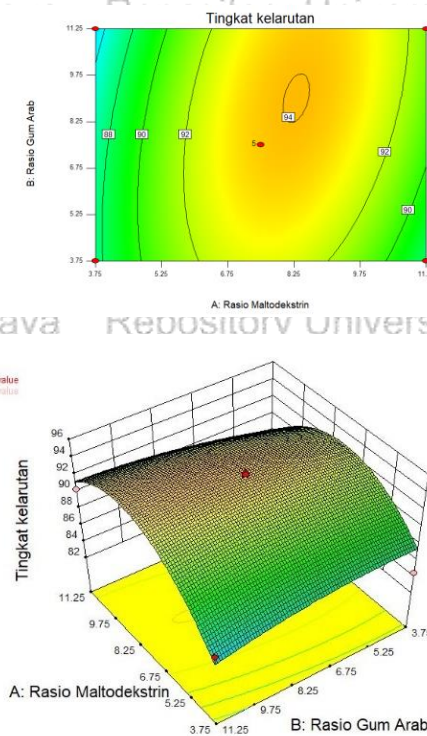
$$Y5 = 93,80 + 1,59A + 0,29B + 1,42AB - 5,06A^2 - 0,74B^2$$

Nilai 93,80 diartikan bahwa dengan adanya pengaruh faktor terhadap respon tingkat kelarutan yang dihasilkan adalah sebesar 93,80 satuan. Nilai 1,59A dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio maltodekstrin dapat meningkatkan tingkat kelarutan sebesar 1,59 satuan. Nilai 0,29B dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 unit rasio gum arab dapat meningkatkan tingkat kelarutan sebesar 0,29 satuan.

Persamaan model polynomial dan grafik *contour plot* tiga dimensi digunakan untuk menentukan titik optimal nilai respon tingkat kelarutan dengan variabel rasio maltodekstrin dan rasio gum arab. Pada **Gambar 5.11** dapat dilihat bahwa tingkat kelarutan terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan tingkat kelarutan semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan semakin tinggi tingkat kelarutan, dan warna biru menunjukkan semakin rendah tingkat kelarutan. Berdasarkan kurva tiga dimensi dapat diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan. Grafik menunjukkan model *quadratic* yang



menunjukkan terdapat puncak sebagai kondisi optimal dan terdapat penurunan berdasarkan kedua faktor yang digunakan. Berdasarkan penelitian Yuliawaty dan Wahono (2015), kelarutan yang tinggi disebabkan adanya gugus hidroksil yang terdapat pada maltodekstrin yang akan berinteraksi dengan air. Gugus dengan muatan asam amino yang tinggi dapat menyebabkan gugus tersebut menjadi larut dalam pelarut polar seperti air (Ningsih *et al.*, 2019).



**Gambar 5.11** Kurva *Response Surface* Rasio Bahan Penyalut Terhadap Respon Tingkat Kelarutan Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

### 5.2.7 Hasil Solusi Optimal Respon

Penelitian dilakukan untuk menentukan hasil solusi optimal dari optimasi rasio maltodekstrin dan rasio gum arab pada proses mikroenkapsulasi minyak atsiri lengkuas merah. Batasan optimasi respon yang diolah pada aplikasi *Design Expert 8.0* dapat dilihat pada **Tabel 5.20**. Respon TPC dipilih dengan target maksimal untuk mendapatkan hasil total fenol tertinggi dan respon DPPH (IC<sub>50</sub>) dipilih dengan target minimal untuk mendapatkan aktivitas antioksidan tertinggi. Sedangkan, respon rendemen, kadar air, dan tingkat kelarutan dipilih berdasarkan rentang batas bawah dan batas atas masing-masing respon.

**Tabel 5.20** Batasan Optimasi untuk Respon dan Faktor

Kriteria	Nama	Target	Batas Bawah	Batas
Faktor	Rasio Maltodekstrin (gr)	is in range	3.75	11.25
Faktor	Rasio Gum Arab (gr)	is in range	3.75	11.25
Respon	Rendemen (%)	is in range	41.3636	48.375
Respon	Kadar Air (%)	is in range	1.33	8.49
Respon	TPC (mg GAE/g)	maximize	2.26804	30.6186
Respon	DPPH (ppm)	minimize	122.888	186.034
Respon	Kelarutan (%)	is in range	82.1	96.7

Setelah dilakukan penentuan batasan pada aplikasi *Design Expert 8.0* akan diperoleh hasil solusi optimal yang dapat dilihat pada **Tabel 5.21**. Hasil optimal diperoleh pada perlakuan rasio maltodekstrin 3,75 dan rasio gum arab 9,14, menghasilkan rendemen sebesar 44,69%, kadar air sebesar 5,64%, TPC sebesar 28,43 mg GAE/g, nilai  $IC_{50}$  sebesar 131,28 ppm, dan tingkat kelarutan sebesar 86,28% dengan nilai *desirability* sebesar 0,89. Menurut Akcay dan Ahmet (2013), setiap nilai dari respon dikonversi dan dibuat dengan skala antara 0 hingga 1, dengan nilai 0 menunjukkan hasil solusi tidak optimal dan semakin mendekati 1 hasil semakin optimal. Hal ini menunjukkan bahwa program dapat mencapai tujuan optimasi yang diinginkan.

**Tabel 5.21** Hasil Prediksi Solusi Optimal dari *Software Design Expert 8.0*

Parameter	Standar Prediksi
Rasio Maltodekstrin (gr)	3,75
Rasio Gum Arab (gr)	9,14
Rendemen (%)	44,6941
Kadar Air (%)	5,64335
TPC (mg GAE/g)	28,4251
DPPH (ppm)	131,282
Kelarutan (%)	86,282
Desirability	0,894
Keterangan	<i>Selected</i>

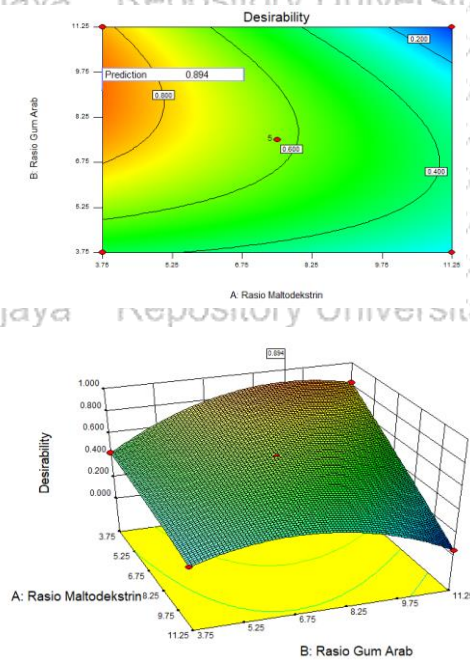
Selain hasil prediksi terdapat pula sajian nilai prediksi terendah dan prediksi tertinggi yang dapat dilihat pada **Tabel 5.22**. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui besar nilai prediksi pada masing-masing respon. Nilai prediksi rendemen sebesar 44,69%, dengan nilai prediksi terendah sebesar 43,72% dan nilai prediksi tertinggi sebesar 45,66%. Pada respon kadar air ditampilkan nilai prediksi sebesar 5,64%, dengan nilai prediksi terendah sebesar 3,51% dan nilai prediksi tertinggi sebesar 7,77%. Pada respon TPC ditampilkan nilai prediksi sebesar 28,42 mg GAE/g, dengan nilai prediksi terendah sebesar 6,71 mg GAE/g dan nilai prediksi tertinggi sebesar 44,30 mg GAE/g. Nilai prediksi pada respon

DPPH sebesar 131,28 ppm, dengan nilai prediksi terendah sebesar 108,455 ppm dan nilai prediksi tertinggi sebesar 154,109 ppm. Respon kelarutan ditampilkan nilai prediksi sebesar 86,28%, dengan nilai prediksi terendah sebesar 77,93% dan nilai prediksi tertinggi sebesar 95,07%.

**Tabel 5.22** Hasil Solusi Optimal dari *Software Design Expert 8.0*

Parameter	Prediksi	SE Pred	Prediksi Terendah	Prediksi Tertinggi
Rendemen (%)	44,6941	0.409261	43.7264	45.6619
Kadar Air (%)	5,64335	0.902145	3.51011	7.77658
TPC (mg GAE/g)	28,4251	6.71413	12.5488	44.3015
DPPH (ppm)	131,282	9.65369	108.455	154.109
Kelarutan (%)	86,282	3.62475	77.9353	95.0777

Pada **Gambar 5.12** dapat dilihat bahwa tingkat kelarutan terbesar ditunjukkan dari garis terdalam dan tingkat kelarutan semakin rendah pada bagian terluar. Warna yang terdapat pada kontur juga memiliki arti, dimana warna merah menunjukkan nilai *desirability* yang semakin tinggi, dan warna biru menunjukkan nilai *desirability* yang semakin rendah. Berdasarkan kurva *contour* tersebut terlihat warna biru hingga kemerahan dengan nilai *desirability* maksimal sebesar 0,894. Berdasarkan kurva *response surface* dapat diketahui bahwa kedua faktor memberikan pengaruh yang signifikan dan terdapat puncak sebagai kondisi optimal.



**Gambar 5.12** Kurva *Response Surface* Solusi Optimal Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah



### 5.3 Penelitian Tahap III

#### 5.3.1 Verifikasi Kondisi Optimal Hasil Prediksi Model

Tahap verifikasi berguna untuk membuktikan nilai prediksi pada hasil solusi kondisi optimal yang dihasilkan oleh program *Design Expert 8.0*. Verifikasi dilakukan dengan melakukan penelitian kembali menggunakan faktor yang telah dihasilkan pada solusi optimal. Kemudian, dilakukan pengukuran terhadap masing-masing respon dan dilakukan pencatatan. Hasil dari verifikasi selanjutnya dibandingkan dengan nilai prediksi oleh program. Perbandingan hasil verifikasi aktual dan prediksi pada program dapat dilihat pada **Tabel 5.23**.

**Tabel 5.23** Perbandingan Hasil Verifikasi Aktual dengan Prediksi

Parameter	Prediksi	Interval Prediksi	Verifikasi Data Aktual	Selisih	Akurasi (%)
Rasio Maltodekstrin (g)	3,75	3,75	3,75		
Rasio Gum Arab (g)	9,14	9,14	9,14		
Rendemen (%)	44,6941	43,72 – 45,66	44,01	0,6841	98,45
Kadar Air (%)	5,64335	3,51 – 7,77	5,75	0,1067	98,15
TPC (mg GAE/g)	28,4251	12,54 – 44,30	34,227	5,8019	83,05
DPPH (ppm)	131,282	108,45 – 154,11	136,01	4,728	96,52
Kelarutan (%)	86,282	77,93 – 95,07	87,70	1,418	98,38

Pada **Tabel 5.23** menunjukkan nilai verifikasi aktual respon rendemen sebesar 44,01%. Terdapat perbedaan pada nilai prediksi dengan selisih 0,6841% sehingga diperoleh akurasi pada respon rendemen sebesar 98,45%. Pada respon kadar air menunjukkan nilai verifikasi aktual sebesar 5,75%. Terdapat perbedaan pada nilai prediksi dengan selisih 0,1067% sehingga diperoleh akurasi pada respon rendemen sebesar 98,15%. Pada respon TPC menunjukkan nilai verifikasi aktual sebesar 34,227 mg GAE/g. Terdapat perbedaan pada nilai prediksi dengan selisih 5,8019 sehingga diperoleh akurasi pada respon TPC sebesar 83,05%. Pada respon aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) menunjukkan nilai verifikasi aktual sebesar 136,01 ppm. Terdapat perbedaan pada nilai prediksi dengan selisih 4,728 sehingga diperoleh akurasi pada respon aktivitas antioksidan ( $IC_{50}$ ) sebesar 96,52%. Pada respon kelarutan menunjukkan nilai verifikasi aktual sebesar 87,70%. Terdapat perbedaan pada nilai prediksi dengan selisih 1,418 sehingga diperoleh akurasi pada respon kelarutan sebesar 98,38%. Menurut Amran *et al.* (2014), nilai akurasi yang diperoleh diatas 50% menunjukkan model telah cukup tepat untuk memprediksi hasil optimal. Keseluruhan hasil verifikasi aktual masih berada pada nilai interval prediksi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kim and



Kyung (2008), bahwa interval prediksi digunakan sebagai batas atas dan bawah untuk menentukan ketepatan hasil pada solusi optimal.

### 5.3.2 Analisa GC-MS Perlakuan Optimal

Analisa GC-MS pada hasil perlakuan optimal proses mikroenkapsulasi bertujuan agar dapat diketahui kandungan senyawa kimia mikrokapsul. Analisa dilakukan dengan pengenceran serbuk mikrokapsul dari masing-masing perlakuan menggunakan pelarut metanol dengan perbandingan 1 : 10 (Maulidna *et al.*, 2020).

Hasil analisa senyawa beserta waktu retensi masing-masing senyawa pada mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah perlakuan kontrol dan perlakuan 4000V (V2) dapat dilihat pada **Lampiran 16**. Secara keseluruhan, terdapat 32 senyawa yang terdeteksi pada mikrokapsul dengan perlakuan kontrol dan 39 senyawa pada mikrokapsul dengan perlakuan 4000V (V2). Berdasarkan

**Tabel 5.24** diketahui terdapat lima senyawa utama yang terdeteksi dari hasil pengenceran mikrokapsul kontrol yakni: Methyl oleate sebesar 39,56%, Methylhexadecanoate sebesar 14,89%, Diacetone alcohol sebesar 11,41%, Linoleate sebesar 6,71%, dan Methylstearate sebesar 5,56%. Selain itu, terdapat kandungan serupa yang terdapat dalam minyak atsiri rimpang lengkuas merah seperti Alloaromadendrene sebesar 4,57%, Chavicol sebesar 4,36%, dan Eucalyptol sebesar 0,48%. Lima (5) senyawa utama yang terdeteksi dari hasil pengenceran mikrokapsul 4000V (V2) yakni, Diacetone alcohol sebesar 31,36%, Chavicol sebesar 15,26%, Methyl oleate sebesar 6,87%, Alloaromadendrene sebesar 5,82% dan Methylhexadecanoate sebesar 3,44%. Selain itu, terdapat kandungan serupa yang terdapat dalam senyawa utama minyak atsiri rimpang lengkuas merah yakni Eucalyptol sebesar 1,96%.

Pada mikroenkapsulasi perlakuan 4000V didapatkan senyawa terbesar adalah diacetone alcohol. Diacetone alcohol merupakan cairan yang tidak berwarna, biasanya digunakan sebagai bahan pelarut untuk selulosa asetat, nitroselulosa, seluloid, lemak, minyak, lilin, dan resin (O'neil *et al.*, 2013). Pengujian komponen kimia dengan GC-MS dilakukan perlakuan pendahuluan berupa pengenceran mikrokapsul minyak rimpang lengkuas merah. Pelarut yang digunakan pada penelitian ini adalah methanol yang merupakan bagian dari kelompok alcohol. Menurut Jagtap *et al.* (2021), diacetone alcohol dapat terbentuk dari reaksi adisi aldol dengan katalis homogen berupa methanol.



Chavicol ( $C_9H_{10}O$ ) merupakan metabolit khusus yang termasuk dalam kelas fenilpropanoid yang ditemukan dalam minyak atsiri tanaman obat dan makanan (Paula *et al.*, 2007). Senyawa ini memiliki aktivitas anti-inflamasi disebabkan oleh penghambatan migrasi leukosit dan stimulasi fagositosis makrofag (Silva-Comar *et al.*, 2014). Penelitian Santos *et al.* (2018) menyebutkan bahwa chavicol memiliki aktivitas antioksidan dan mampu menghambat enzim lipase pankreas menggunakan uji *in vitro* dan *in silico*. Mikrokapsul perlakuan 4000V menunjukkan kenaikan jumlah senyawa chavicol dibandingkan dengan minyak atsiri rimpang lengkuas merah. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab mampu mempertahankan senyawa volatil dalam bahan.

Eucalyptol (1,8 cineole) adalah komponen utama yang ditemukan dalam minyak kayu putih dari semua tanaman kayu putih (Goodger *et al.*, 2016). Eucalyptol merupakan senyawa organik alami yang merupakan cairan tidak berwarna. Juergens *et al.* (2003) menyebutkan adanya aktivitas anti-inflamasi dari eucalyptol pada asma, serta penyakit saluran napas atas dan bawah. Penelitian Sharma and Inderjeet (2020), menyebutkan bahwa senyawa ini berpotensi sebagai inhibitor. Berdasarkan penelitian ini, jumlah senyawa eucalyptol pada mikrokapsul baik dengan perlakuan kontrol maupun perlakuan 4000V menunjukkan adanya penurunan yang signifikan. Hal ini dikarenakan eucalyptol memiliki kestabilan dan volatilitas yang lemah. Menurut Akolade *et al.* (2020), ketidakstabilan kimia dan volatilitas eucalyptol membatasi aplikasi terapeutiknya dan memerlukan pengembangan yang tepat untuk mempertahankan bahkan meningkatkan bioaktivitasnya.

Alloaromadendrene merupakan salah satu senyawa golongan terpenoid. Alloaromadendrene memiliki sedikit kapasitas antioksidan dan aktivitas biologis (Jesionek *et al.*, 2018). Hasil penelitian Yu *et al.* (2014) menunjukkan bahwa alloaromadendrene berpotensi untuk digunakan sebagai sumber antioksidan atau pengobatan anti-aging. Peningkatan jumlah komponen alloaromadendrene pada mikrokapsul dibandingkan dengan minyak atsirinya dapat dikarenakan terjadinya isomerisasi selama proses emulsi maupun saat proses pengeringan beku. Umumnya, sebagian besar minyak atsiri dari berbagai bagian tumbuhan memiliki jumlah senyawa alloaromadendrene yang sangat sedikit (Setzer, 2008).

Selain itu terdapat senyawa yang tidak terdeteksi pada pengujian GC-MS minyak atsiri rimpang lengkuas merah, yakni adanya kandungan asam lemak.

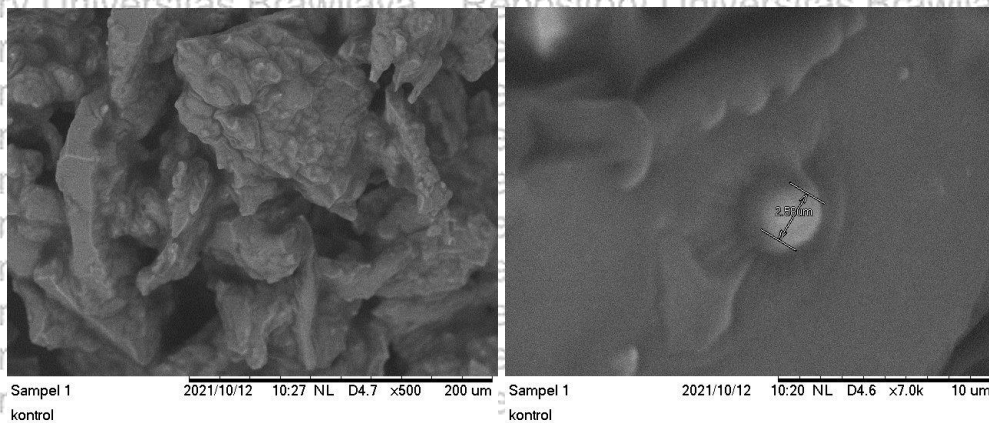
Asam lemak merupakan rantai karbon dengan gugus metil di salah satu ujung molekul dan gugus karboksil diujung lainnya (Rustan and Christian, 2005). Asam lemak terbagi menjadi asam lemak jenuh (*saturated fatty acids*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*). Hasil pengujian senyawa kimia pada mikrokapsul menunjukkan adanya asam lemak jenuh berupa methyl hexadecanoate dan methyl stearate, serta asam lemak tak jenuh methyl oleate (tunggal) dan linoleate (ganda). Asam lemak ini berasal dari pencampuran bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab dengan minyak atsiri. Berdasarkan penelitian Tolve *et al.* (2021), formulasi antara maltodekstrin dengan gum arab dapat meningkatkan konsentrasi asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*). Penelitian lain juga menjelaskan adanya kandungan asam lemak yang terdiri dari asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh pada hasil mikrokapsul dengan bahan penyalut yang sama (Ogrodowska *et al.*, 2020). Jika dilihat pada **Tabel 5.24**, komposisi asam lemak tertinggi terdapat pada hasil mikrokapsul dengan perlakuan kontrol. Hal ini dapat terjadi akibat adanya kesalahan rasio perbandingan antara bahan penyalut dengan minyak atsiri, sehingga mengakibatkan kandungan asam lemak yang lebih tinggi. Menurut penelitian Boger *et al.* (2018), tidak ada perbedaan yang signifikan mengenai komposisi asam lemak antara sampel mikrokapsul kontrol dan perlakuan. Selain itu, perbedaan komposisi asam lemak pada sampel mikroenkapsulasi kontrol dapat terjadi karena kondisi penyalutan yang tidak sempurna akibat emulsi yang tidak stabil sehingga terjadi kerusakan emulsi (Harimurti *et al.*, 2011).

**Tabel 5.24** Perbandingan Komponen pada Hasil Mikroenkapsulasi dan Minyak Rimpang Lengkuas Merah dengan Perlakuan Kontrol dan Perlakuan Pendahuluan PEF

No.	Nama Komponen	Area %			
		Mikrokapsul Perlakuan Kontrol	Minyak Perlakuan Kontrol	Mikrokapsul Perlakuan 4000V (V2)	Minyak Perlakuan 4000V (V2)
1.	Methyl oleate	39,56	-	6,87	-
2.	Linoleate	6,71	-	0,53	-
3.	Methyl hexadecanoate	14,89	-	3,44	-
4.	Methyl stearate	5,56	-	0,59	-
5.	Diacetone alcohol	11,41	-	31,36	-
6.	Alloaromadendrene	4,57	0,67	5,82	-
7.	Chavicol	4,36	6,40	15,26	9,04
8.	Eucalyptol	0,48	27,35	1,96	8,99

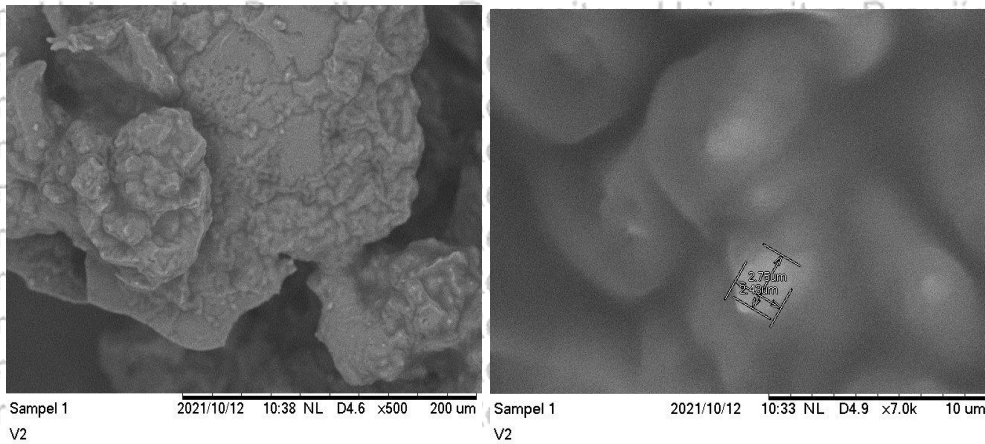
### 5.3.3 Analisa Scanning Electron Microscopy Perlakuan Optimal

Pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengevaluasi morfologi permukaan dan mikrostruktur dari mikrokapsul hasil *freeze dry* pada perlakuan optimal (Makouie *et al.*, 2019). Perbesaran yang digunakan pada penelitian ini adalah 500x dan 7000x. Karakteristik morfologi mikrokapsul minyak atsiri lengkuas merah dengan analisa SEM dapat dilihat pada **Gambar 5.13**. Hasil mikroenkapsulasi dengan *freeze dry* menunjukkan bentuk mikrokapsul yang tidak beraturan dan mirip seperti pecahan. Penelitian Gurak *et al.* (2013) juga menyatakan serbuk dengan perlakuan pengeringan beku menunjukkan hasil struktur yang tidak beraturan dan ukuran partikel yang tidak seragam. Mikrokapsul yang dihasilkan terlihat memiliki rongga, sesuai dengan penelitian Anandharamakrishnan *et al.* (2010), yang menyatakan tahap pembentukan kristal es dalam pembekuan emulsi selama proses pengeringan beku dapat menyebabkan adanya rongga. Pada perbesaran 7000x terlihat ukuran partikel pada sampel kontrol sebesar 2,58  $\mu\text{m}$  dan pada sampel perlakuan terbaik 4000V (V2) sebesar 2,43-2,74  $\mu\text{m}$ . Pemilihan bahan penyalut dan proses pengeringan memiliki pengaruh terhadap morfologi mikrokapsul (Quispe-Condori *et al.*, 2011). Bentuk dan ukuran yang dihasilkan pada mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah bergantung pada karakteristik maltodekstrin dan gum arab sebagai bahan penyalutnya. Selain itu, bahan baku yang akan diubah menjadi serbuk juga memiliki pengaruh pada morfologi mikrokapsul.



(a)





(b)  
**Gambar 5.13** Struktur Morfologi Mikrokapsul Minyak Atsiri Rimpang Merah pada (a) Perlakuan Kontrol; (b) Perlakuan Tegangan 4000 V

#### 5.3.4 Ukuran Partikel Perlakuan Optimal

Pengujian ukuran partikel digunakan untuk mengetahui rata-rata diameter hasil mikroenkapsulasi pada minyak atsiri lengkuas merah pada minyak kontrol dan minyak 4000V (V2). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* CILAS 1090 DRY. Perbandingan distribusi ukuran partikel pada kedua sampel dapat dilihat pada **Tabel 5.25**.

**Tabel 5.25** Distribusi Ukuran Partikel Mikrokapsul Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Nama Sampel	Diameter 10% (µm)	Diameter 50% (µm)	Diameter 90% (µm)	Rata-Rata Diameter (µm)
Kontrol	35,80	246,26	353,20	233,88
4000V (V2)	150,34	249,49	356,67	243,17

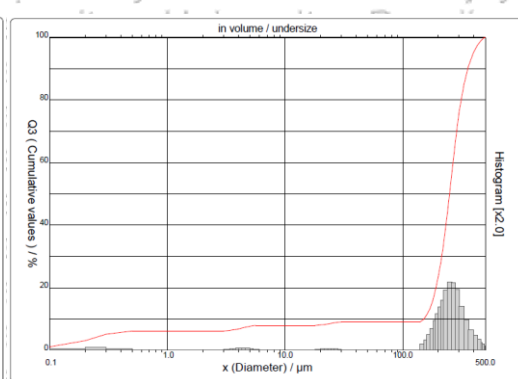
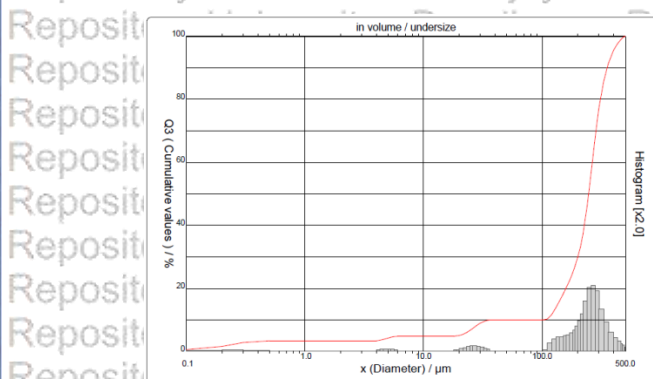
Berdasarkan **Tabel 5.25** dapat diketahui bahwa rata-rata ukuran partikel pada sampel mikroenkapsulasi minyak atsiri kontrol sebesar 233,88 µm, sedangkan rata-rata ukuran partikel pada mikroenkapsulasi minyak atsiri perlakuan pendahuluan tegangan 4000V (V2) sebesar 243,17 µm. Ukuran partikel yang berbeda dan memiliki ukuran yang semakin besar disebabkan oleh bahan penyalut yang digunakan (Edris *et al.*, 2016). Grafik histogram dari kedua sampel dapat dilihat pada **Gambar 5.14**.



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository



(a)

(b)

**Gambar 5.14** Histogram Persebaran Ukuran Partikel Pada Mikroenkapsulasi (a) Minyak Kontrol dan (b) Minyak Perlakuan Terbaik 4000V

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Pada tahap proses distilasi dapat diketahui bahwa perlakuan tegangan 4000V menyebabkan adanya rongga yang terbuka maksimal pada pori-pori membran sel rimpang lengkuas merah. Penerapan perlakuan pendahuluan PEF berpengaruh nyata pada indeks bias, densitas, warna kecerahan, dan warna kemerahan. Namun, tidak berpengaruh nyata pada rendemen dan warna kekuningan. Perlakuan terbaik didapatkan pada minyak atsiri lengkuas merah yang diberi perlakuan tegangan 4000V (V2) dengan rendemen sebesar 0,052%, indeks bias sebesar 1,48241, densitas sebesar 0,88793, dan warna L, a\*, b\* berturut-turut sebesar 18,33; 1,81; 10,44. Hasil pengujian komponen kimia menggunakan GC-MS pada masing-masing perlakuan didapatkan 32 komponen yang terkandung dalam senyawa kontrol, 39 komponen pada perlakuan 3000V (V1), 43 komponen pada perlakuan 4000V (V2) dan 5000V (V3). Pada perlakuan pendahuluan 4000 V (V2) terdapat senyawa utama meliputi Chavicol sebesar 9,04%, Eucalyptol sebesar 8,99%,  $\beta$ -Famesene sebesar 8,67%,  $\alpha$ -Cadinol sebesar 7,85%, dan  $\beta$ -Copaene sebesar 6,52%.

Tahap optimasi mikroenkapsulasi minyak atsiri rimpang lengkuas merah menunjukkan bahwa persentase rendemen berada pada range 41,364 – 48,375%, kadar air memiliki range 1,33 – 8,49%, total fenol berada pada range 2,2680 – 30,6186 mg GAE/gr, nilai IC<sub>50</sub> memiliki range 122,888 – 186,034 ppm, dan tingkat kelarutan mencapai 82,1 – 96,7%. Hasil optimal diperoleh pada perlakuan rasio maltodekstrin 3,75 dan rasio gum arab 9,14, menghasilkan rendemen sebesar 44,69%, kadar air sebesar 5,64%, TPC sebesar 28,43 mg GAE/gr, nilai IC<sub>50</sub> sebesar 131,28 ppm, dan tingkat kelarutan sebesar 86,28% dengan nilai *desirability* sebesar 0,89.

Tahap terakhir adalah verifikasi hasil solusi optimal dengan dilakukan pengujian ulang menggunakan faktor terpilih. Hasil verifikasi aktual menunjukkan respon rendemen sebesar 44,01% dengan akurasi sebesar 98,45%, respon kadar air sebesar 5,75% dengan akurasi sebesar 98,15%, respon TPC sebesar 34,227 mg GAE/gr dengan akurasi sebesar 83,05%, respon aktivitas antioksidan (IC<sub>50</sub>) sebesar 136,01 ppm dengan akurasi sebesar 96,52%, dan respon kelarutan sebesar 87,70% dengan akurasi sebesar 98,38%. Pada hasil analisa GC-MS terdapat lima senyawa utama yang terdeteksi dari mikrokapsul 4000V yakni, Diacetone alcohol sebesar 31,36%, Chavicol sebesar 15,26%, Methyl oleate



sebesar 6,87%. Alloaromadendrene sebesar 5,82% dan Methylhexadecanoate sebesar 3,44%. Selain itu, terdapat kandungan serupa yang terdapat dalam senyawa utama minyak atsiri rimpang lengkuas merah yakni Eucalyptol sebesar 1,96%. Karakteristik morfologi mikrokapsul minyak atsiri lengkuas merah V2 dengan analisa SEM perbesaran 7000x sebesar 2,43-2,74  $\mu\text{m}$ . Rata-rata ukuran partikel pada mikroenkapsulasi minyak atsiri perlakuan pendahuluan tegangan 4000V (V2) sebesar 243,17  $\mu\text{m}$ .

## 6.2 Saran

Pada penelitian ini masih bisa dikembangkan proses mikroenkapsulasi dengan melakukan optimasi menggunakan bahan penyalut atau metode lainnya agar menghasilkan penyalutan bahan inti yang optimal. Mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah dapat dikembangkan untuk selanjutnya diuji mengenai potensi penggunaan sebagai sediaan farmakologi berupa antioksidan dan anti-inflamasi karena dapat mengikat dan meningkatkan senyawa chavicol. Terkait dengan kegunaan lainnya, mikrokapsul pada penelitian ini masih memerlukan uji lanjut seperti uji antibakteri dan uji sitotoksik. Selain itu, perlu dilakukan pengujian aspek sensori, stabilitas, dan umur simpan agar selanjutnya mikrokapsul minyak atsiri rimpang lengkuas merah dapat dikomersialkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akcaj H dan Ahmet SA. 2013. Multi Response Optimization Application on a Manufacturing Factory. *Mathematical and Computational Applications*, 18(3): 531-538. DOI: 10.3390/mca18030531
- Alawi SMA, Hossain MA, Abusham AA. 2018. Antimicrobial and cytotoxic comparative study of different extracts of Omani and Sudanese Gum acacia. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* 7(1), 22–26. DOI: 10.1016/j.bjbas.2017.10.007
- Amran M, Siti S, Mohd Y, Noraiham M, Mohd AA, Zulkeflee A, Effendi M. 2014. Surface Roughness Optimization in Drilling Process Using Response Surface Method (RSM). *Jurnal Teknologi*, 66(3): 29-35. DOI: 10.11113/JT.V66.2691
- Anandharamkrishnan C, Rielly CD, Stapley AGF. Spray-freeze drying of whey proteins at sub-atmospheric pressures. *Dairy Science & Technology*. 2010;90(2):321-334.
- Ananingsih VK, Alberta RP, Margono M. 2014. Microencapsulation of Freeze Dried Red Beet Extract with Maltodextrin. *International Conference on Sustainable Global Agricultural and Food Security*, 1-4.
- Angkadjaja A, Suseno TIP, Lynie L. 2014. Pengaruh Konsentrasi *Stabilizer* HPMC SS12 Terhadap Sifat Fisikokimia dan Organoleptik Mayones Susu Kedelai *Reduced Fat*. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi* 13(2): 47-56. DOI:10.33508/jtpg.v13i2.1501
- Antioxidant and Antilipase Agents Based on the In Vitro and In Silico Assays. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, ID 2189348: 1-11. DOI: 10.1155/2018/2189348
- Arepally D, Goswami TK. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *LWT-Food Sci. Technol.* 2019, 99, 583–593. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.10.022
- Argo BD, Febriyanti AA. 2020. Pengaruh Gelombang Mikro terhadap Kualitas Hasil Minyak Atsiri Jahe (*Zingiber officinale*) dengan Hidrodistilasi. *AGRITECH*, 40(4): 332-339. DOI: 10.22146/agritech.40651
- Asavasanti S, Ristenpart W, Stroeve P, Barrett DM. 2011. Permeabilization of plant tissues by monopolar pulsed electric fields: effect of frequency. *Journal Food Science* 76(1): 98-111. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01940.x.
- Asbahani AE, Miladi K, Badri W, Sala M, Addi EHA, Casabianca H, Mousadik AE, Hartmann D, Jilale A, Renaud FNR, Elaissari A. 2015. Essential oils: from extraction to encapsulation. *Int J Pharm*, 483(1-2): 220-43. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2014.12.069
- Assegehegn G, Fuente EB, Franco JM, Gallegos C. 2019. The importance of understanding the freezing step and its impact on freeze-drying process performance. *J. Pharm. Sci.* 108: 1378–1395. DOI: 10.1016/j.xphs.2018.11.039
- Azzahra FA, Utami R, Nurhartadi E. 2013. Pengaruh Penambahan Minyak Atsiri Lengkuas Merah (*Alpinia Purpurata*) pada Edible Coating terhadap Stabilitas



pH dan Warna Fillet Ikan Patin Selama Penyimpanan Suhu Beku. *Jurnal Teknosains Pangan* 2(4): 32-38.

Bajaj SR dan Singhal RS. 2021. Enhancement of stability of vitamin B12 by cocrystallization: a convenient and palatable form of fortification. *J. Food Eng.* 291, 110231. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110231.

Bakhshabadi H, Mirzaei H, Ghodsvali A, Jafari SM, Ziaifar AM, Farzaneh V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Indus Crops Prod* 97: 1–9.

Bakry AM, Abbas S, Ali B, Majeed H, Abouelwafa MY, Mousa A, Liang L. 2015. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15: 143-182. DOI: 10.1111/1541-4337.12179

Balasubramani P, Palaniswamy PT, Visvanathan R, Thirupathi V, Subbarayan A, Maran PJ. 2015. Microencapsulation of garlic oleoresin using maltodextrin as wall material by spray drying technology. *International Journal of Biological Macromolecules* 72: 210–217. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.08.011

Barba FJ, Parniakov O, Pereira SA, Wiktor A, Grimi N, Boussetta N, Saraiva JA, Raso J, Belloso OM, Rajchert DW, Lebovka N, Vorobiev E. 2015. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77(4): 773–798. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.09.015

Bermawie N, Purwiyanti S, Melati M, Meilawati NW. 2012. Karakter Morfologi, Hasil, dan Mutu Enam Genotip Lengkuas Pada Tiga Agroekologi. *Bul Littro*. 23 (2): 125-135. DOI: 10.21082/BULLITTRO.V23N2.2012.%P

Blainski A, Gisely CL, Joao CPM. 2013. Application and Analysis of the Folin Ciocalteu Method for the Determination of the Total Phenolic Content from *Limonium Brasiliense* L. *Molecules*, 18: 6852-6865. DOI: 10.3390/molecules18066852.

Boger BR, Sandra RG, Louise EK. 2018. Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. *Food Science and Technology*, 38(2): 263-270. DOI: 10.1590/fst.04417

Boudhrioua, N.; Bahloul, N.; Ben Slimen, I.; Kechaou, N. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. *Ind. Crop. Prod.* 2009, 29, 412–419.

Busch VM, Pereyra-Gonzalez A, Šegatin N, Santagapita PR, Ulrich NP, Buera MP. 2017. Propolis encapsulation by spray drying: characterization and stability. *LWT - Food Sci Technol*, 75: 227–35. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.08.055

Calvo P, Castaño AL, Lozano M, González-Gómez D. 2012. Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Journal Food Res. Int* 45(1): 256–261. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.10.036.

Campelo PH, Sanches EA, Fernandes RVB, Botrel DA, Borges SV. 2018. Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate



blends. *Journal Food Res. Int.* 105: 936–944. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.12.034

Canovas GB, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H. 2005. *Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality*. New York : Kluwer Academic/Plenum Publisher.

Cao X, Li N, Qi G, Sun XS, Wang D. 2018. Effect of spray drying on the properties of camelina gum isolated from camelina seeds. *Industrial Crops and Products*, 117, 278–285. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.03.017

Ceballos AM, Giraldo GI, Orrego CE. 2012. Effect of Freezing Rate on Quality Parameters of Freeze-Dried Soursop Fruit Pulp. *J. Food Eng.* 111: 360–365. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010

Cerdeira M, Martini S, Herrera ML. 2005. Microencapsulating properties of trehalose and of its blends with sucrose and lactose. *J. Food Sci.* 70, 401–408. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb11445.x

Chew SC, Tan CP, Nyam KL. 2018. Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using  $\beta$ -cyclodextrin/gum arabic/sodium caseinate. *J. Food Eng.* 237, 78–85. DOI:10.1016/J.JFOODENG.2018.05.016

Chordiya MA, Senthilkumaran K. 2012. Cyclodextrin in drug delivery: A review. *Res. Rev. Pharm. Sci* 1: 19-29.

Choviya H.L., Bambang S, Natalia E.J. 2011. Studi Komparasi Inaktivasi *Escherichia Coli* Dan Perubahan Sifat Fisik Pada Pasteurisasi Susu Sapi Segar Menggunakan Metode Pemanasan Dan Tanpa Pemanasan Dengan Kejut Medan Listrik. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol. 12 No.1 (April 2011) 31-39.

Cid-Ortega S, Jose AG. 2020. Microencapsulation of *Hibiscus sabdariffa* (Roselle) Extracts by Spray Drying Using Maltodextrin and Gum Arabic as Carriers. *Journal of Food Research*, 9(5): 53-66. DOI: 10.5539/jfr.v9n5p53

Cordeiro L, Pedro F, Helivaldo S, Aleson S, Francisco A, Dianne M, Jefferson N, Daniele S, Evandro M, Jose B, Edeltrudes L. 2020. Terpinen-4-ol as an Antibacterial and Antibiofilm Agent against *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 4531. DOI: 10.3390/ijms21124531

Damayanti R, Batubara I, Suparto IH. 2015. Essential Oil of Red Galangal (*Alpinia Galanga* (L) Willd) Rhizomes As Slimming Aromatherapy. *Int J Pharm Bio Sci*, 6(1): 283-289.

Dobrev A, Tintchev F, Heinz V, Schulz H, Toepfl S. 2010. Effect of pulsed electric fields (PEF) on oil yield and quality during distillation of white oil-bearing rose (*Rosa alba* L.). *Journal of Medicinal and Spice Plants*, 15(3): 127–135.

Du J, Zhen-Zhen G, Ze X, Bo Z, Ying Z, Chun-Mei L. 2014. Comparison of the Efficiency of Five Different Drying Carriers on the Spray Drying of Persimmon Pulp Powders. *Drying Technology*, 32: 1157-1166. DOI: 10.1080/07373937.2014.886259



- Edris AE, Danuta K, Janusz A, Marcin P. 2016. Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications. *Food Chemistry*, 204: 326-333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.143
- Estevinho BN dan Rocha F. 2018. Application of biopolymers in microencapsulation processes. *Biopolymers for Food Design*. Elsevier Inc., pp. 191–222. DOI: 10.1016/B978-0-12-811449-0.00007-4
- Fernandes RVB, Borges SV, Botrel DA. 2014. Gum Arabic / starch / maltodextrin / inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Journal Carbohydr.Polym* 101: 524–532. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.083.
- Florido, P.M., I. Andrade, M.C. Capellini, F.H. Carvalho, K.K. Aracava, C.C. Koshima, C. Rodrigues, and C.B. Gonçalves. 2013. Viscosities and densities of systems involved in the deterpenation of essential oils by liquid-liquid extraction: New UNIFAC-VISCO parameters. *The Journal of Chemical Thermodynamics* 72:152–160. DOI: 10.1016/j.jct.2013.11.026
- Francomano F, Anna C, Alexia B, Alessia F, Chiara LT, Jessica C, Rosanna M, Carmela S, Domenico I, Maria SS. 2019.  $\beta$ -Caryophyllene: A Sesquiterpene with Countless Biological Properties. *Applied Sciences*, 9: 5420. DOI: 10.3390/app9245420
- Gabas AL, Telis VRN, Sobral PJA, Telis-Romero J. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *J. Food Eng.* 82: 246–252. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.02.029
- Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Res Int* 40: 1107-1121. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.07.004
- Giorgio LD, Salgado PR, Mauri AN. 2019. Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying. *Food Hydrocolloids*, 87, 891–901. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.09.024
- Gonzalez-Ortega R, Faieta M, Mattia CDD, Valbonetti L, Pittia P. 2020. Microencapsulation of Olive Leaf Extract by Freeze-Drying: Effect of Carrier Composition on Process Efficiency and Technological Properties of The Powders. *Journal of Food Engineering*, 285. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110089
- Goodger J.Q.D., Senaratne S.L., Nicolle D., Woodrow I.E., 2016. Correction: Foliar Essential Oil Glands of *Eucalyptus* Subgenus *Eucalyptus* (Myrtaceae) Are a Rich Source of Flavonoids and Related Non-Volatile Constituents. *PLOS ONE*, 11(5): e0155568. DOI: 10.1371/journal.pone.0155568
- Gotama, B., Rahman, D. F., Aris, F. A. (2017). Intensifikasi proses penyulingan minyak atsiri dari daun jeruk purut dengan metode ultrasound following microwave assisted extraction (US-MAE). *Indonesian Journal of Essential Oil*, 2(1).
- Guenther E. 2006. *Minyak Atsiri*. Jilid I. Diterjemahkan oleh S. Ketaren. UI Press. Jakarta.





Gulcin I, Mahfuz E, Hassan YA. 2012. Antioxidant activity of clove oil – A powerful antioxidant source. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(4): 489-499. DOI: 10.1016/j.arabjc.2010.09.016

Gurak PD, Lourdes MCC, Maria HLL. 2013. Production of grape juice powder obtained by freeze-drying after concentration by reverse osmosis. *Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal*, 56(6): 1011-1017. DOI: 10.1590/S1516-89132013005000008

Harimurti N, Nhadira N, Sri YS, Sri Y. 2011. Effect of Oleoresin Concentration and Composition of Encapsulating Materials on Properties of The Microencapsulated Ginger Oleoresin Using Spray Drying Method. *Indonesian Journal of Agriculture*, 4(1): 33-39.

Hejazian M, Phanb DT, Nguyen NT. 2016. Mass transport improvement in microscale using diluted ferrofluid and a non-uniform magnetic field. *RSC Adv*. 6, 62439-62444. DOI: DOI:10.1039/C6RA11703A

Huang W, Feng Z, Aila R, Hou Y, Carne A, Bekhit AEA. 2019. Effect of pulsed electric fields (PEF) on physico-chemical properties,  $\beta$ -carotene and antioxidant activity of air-dried apricots. *Food Chemistry*, 291: 253-262. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.021

Ingvarsson PT, Yang M, Nielsen HM, Rantanen J, Foged C. 2011. Stabilization of liposomes during drying. *Expert Opinion on Drug Delivery* 8, 375-388. DOI: 10.1517/17425247.2011.553219

Jafari SM, Assadpoor E, He Y, Bhandari B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying technology*, 26(7), 816–835. DOI: 10.1080/07373930802135972

Jagtap DS, Varad VJ, Shruti GJ, Manoj BM. 2021. Selection of a Novel Manufacturing Process and Catalyst For The Production of Diacetone Alcohol. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8(5): 642-646.

Jalté M, Jean-Louis L, Nikolai IL, Eugene V. 2009. Freezing of potato tissue pre-treated by pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2): 576-580. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.09.007

Janositz A, Noack AK, Knorr D. 2011. Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (9): 1939–1945. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.04.006

Jelin F J, Kumar S S, Malini M, Vanaja M, Annadurai G. 2015. Environment-assisted green approach agnps by nutmeg (*Myristica fragrans*): inhibition potential accustomed to pharmaceuticals. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 2(3): 258-274.

Jia Y, Khalifa I, Hu L, Zhu W, Li J, Li K, Li C. 2019. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. *Food Bioprod. Process* 118: 67–76. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.08.018



Juergens UR. 2014. Anti-inflammatory Properties of the Monoterpene 1.8-cineole: Current Evidence for Co-medication in Inflammatory Airway Diseases. *Drug Research*, 64: 638-646. DOI: 10.1055/s-0034-1372609

Karam MC, Petit J, Zimmer D, Baudelaire E. 2016. Effects of Drying and Grinding in Production of Fruit and Vegetable Powders. A Review. *J. Food Eng.* 2016, 188: 32–49. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001

Karangutkar AV dan Ananthanarayan L. 2020. Co-crystallization of Basella rubra extract with sucrose: characterization of co-crystals and evaluating the storage stability of betacyanin pigments. *J. Food Eng.* 271, 109776. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109776.

Kha TC, Minh HN, Paul DR. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98(3): 385–392. DOI: Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder

Khaleel C, Nurhayat T, Gerhard B. 2018.  $\alpha$ -Terpineol, a natural monoterpene: A review of its biological properties. *Open Chemistry*, 16(1): 349-361. DOI: 10.1515/chem-2018-0040

Khasanah LU, Baskara KA, Titiok R, Rohula U, Godras JM. 2015. Pengaruh Rasio Bahan Penyalut Maltodekstrin, Gum Arab, dan Susu Skim Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Mikrokapsul Oleoresin Daun Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*). *Agritech*, 35(4): 414-421.

Kim C dan Kyung KC. 2008. Reliability-Based Design Optimization Using Response Surface Method With Prediction Interval Estimation. *Journal of Mechanical Design*, 130(12): 121401. DOI:10.1115/1.2988476

Kochuthressia K, Britto SJ, Raj LJM, Jaseentha MO, Senthilkumaran SR. 2010. Efficient regeneration of *Alpinia purpurata* (Vieill.) K.Schum. plantlets from rhizome bud explants. *Journal Int Res* 1(2): 43-47.

Korma SA, Wei W, Ali AH, Abed SM, Zheng L, Jin Q, Wang X. 2019. Spray-dried novel structured lipids enriched with medium-and long-chain triacylglycerols encapsulated with different wall materials: characterization and stability. *Food Res. Int.* 116: 538–547. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.08.071.

Kulkarni SJ. 2017. Various Aspects of Distillation with Emphasis on Modeling, Optimization and Simulations - a Review. *International Journal of Scientific Research in Chemistry*, 2(1): 1-4. DOI:10.32628/IJSRCH16121

Lely, N., Nurhasana, F., dan Azizah, M. 2017. Aktivitas Anti Bakteri Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) Terhadap Bakteri Penyebab Diare. *SCIENTIA*. 7(1):42-48.

Lin S, Guo Y, Liu J, You Q, Yin Y, Cheng S. 2011. Optimized enzymatic hydrolysis and pulsed electric field treatment for production of antioxidant peptides from egg white protein. *Afr J Biotechnol*, 10(55): 11648–11657.

Liu ZL, Yang K, Bai PH, Zhou L, Liu SL, Liu QZ. 2014. Gas Chromatography-Mass Spectrometric Analysis of Essential Oil of Aerial Parts of *Glycosmis parviflora*



(Sims) Little (Rutaceae). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 13(2): 275-280. DOI: 10.4314/tjpr.v13i2.17

Mahdavi SA, Jafari SM, Assadpoor E, Dehnad D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379–385. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011

Mahlinda, Muhammad DS. 2019. Distillation of Patchouli Oil Using Firewood and Liquefied Petroleum Gas as Fuel : Effects of Yield, Quality and Cost Analyses. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500 : 012059. DOI: 10.1088/1742-6596/1500/1/012059

Makouie S, Mohammad A, Omid M, Asghar K. 2019. Optimization of Wall Components for Encapsulation of Nigella Sativa Seed Oil by Freeze-Drying. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 3(1): 1-9.

Martin A, Varona S, Navarrete A, Cocero MJ. 2010. Encapsulation and co-precipitation processes with supercritical fluids: applications with essential oils. *The open chemical engineering journal*, 4: 31–41. DOI: 10.2174/1874123101004010031

Maulidna M, Basuki W, Tamrin T, Lamek M. 2020. Microencapsulation of ginger-based essential oil (*Zingiber cassumunar roxb*) with chitosan and oil palm trunk waste fiber prepared by spray-drying method. *Case Studies in Thermal Engineering*, 18: 100606. DOI: 10.1016/j.csite.2020.100606

Mehra R, Srivastava R, Shukla S, Mathew J, Mehra M. 2015. In-vitro Comparative Study on Antimicrobial Activity of five Extract of Few Citrus Fruit: Peel & Pulp vs Gentamicin. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(1): 165-173.

Mohamed, AM. 2018. UV-Visible Spectrophotometric Method and Validation of Organic Compounds. *European Journal of Engineering Research and Science*, 3(3): 8-11. DOI: 10.24018/ejers.2018.3.3.622

Mondello F, De Bernardis F, Girolamo A, Cassone A, Salvatore G (2006) In vivo activity of terpinen-4-ol, the main bioactive component of *Melaleuca alternifolia* Cheel (tea tree) oil against azole-susceptible and -resistant human pathogenic *Candida* species. *BMC Infect Dis* 6: 158.

Morais ARD, Alencar DN, Junio FHX, Oliveira CM, Marcelina HR, Barratt G, Fessi HE. 2016. Freeze-drying of emulsified systems: A review. *International Journal of Pharmaceutics* 503(1-2), 102-114. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2016.02.047

Nawi NM, Muhamad II, Marsin AM. 2015. The physicochemical properties of microwave-assisted encapsulated anthocyanins from *Ipomoea batatas* as affected by different wall materials. *Journal Food Sci Nutri* 3: 91–99. DOI: 10.1002/fsn3.132.

Nielsen SS. 2010. *Food Analysis. Food Science Texts Series*. Springer Science+Business Media USA. DOI: 10.1007/978-1-4419-1478-1\_6

Ningsih R, Sudarno S, Agustono A. 2019. The Effect of Maltodextrin Concentration on the Characteristics of Snappers' (*Lutjanus* sp.) Peptone. *IOP Conf.*



Series: Earth and Environmental Science, 236: 012127. DOI: 10.1088/1755-1315/236/1/012127

Noghabi MS dan Mohammad M. 2019. Microencapsulation optimization of cinnamon essential oil in the matrices of gum Arabic, maltodextrin, and inulin by spray-drying using mixture design. *Journal of Food Process Engineering*, e13341. DOI: 10.1111/jfpe.13341

Novaldi, Prismawiryanti, Hari J, Ys H. 2019. Mikroenkapsulasi Ekstrak Ampas Jahe Merah dari Hasil Pemisahan Minyak Jahe Merah. *Kovalen Jurnal Riset Kimia*, 5(1): 17-23. DOI: 10.22487/kovalen.2019.v5.i1.14563

Nugraheni KS, Khasanah LU, Utami R, Ananditho BK. 2016. Pengaruh Perlakuan Pendahuluan dan Variasi Metode Destilasi Terhadap Karakteristik Mutu Minyak Atsiri Daun Kayu Manis (*C. Burmanii*). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* 9(2): 51-64. DOI: 10.20961/jthp.v9i2.17466.

Ogrodowska D, Malgorzata T, Waldemar B, Sylwester C. 2017. Impact of the Encapsulation Process by Spray- and Freeze-Drying on the Properties and Composition of Powders Obtained from Cold-Pressed Seed Oils with Various Unsaturated Fatty Acids. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3): 241-252. DOI: 10.31883/pjfns/120314

Ogrodowska D, Malgorzata T, Waldemar B, Sylwester C. 2020. Impact of the Encapsulation Process by Spray- and Freeze-Drying on the Properties and Composition of Powders Obtained from Cold-Pressed Seed Oils with Various Unsaturated Fatty Acids. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3): 241-252. DOI: 10.31883/pjfns/120314

O'Neil MJ, Heckelman PE, Dobbelaar PH, Roman KJ, Kenny CM, Karaffa LS. 2013. *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. New Jersey: The Royal Society of Chemistry.

Ospina JD, Carlos DGT, Juan CMF, Manuel SSO. 2016. Relationship Between Refractive Index and Thymol Concentration in Essential Oils of *Lippia organoides Kunth*. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 32(2): 127-133.

Ozbek ZA dan Pelin GE. 2017. A review on encapsulation of oils. *Celal Bayar University Journal of Science*, 13(2): 293–309. 10.18466/cbayarjbs.313358.

Palmer-Young EC, Daniel V, Jonathan G, Meredith CS. 2015. The Sesquiterpenes (E)- $\beta$ -Farnesene and (E)- $\alpha$ Bergamotene Quench Ozone but Fail to Protect the Wild Tobacco *Nicotiana attenuata* from Ozone, UVB, and Drought Stresses. *PLoS ONE*, 10(6): e0127296. DOI:10.1371/journal.pone.0127296

Paoplook K, Mohammad NE. 2013. Impact of High Electric Field Pulses on Cell Disintegration and Oil Extraction from Palm Fruit Mesocarp. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2(3): 363-368.

Paula JP, Paulo VF, Joao LCR, Gisele MSS, Patricia MD, Roberto FA, Sonia FZ. 2007. In vivo evaluation of the mutagenic potential of estragole and eugenol chemotypes of *Ocimum selloi* Benth. essential oil. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26(6): 846–851.



Petrovic GM, Stojanovic GS, Radulovic NS. 2010. Encapsulation of Cinnamon oil in  $\beta$ -cyclodextrin. *J Med Plants Res* 14: 1382-1390. DOI: 10.5897/JMPR10.146.

Pieczykolan E, Kurek MA. 2109. Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. *Int. J. Biol. Macromol.* 129: 665–671. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.02.073.

Prajapathi ND, Purohit SS, Arun K S, Kumar T. 2003. A Handbook of medicinal plants. A complete source Book [M]. India: Agrobios.

Premi M, Sharma H. 2017. Effect of different combinations of maltodextrin, gum Arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *Int. J. Biol. Macromol.* 105: 1232–1240. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.160.

Pudziuelyte L, Marksa M, Sosnowska K, Winnicka K, Morkuniene R, Bernatoniene J. 2020. Freeze-Drying Technique for Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Ethanolic Extract Using Different Coating Materials. *Molecules*, 25(9): 2237. DOI: 10.3390/molecules25092237.

Puertolas E, Lopez N, Condon S., Alvarez I, Raso J. 2010. Potential applications of PEF to improve red wine quality. *Trends in Food Science & Technology*, 21(5): 247-255. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.02.002

Quispe-Condori S, Marleny DAS, Feral T. 2011. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. *LWT – Food Sci. Technology*, 44(9): 1880–1887. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.01.005

Rahardiyan D, Mario P, Emma MM. 2020. Physico-chemical Properties of Nutmeg (*Myristica fragrans* houtt) of North Sulawesi Nutmeg. *Fullerene Journ. Of Chem*, 5(1): 23-31.

Rassem HHA, Nour AH, Yunus RM. 2016. Techniques For Extraction of Essential Oils From Plants: A Review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(16): 117-127. DOI: 10.22214/ijraset.2018.3643

Rialita T, Winiati PR, Lilis N, Budi N. 2015. Aktivitas Antimikroba Minyak Esensial Jahe Merah (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*) dan Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) terhadap Bakteri Patogen dan Perusak Pangan. *Agritech*, 35(1): 43-52. DOI: 10.22146/agritech.9418

Rifai A, Firdaus, Soekamto NH. 2019. Purification and analysis of patchouli alcohol from patchouli oil by vacuum fractionation distillation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341, 052016. DOI: 10.1088/1742-6596/1341/5/052016

Row, L. C. M. and Ho, J. C. 2009. The Antimicrobial Activity, Mosquito Larvicidal Activity, Antioxidant Property and Tyrosinase Inhibition of Piper betle. *Journal of the Chinese Chemical Society*. 56(3):653-658.

Rustan AC, Christian AD. 2005. Fatty Acids: Structures and Properties. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1-7. John Wiley & Sons. DOI: 10.1038/npg.els.0003894

Salehi B, Shashi U, Ilkay EO, Arun KJ, Sumali LDJ, Daniel AD, Farukh S, Yasaman T, Natalia M, Navid B, William CC. 2019. Therapeutic Potential of  $\alpha$ - and  $\beta$ -

Pinene: A Miracle Gift of Nature. *Biomolecules*, 9(11): 1-37. DOI: 10.3390/biom9110738

Sanjaya IGM, Ismono I, Taufikurohmah T, Wardana AP. 2018. Phytochemical Properties of Skin Care Cream Containing Essential Oil of Galangal. *Advances in Engineering Research*, 171: 79-85. DOI: 10.2991/snk-18.2018.19

Santos BCS, Andressa SP, Celia HY, Mara RCC, Alex GT, Maria SA, Ana LSMA, Orlando VS. 2018. Methyl Chavicol and Its Synthetic Analogue as Possible

Setzer WN. 2008. Essential oil Composition of *Dendropanax gonatopodus* from Monteverde, Costa Rica. An ab initio Examination of Aromadendrane Sesquiterpenoids. *Natural Product Communications*, 3(9): 1557-1561. DOI: 10.1177/1934578X0800300932

Shapira S, Shlomo P, Diana K, Peter T, Nadir A. 2016. Terpinen-4-ol: A Novel and Promising Therapeutic Agent for Human Gastrointestinal Cancers. *PLOS ONE*, 11(6): e0156540. DOI: 10.1371/journal.pone.0156540

Sharma AD, Inderjeet K. 2020. Eucalyptol (1,8 cineole) from eucalyptus essential oil a potential inhibitor of COVID 19 corona virus infection by Molecular docking studies. Preprints, 202003045. DOI: 10.20944/preprints202003.0455.v1

Siemer, C., Toepfl, S. and Heinz, V. 2012. Distillation - Advances from Modeling to Applications. German Institute of Food Technologies, Germany

Silva FC, Carolina RF, Severino MA, Marcelo T, Julio CCB, Paola P, Carmen SFT. 2013. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum arabic and OSA starch-based carrier systems. *Food and Bioprocess Technology*, 9(1): 28–36. DOI: 10.1016/J.FBP.2012.08.006

Silva-Comar FMS, Luiz AMW, Saulo ESF, Raquel K, Raissa BP, Ricardo AS, Exedito LS, Ciomar ABA, Roberto KNC. 2014. Effect of estragole on leukocyte behavior and phagocytic activity of macrophages, Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, Article ID 784689: 1-7. DOI: 10.1155/2014/784689

Silva-Espinoza MA, Ayed C, Foster T, Camacho MM, Martinez-Navarrete N. 2020. The Impact of Freeze-Drying Conditions on the Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of a Freeze-Dried Orange Puree. *Foods*, 9: 32. DOI: 10.3390/foods9010032

Silve A, Leray I, Poignard C, Mir LM. 2016. Impact of external medium conductivity on cell membrane electroporation by microsecond and nanosecond electric pulses. *Sci Rep*. 6: 1-15. DOI: 10.1038/srep19957

Standar Nasional Indonesia. 2014. SNI 8028-1:2014: Alat Penyuling Minyak Atsiri - Bagian 1: Sistem Kukus – Syarat Mutu dan Metode Uji. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Su YC, Kuan-Ping H, Eugene IC, Chen-Lung H. 2013. The composition, anti-mildew and anti-wood-decay fungal activities of the leaf and fruit oils of *Juniperus formosana* from Taiwan. *Natural Product Communications*, 8(9): 1329-1332. DOI: 10.1177/1934578X1300800936



- Sudradjat, S. E. 2020. Minyak Kayu Putih, Obat Alami dengan Banyak Khasiat: Tinjauan Sistematis. *Jurnal Kedokteran Meditek*. 26(2): 51-59.
- Sujono H, Budiman S, Fudiesta Y, Sahroni A, Jamansyah J, Khumaisah LL. 2019. Antifungal activity of red galangal oil (*Alpinia purpurata* K. SCHUM) against *Malassezia furfur*. *Jurnal Kartika Kimia*, 2(2): 86-91. DOI: 10.26874/jkk.v2i2.40
- Sujono H, Budiman S, Fudiesta Y, Sahroni A, Jasmansyah J, Khumaisah LL. 2019. Antifungal Activity of Red Galangal Oil (*Alpinia purpurata* K. SCHUM) Against *Malassezia furfur*. *Jurnal Kartika Kimia*, 2(2): 89-91. DOI: 10.26874/jkk.v2i2.40
- Sukardi S, Mahendra NN, Arie FM, Sucipto S. 2016. Efek Pulsed Electric Field (PEF) Pada Rendemen dan Kualitas Minyak Bunga Melati (*Jasminum sambac*) (Kajian Rasio Bahan dan Pelarut). *Indonesian Journal of Essential Oil*, 1(1): 30 – 43. DOI: 10.21776/ub.ijeo.2016.001.01.04
- Sukardi, Rizka N, Maimunah HP. 2018. Ekstraksi Minyak Atsiri Bunga Mawar dengan Metode Pelarut Menguap Menggunakan Perlakuan PEF (*Pulsed Electric Field*). *Indonesian Journal of Essential Oil*. 3(1): 26-36.
- Supardan MD, Dewi E, Hesti M. 2013. Central composite design applied to purify lemongrass essential oil using vacuum distillation. *Proceedings of The 3rd Annual International Conference Syiah Kuala University*, 19-25. Banda Aceh: October 2-4.
- Timilsena, YP, Haque MA, Adhikari B. 2020. Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11: 481-508. DOI: 10.4236/fns.2020.116035
- Tolve R, Fernanda G, Nicola C, Nazarena C, Luigi L, Marisa CC. 2021. Optimization Model of Phenolics Encapsulation Conditions for Biofortification in Fatty Acids of Animal Food Products. *Foods*, 10, 881. DOI: 10.3390/foods10040881
- Tomson L, Ruta G, Zanda K, Vanessa D, Ingmars C. 2020. Microencapsulation of Horseradish (*Armoracia rusticana* L.) Juice Using Spray-Drying. *Foods*, 9: 1332. DOI: 10.3390/foods9091332
- Tonon RV, Carlos RFG, Miriam DH. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1): 282-289. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.10.018
- Turkez H, Basak T, Abdulgani T, Fatime G, Ahmet H. 2014. Cytotoxic and cytogenetic effects of  $\alpha$ -copaene on rat neuron and N2a neuroblastoma cell lines. *Biologia*, 69(7): 936-942. DOI: 10.2478/s11756-014-0393-5
- Tzima K, Nigel PB, James GL, Daniele F, Dilip KR. 2021. The effect of Pulsed Electric Field as a pre-treatment step in Ultrasound Assisted Extraction of phenolic compounds from fresh rosemary and thyme by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 69, 102644. DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102644



Velasco J, Dobarganes C, Marques-Ruiz G. 2003. Variables affecting lipid oxidation in dried microcapsulated oils. *Grasas Aceities*, 54: 304-314. DOI: 10.3989/gya.2003.v54.i3.246.

Victorio CP, Kuster RM, Lage CLS. 2009. Detection of flavon-oids in *Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum. leaves using high performance liquid chromatography. *Journal Rev Bras Plant Med Botucatu* 11(2): 147-153. DOI: 10.1590/S1516-05722009000200006

Villaflores OB, Macabeo APG, Gehle D, Krohn K, Franzblau SG, Aguinaldo AM. 2010. Phytoconstituents from *Alpinia purpurata* and their in vitro inhibitory activity against *Mycobacterium tuberculosis*. *Journal Pharmacog Mag* 6(24): 339-344. DOI: 10.4103/0973-1296.71785.

Wilkowska A, Wojciech A, Agata C, Janusz A. 2016. Effect of Microencapsulation by Spray-Drying and Freeze-Drying Technique on the Antioxidant Properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Juice Polyphenolic Compounds. *Polish Journal of Food Nutrition Science*, 66(1): 11–16. DOI: 10.1515/pjfn-2015-0015

Wu L, Yick K, Ng S, Yip J. 2012. Application of the Box–Behnken design to the optimization of process parameters in foam cup molding. *Expert Systems with Applications*, 39: 8059–8065. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.01.137

Yajun Z, Xue C, Zhang S, Yao G, Zhang L, Wang S. 2017. Effects of high intensity pulsed electric fields on yield and chemical composition of rose essential oil. *Int J Agric & Biol Eng*, 10(3): 295-301

Yuliawaty ST dan Wahono HS. 2015. Pengaruh Lama Pengeringan Dan Konsentrasi Maltodekstrin Terhadap Karakteristik Fisik Kimia Dan Organoleptik Minuman Instan Daun Mengkudu (*Morinda Citrifolia* L). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(1): 41-52.

Yustica FK, Widiastuti NI, Sapitri N, Fitriastuti D. 2019. Minyak Atsiri *Alpinia purpurata* (Zingiberaceae): Kandungan Kimia dan Formulasinya sebagai Krim Anti Jerawat. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 3(2): 14-21. DOI: 10.20885/ijcr.vol4.iss1.art3

Zderic A, Zondervan E, Meuldijk J. 2013. Breakage of Cellular Tissue by Pulsed Electric Field: Extraction of Polyphenols from Fresh Tea Leaves. *Chem. Eng. Trans.* 32, 1795-1800. DOI: 10.3303/CET1332300

Zhu C, Liu X. 2013. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from Pomegranate peel by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers* 92: 1197-1202. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.10.073



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisa Rendemen Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	0,033	0,033	0,037	0,103	0,034	0,001925
V2	0,050	0,063	0,043	0,157	0,052	0,010184
V3	0,040	0,043	0,040	0,123	0,041	0,001925
<b>Total</b>	<b>0,123</b>	<b>0,140</b>	<b>0,120</b>	<b>0,383</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,041</b>	<b>0,047</b>	<b>0,040</b>			

### Hasil ANOVA

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	0,000077	0,000038	1,05085	6,94
Perlakuan	2	0,000484	0,000242	6,64407	6,94
Galat	4	0,000146	0,000036		
Total	8	0,000706			

### Descriptives

Rendemen					95% Confidence Interval for Mean			
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
V1	3	.03433	.002309	.001333	.02860	.04007	.033	.037
V2	3	.05200	.010149	.005859	.02679	.07721	.043	.063
V3	3	.04100	.001732	.001000	.03670	.04530	.040	.043
Total	9	.04244	.009356	.003119	.03525	.04964	.033	.063

### Test of Homogeneity of Variances

Rendemen				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
4,325	2	6	.069	

### ANOVA

Rendemen					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	6,434	.032
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.001	8			



**Lampiran 2. Hasil Analisa Indeks Bias Minyak Atsiri Lengkuas Merah**

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	1,47935	1,47710	1,47835	4,43480	1,47827	0,001127
V2	1,48240	1,48290	1,48193	4,44723	1,48241	0,000485
V3	1,47989	1,47812	1,47837	4,43638	1,47879	0,000958
<b>Total</b>	<b>4,43864</b>	<b>4,43512</b>	<b>4,43565</b>	<b>13,30941</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>1,48055</b>	<b>1,47937</b>	<b>1,47955</b>			

**Hasil ANOVA**

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	0,000002	0,000001	1,963209	6,94
Perlakuan	2	0,0000731	0,000015	24,95629	6,94
Galat	4	0,000002	0,000001		
Total	8	0,000035			

**Descriptives**

Indeks Bias	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
V1	3	1.4782667	.00112731	.00065085	1.4754663	1.4810671	1.47710	1.47935
V2	3	1.4824100	.00048508	.00028006	1.4812050	1.4836150	1.48193	1.48290
V3	3	1.4787933	.00095793	.00055306	1.4764137	1.4811730	1.47812	1.47989
Total	9	1.4798233	.00210275	.00070092	1.4782070	1.4814396	1.47710	1.48290

**Test of Homogeneity of Variances**

Indeks Bias	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	.999	2	6	.422

**ANOVA**

Indeks Bias	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	18.891	.003
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			



**Hasil Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)**

Perlakuan	Rata-Rata Indeks Bias	R (p, df, α)	DMRT 5%	Notasi
V1	1,47827	3,93	0,00177	a
V2	1,48241	4,01	0,00181	b
V3	1,47879			a

Indeks\_Bias

Duncan<sup>a</sup>

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
V1	3	1.4782667	
V3	3	1.4787933	
V2	3		1.4824100
Sig.		500	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



**Lampiran 3. Hasil Analisa Densitas Minyak Atsiri Lengkuas Merah**

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	0,88008	0,88356	0,87994	2,64358	0,88119	0,00205
V2	0,88901	0,88870	0,88608	2,66380	0,88793	0,0016118
V3	0,88701	0,88701	0,88191	2,65593	0,88531	0,0029461
<b>Total</b>	<b>2,65611</b>	<b>2,65927</b>	<b>2,64793</b>	<b>7,96331</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,88537</b>	<b>0,88642</b>	<b>0,88264</b>			

**Hasil ANOVA**

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	0,000023	0,000011	5,649441925	6,94
Perlakuan	2	0,000069	0,000035	17,11051523	6,94
Galat	4	0,000008	0,000002		
Total	8	0,000100			

**Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
					V1	3	.8811933	.00205079
V2	3	.8879300	.00160963	.00092932	.8839315	.8919285	.88608	.88901
V3	3	.8853100	.00294449	.00170000	.8779955	.8926245	.88191	.88701
Total	9	.8848111	.00353778	.00117926	.8820917	.8875305	.87994	.88901

**Test of Homogeneity of Variances**

Densitas			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,428	2	6	.311

**ANOVA**

Densitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	6,711	.029
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			



### Hasil Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

Perlakuan	Rata-Rata Rendemen (%)	R (p, df, $\alpha$ )	DMRT 5%	Notasi
V1	0,88119	3,93	0,00323	a
V2	0,88793	4,01	0,00329	b
V3	0,88531			ab

#### Densitas

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
V1	3	.8811933	
V3	3	.8853100	.8853100
V2	3		.8879300
Sig.		.068	.207

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



Lampiran 4. Hasil Analisa Warna Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Warna L

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	17,92	18,03	18,13	54,08	18,03	0,11
V2	18,25	18,34	18,40	54,99	18,33	0,08
V3	18,16	18,21	18,24	54,61	18,20	0,04
<b>Total</b>	<b>54,33</b>	<b>54,58</b>	<b>54,77</b>	<b>163,68</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>18,11</b>	<b>18,19</b>	<b>18,26</b>			

Hasil ANOVA

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	0,032467	0,016233	15,21875	6,94
Perlakuan	2	0,139267	0,069633	65,28125	6,94
Galat	4	0,004267	0,001067		
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>0,176000</b>			

Descriptives

Warna L

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
V1	3	18,3300	,07550	,04359	18,1425	18,5175	18,25	18,40
V2	3	18,0267	,10504	,06064	17,7657	18,2876	17,92	18,13
V3	3	18,2033	,04041	,02333	18,1029	18,3037	18,16	18,24
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>18,1867</b>	<b>,14832</b>	<b>,04944</b>	<b>18,0727</b>	<b>18,3007</b>	<b>17,92</b>	<b>18,40</b>

Test of Homogeneity of Variances

Warna L

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,768	2	6	,505

ANOVA

Warna L

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,139	2	,070	11,374	,009
Within Groups	,037	6	,006		
<b>Total</b>	<b>,176</b>	<b>8</b>			



**Hasil Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)**

Perlakuan	Rata-Rata Warna L	R (p, df, α)	DMRT 5%	Notasi
V1	18,33000	3,93	0,07410	b
V2	18,02667	4,01	0,07561	a
V3	18,20333			b

Warna\_L

Duncan<sup>a</sup>

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
V2	3	18.0267	
V3	3		18.2033
V1	3		18.3300
Sig.		1.000	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



**Warna a**

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	0,72	0,54	0,32	1,58	0,53	0,20
V2	1,85	1,75	1,83	5,43	1,81	0,05
V3	0,93	0,87	0,58	2,38	0,79	0,19
<b>Total</b>	<b>3,50</b>	<b>3,16</b>	<b>2,73</b>	<b>9,39</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>1,17</b>	<b>1,05</b>	<b>0,91</b>			

**Hasil ANOVA**

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	0,099267	0,049633	3,503529	6,94
Perlakuan	2	2,751667	1,375833	97,11765	6,94
Galat	4	0,056667	0,014167		
Total	8	2,907600			

**Descriptives**

Warna a	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					V1	3		
V2	3	.5267	.20033	.11566	-.0290	1.0243	.32	.72
V3	3	.7933	.18717	.10806	-.3284	1.2583	.58	.93
Total	9	1.0433	.60287	.20096	-.5799	1.5067	.32	1.85

**Test of Homogeneity of Variances**

Warna a	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	1.793	2	6	.245

**ANOVA**

Warna a	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.752	2	1.376	52.939	.000
Within Groups	.156	6	.026		
Total	2.908	8			





**Hasil Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)**

Perlakuan	Rata-Rata Rendemen (%)	R (p, df, α)	DMRT 5%	Notasi
V1	1,81000	3,93	0,27006	b
V2	0,52667	4,01	0,27556	a
V3	0,79333			a

Warna\_a

Duncan<sup>a</sup>

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
V2	3	.5267	
V3	3	.7933	
V1	3		1.8100
Sig.		.089	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



**Warna b**

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata	SD
	1	2	3			
V1	10,20	12,28	13,66	36,14	12,05	1,74
V2	10,18	10,66	10,49	31,33	10,44	0,24
V3	9,78	9,77	9,61	29,16	9,72	0,10
<b>Total</b>	<b>30,16</b>	<b>32,71</b>	<b>33,76</b>	<b>96,63</b>		
<b>Rata-Rata</b>	<b>10,05</b>	<b>10,90</b>	<b>11,25</b>			

**Hasil ANOVA**

SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
Kelompok	2	2,285000	1,142500	1,166074	6,94
Perlakuan	2	8,507267	4,253633	4,341402	6,94
Galat	4	3,919133	0,979783		
Total	8	14,711400			

**Descriptives**

Warna b

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
V1	3	12.0467	1.74176	1.00561	7.7199	16.3734	10.20	13.66
V2	3	10.4433	.24338	.14051	9.8387	11.0479	10.18	10.66
V3	3	9.7200	.09539	.05508	9.4830	9.9570	9.61	9.78
Total	9	10.7367	1.35607	.45202	9.6943	11.7790	9.61	13.66

**Test of Homogeneity of Variances**

Warna b

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.775	2	6	.057

**ANOVA**

Warna b

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.507	2	4.254	4.114	.075
Within Groups	6.204	6	1.034		
Total	14.711	8			



### Hasil Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

Perlakuan	Rata-Rata Rendemen (%)	R (p, df, $\alpha$ )	DMRT 5%	Notasi
V1	12,04667	3,93	2,24593	b
V2	10,44333	4,01	2,29165	ab
V3	9,72000			a

Warna\_b

Duncan<sup>a</sup>

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
V3	3	9.7200	
V2	3	10.4433	10.4433
V1	3		12.0467
Sig.		.417	.102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



**Lampiran 5. Penentuan Perlakuan Terbaik**

Jumlah parameter : 6

Nilai  $\lambda$  :  $1 / \text{Jumlah Parameter} = 1 / 6 = 0,167$

Parameter	Alternatif		
	V1	V2	V3
<b>Rendemen</b>	0,034	0,052	0,041
<b>Indeks Bias</b>	1,47527	1,48241	1,47879
<b>Densitas</b>	0,88119	0,88793	0,88531
<b>Warna L</b>	18,03	18,33	18,20
<b>Warna a</b>	0,53	1,81	0,79
<b>Warna b</b>	12,05	10,44	9,72
DK Rendemen	0,654	1,000	0,788
DK Indeks Bias	0,995	1,00000	0,998
DK Densitas	0,992	1,000	0,997
DK Warna L	0,984	1,000	0,993
Dk Warna a	0,293	1,000	0,436
DK Warna b	1,000	0,866	0,807
1 - DK Rendemen	0,346	0,000	0,212
1 - DK Indeks Bias	0,005	0,000	0,002
1 - DK Densitas	0,008	0,000	0,003
1 - DK Warna L	0,016	0,000	0,007
1 - DK Warna a	0,707	0,000	0,564
1 - DK Warna b	0,000	0,134	0,193
$(1-DK)^2$ Rendemen	0,120	0,000	0,045
$(1-DK)^2$ Indeks Bias	0,0000	0,0000	0,0000
$(1-DK)^2$ Densitas	0,0001	0,0000	0,0000
$(1-DK)^2$ Warna L	0,000	0,000	0,000
$(1-DK)^2$ Warna a	0,500	0,000	0,318
$(1-DK)^2$ Warna b	0,000	0,018	0,037
$\lambda \times$ DK Rendemen	0,109	0,167	0,132
$\lambda \times$ DK Indeks Bias	0,16620	0,16700	0,16659
$\lambda \times$ DK Densitas	0,16573	0,16700	0,16651
$\lambda \times$ DK Warna L	0,164	0,167	0,166
$\lambda \times$ DK Warna a	0,049	0,167	0,073
$\lambda \times$ DK Warna b	0,167	0,145	0,135
<b>Total</b>	<b>0,821</b>	<b>0,980</b>	<b>0,838</b>
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Rendemen	0,003	0,000	0,001
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Indeks Bias	0,000	0,000	0,000
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Densitas	0,000	0,000	0,000
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Warna L	0,000	0,000	0,000
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Warna a	0,014	0,000	0,009
$\lambda^2 \times (1-DK)^2$ Warna b	0,000	0,000	0,001
<b>Total</b>	<b>0,017</b>	<b>0,000</b>	<b>0,011</b>

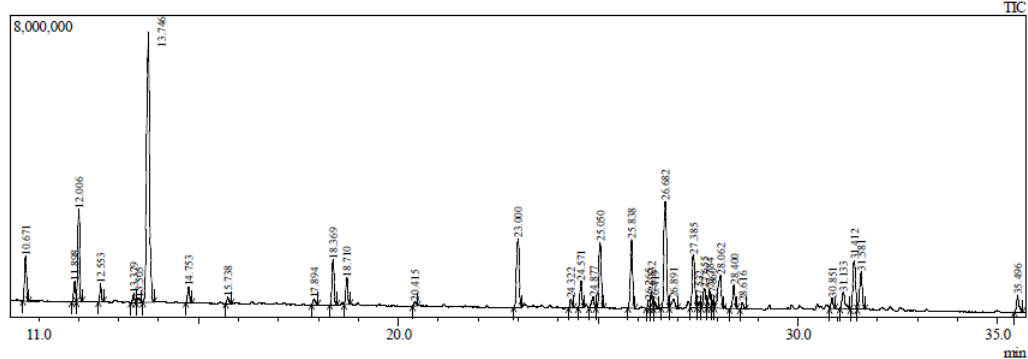


$\lambda \times (1 - DK)$ Rendemen	0,058	0,000	0,035
$\lambda \times (1 - DK)$ Indeks Bias	0,001	0,000	0,000
$\lambda \times (1 - DK)$ Densitas	0,001	0,000	0,000
$\lambda \times (1 - DK)$ Warna L	0,003	0,000	0,001
$\lambda \times (1 - DK)$ Warna a	0,118	0,000	0,094
$\lambda \times (1 - DK)$ Warna b	0,000	0,022	0,032
<b>Total</b>	<b>0,181</b>	<b>0,022</b>	<b>0,164</b>
L1	0,179	0,020	0,162
L2	0,000	0,000	0,000
L max	0,118	0,022	0,094
<b>Perlakuan terbaik</b>	<b>0,297</b>	<b>0,043</b>	<b>0,256</b>



## Lampiran 6. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah Perlakuan Kontrol

Chromatogram control 2 C:\GCMSsolution\Data\Project1\21062021\control 2.qgd



No.	Nama Komponen	Area %
1	Eucalyptol	27,35
2	Alloaromadendrene	0,67
3	$\beta$ -Farnesene	11,64
4	$\beta$ -Pinene	8,7
5	Chavicol	6,4
6	Terpinen-4-ol	4,31
7	Cis-Ocimene	4,01
8	Germacrene D	3,51
9	Caryophyllene	3,2
10	Nerolidol	3,03
11	$\beta$ -Elemene	2,98
12	$\alpha$ -Terpineol	2,7
13	Globulol	2,45
14	Methyl eugenol	2,13
15	$\gamma$ -Terpinene	1,93
16	$\beta$ -Myrcene	1,82
17	Sabinene	1,71
18	Isoeugenol	1,51
19	Patchouli alcohol	1,39
20	$\beta$ -Cedrene	1,14
21	Torreyol	1,08
22	Trans- $\alpha$ -Bergamotene	0,87
23	3,6-Dimethyl-4-octyn-3,6-diol	0,85
24	Neryl Acetate	0,76
25	Myrcenol	0,72
26	Germacrene B	0,62
27	$\alpha$ -Guaiene	0,57
28	$\beta$ -Patchoulene	0,53
29	3,8-Dimethylene-1-cyclooctene	0,51
30	Cyclohexene, 4-methyl-3-(1-methylethylidene)	0,41
31	Phenol, 2-(2-propenyl)- (CAS)	0,3
32	$\beta$ -Selinene	0,2



Lampiran 7. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah  
Perlakuan Tegangan 3000V

No.	Nama Komponen	Area%
1	Eucalyptol	29,03
2	$\alpha$ -Terpineol	14,18
3	Terpinen-4-ol	11,12
4	Chavicol	8,88
5	$\beta$ -Pinene	7,89
6	$\gamma$ -Terpinene	2,77
7	$\gamma$ -Elemene	2,63
8	Diacetone alcohol	2,47
9	$\alpha$ -Pinene	2,33
10	trans Isopiperitenol	2,17
11	trans-Carveol	1,78
12	Isoterpinolene	1,66
13	$\beta$ -Myrcene	1,63
14	$\alpha$ -Terpinene	1,49
15	Carveol	1,45
16	trans-Sabinyl acetate	1,34
17	cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	0,82
18	Fenchol	0,74
19	$\alpha$ -Phellandrene	0,71
20	Linalool	0,64
21	Bornyl acetate	0,6
22	p-cymenol	0,6
23	Sabinyl acetate	0,5
24	trans-3-Caren-2-ol	0,41
25	p-Menthatriene	0,29
26	cis-Piperitol	0,28
27	o-Xylene	0,28
28	Tetradecane	0,25
29	Ethylbenzene	0,21
30	1,2-Dimethoxybenzene	0,17
31	$\beta$ -Ocimene	0,16
32	Sabinene	0,14
33	Carvone	0,12
34	1,4-Dimethylpyrazole	0,09
35	6-Methyl-1,2,3,5,8,8a-hexahydronaphthalene	0,05
36	Cyclohexanedimethanol	0,05
37	Benzeneacetaldehyde	0,04
38	$\alpha$ -Thujene	0,02
39	(3,3-Dimethylbutyl)benzene	0,01







**Lampiran 8. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah**  
Perlakuan Tegangan 4000V

No.	Nama Komponen	Area%
1	Chavicol	9,04
2	Eucalyptol	8,99
3	$\beta$ -Famesene	8,67
4	$\alpha$ -Cadinol	7,85
5	$\beta$ -Copaene	6,52
6	Caryophyllene	5,77
7	Cadina-1(6),4-diene	5,24
8	$\beta$ -Elemene	4,89
9	$\gamma$ -Elemene	4,73
10	$\alpha$ -Terpineol	3,74
11	Terpinen-4-ol	3,19
12	Methyleugenol	2,84
13	cis- $\alpha$ -Bergamotene	2,39
14	$\alpha$ -Farnesene	2,12
15	$\beta$ -Pinene	2,06
16	Farnesyl butanoate	2,02
17	Globulol	1,83
18	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,6
19	Dihydrogalangal acetate	1,37
20	$\alpha$ -Bisabolol	1,28
21	Spathulenol	1,19
22	Lavandulol	1,15
23	Junenol	1,14
24	Bicyclosesquiphellandrene	1,13
25	Neointermedeol	0,98
26	$\gamma$ -Terpinene	0,93
27	Rosifoliol	0,72
28	Isoterpinolene	0,66
29	Eugenol	0,64
30	n-Pentadecanol	0,55
31	Copaene	0,53
32	Selina-3,7(11)-diene	0,47
33	trans- $\alpha$ -Bergamotol	0,46
34	Caryophylla-3(15),7(14)-dien-6-ol	0,42
35	$\gamma$ -Cadinene	0,42
36	$\gamma$ -Muurolene	0,39
37	trans Isopiperitenol	0,36
38	Carveol	0,35
39	Thujyl acetate	0,35
40	trans-Carveol	0,32





Lampiran 9. Hasil GC-MS Komponen Kimia Minyak Atsiri Lengkuas Merah  
Perlakuan Tegangan 5000V

No.	Nama Komponen	Area%
1	Eucalyptol	12,21
2	Chavicol	9,84
3	$\beta$ -Famesene	6,71
4	$\alpha$ -Cadinol	6,68
5	Caryophyllene	6,01
6	Cadina-1(6),4-diene	5,13
7	$\beta$ -Elemene	4,47
8	$\beta$ -Copaene	4,45
9	$\alpha$ -Terpineol	3,97
10	Terpinen-4-ol	3,59
11	1-Chlorooctadecane	3,56
12	$\beta$ -Pinene	3,43
13	Methyleugenol	3,13
14	cis- $\alpha$ -Bergamotene	2,03
15	$\beta$ -Bisabolene	1,93
16	Farnesyl butanoate	1,81
17	Dihydrogalangal acetate	1,79
18	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,5
19	Spathulenol	1,41
20	Junenol	1,4
21	$\gamma$ -Terpinene	1,36
22	Globulol	1,3
23	$\gamma$ -Maaliene	1,25
24	Geranyl acetate	1,17
25	Carvyl acetate	0,99
26	Alloaromadendrene	0,91
27	Isoterpinolene	0,86
28	$\gamma$ -Elemene	0,85
29	Selina-6-en-4-ol	0,79
30	Bergamotol, Z- $\alpha$ -trans-	0,59
31	Copaene	0,58
32	Rosifoliol	0,56
33	Coronarlin E	0,51
34	$\beta$ -Myrcene	0,49
35	$\alpha$ -Terpinene	0,44
36	$\gamma$ -Cadinene	0,39
37	$\gamma$ -Muurolene	0,33
38	trans-Carveol	0,31
39	Estragole	0,29
40	Thujyl acetate	0,28



Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

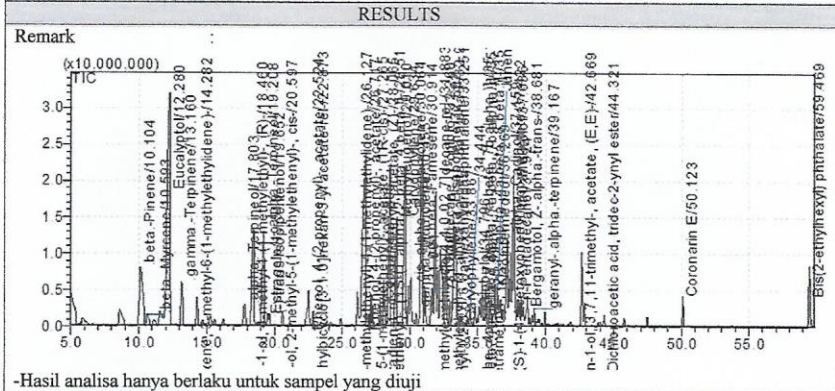
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

41	n-Pentadecanol	0,24
42	trans-Isopiperitenol	0,23
43	5,17-Octadecadien-1-ol acetate	0,23



UNIVERSITAS NEGERI MALANG  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)**  
 Jalan Semarang 5, Malang 65145  
 Telp. 0341-551312 (paw 200) 574895/ 085106001088  
 E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id  
 Website : central-laboratory.um.ac.id

<b>LAPORAN HASIL UJI</b>	
<b>LSUM.LHU.G.047.2021</b>	
<b>Customers</b>	: Sang Norma Lintang Asmara - UB
<b>Contact Customer</b>	: 085710663301/ email : norma.lintang@gmail.com
<b>Methods</b>	: IKM.G.1
<b>Test Equipment</b>	: GC-MS
<b>Received Date</b>	: 14 September 2021
<b>Order Number</b>	: LSUM.P.1063.2020
<b>SPECIMEN DESCRIPTION</b>	
<b>Condition of Samples</b>	: Sampel warna kuning jernih dalam botol kaca, diencerkan dengan acetone dengan FP 10X
<b>Sample Code</b>	: G 43
<b>Material Name</b>	: Minyak atsiri rimpang lengkuas merah V3
<b>Measurement time</b>	: 16 September 2021
<b>OPERATOR, ANALYZER &amp; SUPERVISOR</b>	
<b>Analyzer</b>	: Mailinda A.H., S.Si
<b>Supervisor</b>	: Dra. Surjani Wonorahardjo, Ph.D.



Mengetahui,  
Manajer Teknis

Dra. Surjani Wonorahardjo, Ph.D.  
NIP. 196605281991032001

Malang, 17 September 2021  
Menyetujui  
an Dekan  
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju FMIPA UM



Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D  
NIP. 197208152005011001

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository



**Lampiran 10.** Hasil Analisa Rendemen Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

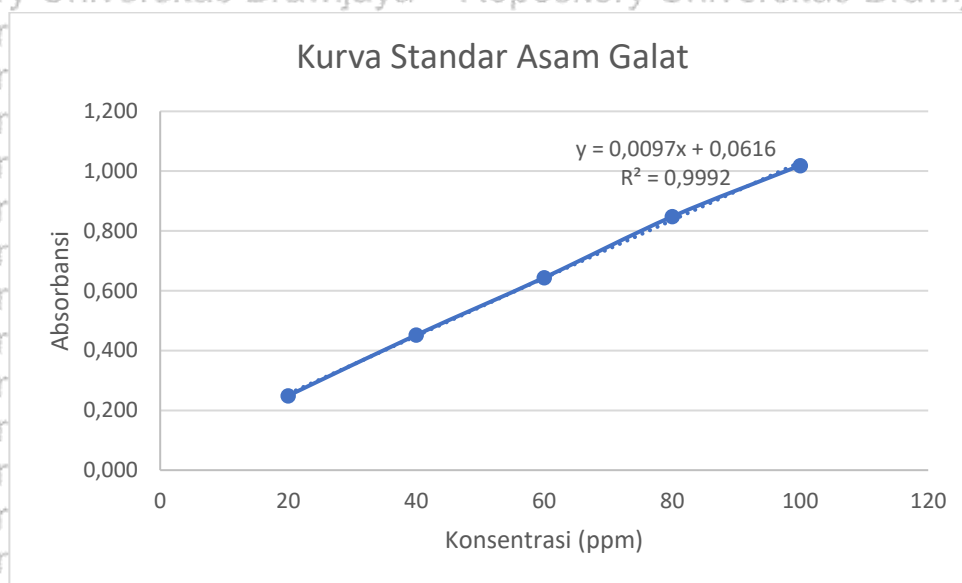
Perlakuan	Emulsi (ml)	Wadah (gr)	Wadah +	Berat	Rendemen (%)
			Sampel (gr)	sampel (gr)	
1	25	29	39,74	10,74	42,96
2	40	29	46,43	17,43	43,58
3	40	29	46,07	17,07	42,68
4	55	29	52,52	23,52	42,76
5	29,4	29	41,51	12,51	42,55
6	50,6	29	50,9	21,9	43,28
7	29,4	29	41,84	12,84	43,67
8	50,6	29	49,93	20,93	41,36
9	40	29	48,31	19,31	48,28
10	40	29	48,17	19,17	47,93
11	40	29	48,35	19,35	48,38
12	40	29	48,23	19,23	48,08
13	40	29	48,32	19,32	48,30

Lampiran 11. Penentuan Kurva Standar Asam Galat dan Perhitungan *Total Phenolic Content* Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

1. Hasil absorbansi asam galat dari masing-masing seri pengenceran:

Konsentrasi	Absorbansi
20	0,249
40	0,452
60	0,644
80	0,848
100	1,019

Kurva standar asam galat pada panjang gelombang 750 nm



2. Melalui data hasil absorbansi diperoleh kurva standar dengan rumus regresi sebagai berikut:

$$y = 0,0097x + 0,0616$$

x = konsentrasi total fenol ekuivalen asam galat (mg GAE/L)

y = hasil absorbansi sampel

3. Selanjutnya, nilai x dikonversi dalam satuan mg GAE/g ekstrak dengan rumus:

$$TPC = \frac{C \times V \times fp}{g}$$

Keterangan:

C = Nilai x yang diperoleh dari substitusi rumus regresi (mg GAE/L)

V = Volume ekstrak yang digunakan (L)



Fp = faktor pengenceran (100)  
 g = jumlah ekstrak yang digunakan (g)

4. Contoh perhitungan perlakuan 1:

Persamaan linier kurva standar  $y = 0,0097x + 0,0616$

Nilai bacaan spektrofotometer  $y = 0,095$

Konsentrasi bacaan spektrofotometer  $x = \frac{0,095 - 0,0616}{0,0097}$   
 $= 3,4433 \text{ mg/L}$

Perhitungan:

$$\text{TPC} = \frac{C \times Vx \times fp}{g}$$

$$= \frac{3,4433 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,0005 \text{L} \times 100}{0,01 \text{g}}$$

$$= 17,216 \text{ mg GAE/g}$$

Nilai tersebut berarti bahwa tiap gr mikroenkapsulasi yang dihasilkan mengandung setara atau ekuivalen dengan 17,216 mg asam galat.

**Hasil Analisa Total Phenolic Content Mikroenkapsulasi**

No.	Faktor		Rasio maltodekstrin	Rasio gum arab	Absorbansi	TPC (mg GAE/gr)
	X1	X2				
1	-1	-1	3.75	3.75	0,095	17,2165
2	1	-1	11.25	3.75	0,100	19,7938
3	-1	1	3.75	11.25	0,112	25,9794
4	1	1	11.25	11.25	0,084	11,5464
5	-1,414	0	2.20	7.50	0,121	30,6186
6	1,414	0	12.80	7.50	0,066	2,26804
7	0	-1,414	7.50	2.20	0,067	2,78351
8	0	1,414	7.50	12.80	0,073	5,87629
9	0	0	7.50	7.50	0,101	20,3093
10	0	0	7.50	7.50	0,104	21,8557
11	0	0	7.50	7.50	0,105	22,3711
12	0	0	7.50	7.50	0,103	21,3402
13	0	0	7.50	7.50	0,104	21,8557



**Lampiran 12.** Hasil Analisa Aktivitas Antioksidan IC<sub>50</sub> Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah

Perlakuan	b	Absorbansi		
		a	Kontrol / 2	IC50
1	-0,003612	1,8233	1,22	167,03
2	-0,003288	1,6402	1,094	166,12
3	-0,003360	1,4323	0,973	136,70
4	-0,003174	1,6426	1,094	172,84
5	-0,004640	1,8642	1,294	122,89
6	-0,003086	1,6611	1,087	186,03
7	-0,002244	1,5013	1,087	184,63
8	-0,001091	1,2784	1,087	175,44
9	-0,004079	1,8424	1,22	152,59
10	-0,003545	1,6164	1,087	149,34
11	-0,004281	1,9155	1,294	145,19
12	-0,003872	1,8043	1,22	150,90
13	-0,003813	1,7881	1,22	148,99





**Lampiran 13. Hasil Analisa Tingkat Kelarutan Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Lengkuas Merah**

Perlakuan	Bobot Mikro kapsul (a)	Bobot sampel tdk tersaring (b)	Bobot kertas saring	Kertas Saring + sampel	Kelarutan (%)
1	0,1	0,0155	0,6193	0,6348	84,5
2	0,1	0,017	0,6193	0,6363	83,0
3	0,1	0,0138	0,6272	0,641	86,2
4	0,1	0,0096	0,6193	0,6289	90,4
5	0,1	0,0179	0,6193	0,6372	82,1
6	0,1	0,0108	0,6272	0,638	89,2
7	0,1	0,0033	0,6272	0,6305	96,7
8	0,1	0,0081	0,6193	0,6274	91,9
9	0,1	0,0065	0,6272	0,6337	93,5
10	0,1	0,0066	0,6272	0,6338	93,4
11	0,1	0,0058	0,6193	0,6251	94,2
12	0,1	0,0061	0,6193	0,6254	93,9
13	0,1	0,006	0,6272	0,6332	94,0

## Lampiran 14. Hasil Verifikasi Optimasi Mikroenkapsulasi Minyak Rimpang Lengkuas Merah

Criteria		Solutions		Graphs				
Solutions		1	2	3	4	5	6	
<b>Constraints</b>								
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance		
A:Rasio Maltode	is in range	3.75	11.25	1	1	3		
B:Rasio Gum Ar	is in range	3.75	11.25	1	1	3		
Rendemen	is in range	41.3636	48.375	1	1	3		
Kadar Air	is in range	1.33	8.49	1	1	3		
TPC	maximize	2.26804	30.6186	1	1	4		
DPPH	minimize	122.888	186.034	1	1	4		
Tingkat kelarut	is in range	82.1	96.7	1	1	3		
<b>Solutions</b>								
Number	Rasio Maltode	Rasio Gum Ar	Rendemen	Kadar Air	TPC	DPPH	Tingkat kelar	Desirability
1	3.75	9.14	44.6931	5.64238	28.4248	131.281	86.5059	0.894
2	3.75	9.18	44.667	5.61815	28.4163	131.266	86.4896	0.894
3	3.75	9.08	44.7377	5.68379	28.437	131.315	86.5342	0.894
4	3.75	9.02	44.7807	5.72355	28.4459	131.355	86.5619	0.894
5	3.75	9.43	44.458	5.42257	28.3186	131.219	86.3643	0.893
6	3.75	9.71	44.2042	5.1831	28.1461	131.31	86.2214	0.889
6 Solutions found								

Solutions		1	2	3	4	5	6			
Factor	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.	Coding				
A	Rasio Maltode	3.75	3.75	11.25	0.000	Actual				
B	Rasio Gum Ar	9.14	3.75	11.25	0.000	Actual				
Response	Prediction	Std Dev	SE Mean	95% CI low	95% CI high	SE Pred	95% PI low	95% PI high	95% TI low	95% TI high
Rendemen	44.6931	0.356931	0.200264	44.2195	45.1666	0.409274	43.7253	45.6609	42.6614	46.7248
Kadar Air	5.64238	0.786793	0.441448	4.59852	6.68624	0.902175	3.50907	7.77568	1.16383	10.1209
TPC	28.4248	5.85563	3.28543	20.656	36.1936	6.71435	12.5479	44.3017	-4.90629	61.7559
DPPH	131.281	8.41932	4.72386	120.111	142.452	9.65401	108.453	154.109	83.3573	179.205
Tingkat kelarut	86.5059	3.16127	1.77371	82.3117	90.7	3.62487	77.9344	95.0773	68.5114	104.5

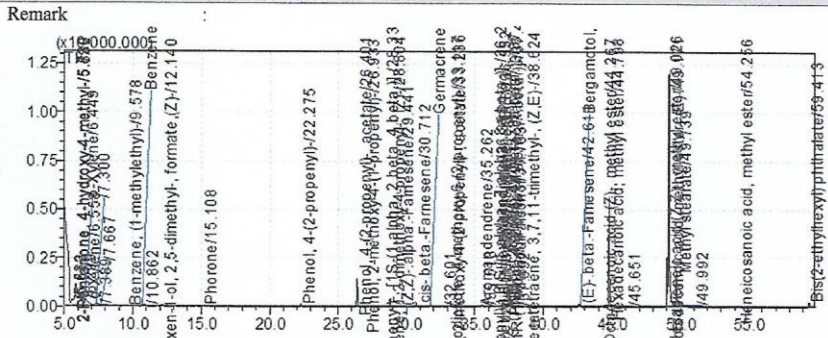
Solutions		1	2	3	4	5	6
<b>Confirmation Report</b>							
Two-sided		Confidence = 95%			n = 1		
Factor	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.	Coding	
A	Rasio Maltode	3.75	3.75	11.25	0.000	Actual	
B	Rasio Gum Ar	9.14	3.75	11.25	0.000	Actual	
Response	Prediction	Std Dev	SE (n=1)	95% PI low	95% PI high		
Rendemen	44.6931	0.356931	0.409274	43.7253	45.6609		
Kadar Air	5.64238	0.786793	0.902175	3.50907	7.77568		
TPC	28.4248	5.85563	6.71435	12.5479	44.3017		
DPPH	131.281	8.41932	9.65401	108.453	154.109		
Tingkat kelarut	86.5059	3.16127	3.62487	77.9344	95.0773		



Lampiran 15. Hasil Pengujian GC-MS Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah

Hasil Uji Perlakuan Kontrol

	UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)
	Jalan Semarang 5, Malang 65145 Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/ 085106001088 E-mail : laboratorijumsentralum@yahoo.co.id Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI	
LSUM.LHU.G.057.2021	
Customers	: Sang Norma Lintang Asmara - UB
Contact Customer	: 085710663301/ email : norma.lintang@gmail.com
Methods	: IKM.G.1
Test Equipment	: GC-MS
Received Date	: 07 Oktober 2021
Order Number	: LSUM.P.1152.2020
SPECIMEN DESCRIPTION	
Condition of Samples	: Sampel cairan tak berwarna dalam botol kaca, diencerkan dengan acetone fp 10X
Sample Code	: G 55
Material Name	: Kontrol
Measurement time	: 11 Oktober 2021
OPERATOR, ANALYZER & SUPERVISOR	
Analyzer	: Mailinda A.H., S.Si
Supervisor	: Dra. Surjani Wonorahardjo, Ph.D.
RESULTS	
Remark	: 
-Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji	

Mengetahui,  
Manajer Teknis



Dra.Surjani Wonorahardjo, Ph.D.  
NIP. 196605281991032001

Malang, 11 Oktober 2021

Menyetujui  
a.n Dekan  
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju FMIPA UM



Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D  
NIP. 197208152005011001



Peak	Nama Komponen	R. Time (menit)	Area%
1	Octane, 2-cyclohexyl-	5,533	0,22
2	Octane, 2-cyclohexyl-	5,612	0,70
3	Diacetone alcohol	5,730	0,63
4	Diacetone alcohol	5,832	10,28
5	Diacetone alcohol	6,299	0,50
6	o-Xylene	6,449	0,06
7	o-Xylene	6,558	1,53
8	o-Xylene	7,300	0,26
9	Nonane	7,389	0,78
10	Cyclohexane, 1-ethyl-4-methyl-, cis-	7,667	0,13
11	Cumene	9,578	0,15
12	1,2,4-trimethylbenzene	10,702	0,43
13	5-methyl-3-Heptanol	10,862	0,67
14	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexanone	12,140	0,55
15	Phorone	15,108	0,30
16	Chavicol	22,275	0,38
17	Chavicol	26,401	3,58
18	Isoeugenol	26,933	0,05
19	Elemene	28,336	0,1
20	Methyleugenol	28,804	0,99
21	$\alpha$ -Farnesene	29,441	0,07
22	$\beta$ -Farnesene	30,712	0,37
23	Germacrene D	31,725	0,08
24	Eucalyptol	32,601	0,05
25	Myristicin	33,117	0,08
26	Eugenol acetate	33,236	0,76
27	Alloaromadendrene	35,262	0,14
28	Pethylbrene	35,518	0,32
29	Alloaromadendrene	36,204	0,13
30	Germacrene D	36,393	0,05
31	Germacrene D	36,552	0,09
32	beta.-BERGAMOTENE	36,640	0,04
33	T-Cadinol	37,063	1,1
34	T-Cadinol	37,195	0,21
35	Chavicol	37,306	0,41
36	Alloaromadendrene	37,479	4,29
37	Patchouli alcohol	37,703	0,9
38	$\alpha$ -Farnesene	37,992	0,05
39	Eucalyptol	38,625	0,06
40	$\beta$ -Farnesene	42,611	0,41
41	Eucalyptol	42,717	0,04
42	Methyl oleate	44,267	0,09
43	Methyl hexadecanoate	44,798	14,89



44	n-Decanoic acid	45,651	0,05
45	Linoleate	49,026	6,71
46	Methyl oleate	49,171	39,47
47	Methyl stearate	49,739	5,56
48	Oleyl alcohol, trifluoroacetate	49,992	0,04
49	Methyl heneicosanoate	54,256	0,06
50	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	59,413	1,19
			100,00

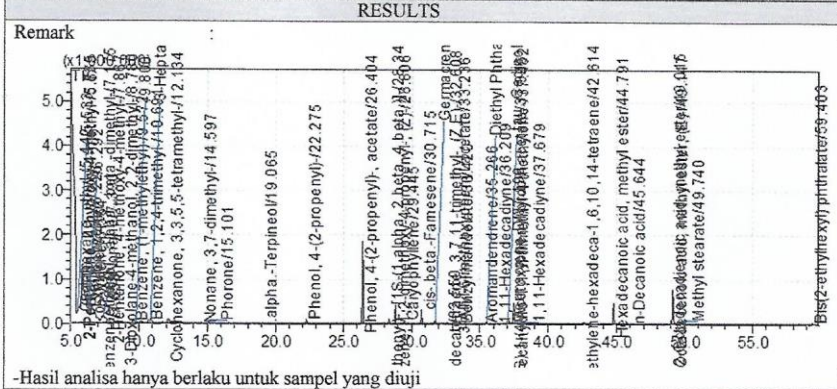
44	n-Decanoic acid	45,651	0,05
45	Linoleate	49,026	6,71
46	Methyl oleate	49,171	39,47
47	Methyl stearate	49,739	5,56
48	Oleyl alcohol, trifluoroacetate	49,992	0,04
49	Methyl heneicosanoate	54,256	0,06
50	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	59,413	1,19
			100,00

44	n-Decanoic acid	45,651	0,05
45	Linoleate	49,026	6,71
46	Methyl oleate	49,171	39,47
47	Methyl stearate	49,739	5,56
48	Oleyl alcohol, trifluoroacetate	49,992	0,04
49	Methyl heneicosanoate	54,256	0,06
50	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	59,413	1,19
			100,00



 UNIVERSITAS NEGERI MALANG  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
**LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)**  
 Jalan Semarang 5, Malang 65145  
 Telp. 0341-551312 (psw 200) / 574895 / 085106001088  
 E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id  
 Website : central-laboratory.um.ac.id

<b>LAPORAN HASIL UJI</b> <b>LSUM.LHU.G.058.2021</b>	
Customers	: Sang Norma Lintang Asmara - UB
Contact Customer	: 085710663301/ email : norma.lintang@gmail.com
Methods	: IKM.G.1
Test Equipment	: GC-MS
Received Date	: 07 Oktober 2021
Order Number	: LSUM.P.1152.2020
SPECIMEN DESCRIPTION	
Condition of Samples	: Sampel cairan tak berwarna dalam botol kaca, diencerkan dengan acetone fp 10X
Sample Code	: G 56
Material Name	: V2
Measurement time	: 11 Oktober 2021
OPERATOR, ANALYZER & SUPERVISOR	
Analyzer	: Mailinda A.H., S.Si
Supervisor	: Dra. Surjani Wonorahardjo, Ph.D.



Mengetahui,  
Manajer Teknis

Dra.Surjani Wonorahardjo, Ph.D.  
NIP. 196605281991032001

Malang, 11 Oktober 2021  
Menyetujui  
a.n Dekan.  
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju FMIPA UM

Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D  
NIP. 197208152005011001



Peak	Nama Komponen	R. Time (menit)	Area%
1	Octane, 2-cyclohexyl-	5,533	0,22
2	Octane, 2-cyclohexyl-	5,612	0,70
3	Diacetone alcohol	5,730	0,63
4	Diacetone alcohol	5,832	10,28
5	Diacetone alcohol	6,299	0,50
6	o-Xylene	6,449	0,06
7	o-Xylene	6,558	1,53
8	o-Xylene	7,300	0,26
9	Nonane	7,389	0,78
10	Cyclohexane, 1-ethyl-4-methyl-, cis-	7,667	0,13
11	Cumene	9,578	0,15
12	1,2,4-trimethylbenzene	10,702	0,43
13	5-methyl-3-Heptanol	10,862	0,67
14	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexanone	12,140	0,55
15	Phorone	15,108	0,30
16	Chavicol	22,275	0,38
17	Chavicol	26,401	3,58
18	Isoeugenol	26,933	0,05
19	Elemene	28,336	0,1
20	Methyleugenol	28,804	0,99
21	$\alpha$ -Farnesene	29,441	0,07
22	$\beta$ -Farnesene	30,712	0,37
23	Germacrene D	31,725	0,08
24	Eucalyptol	32,601	0,05
25	Myristicin	33,117	0,08
26	Eugenol acetate	33,236	0,76
27	Alloaromadendrene	35,262	0,14
28	Pethylbrene	35,518	0,32
29	Alloaromadendrene	36,204	0,13
30	Germacrene D	36,393	0,05
31	Germacrene D	36,552	0,09
32	beta.-BERGAMOTENE	36,640	0,04
33	T-Cadinol	37,063	1,1
34	T-Cadinol	37,195	0,21
35	Chavicol	37,306	0,41
36	Alloaromadendrene	37,479	4,29
37	Patchouli alcohol	37,703	0,9
38	$\alpha$ -Farnesene	37,992	0,05
39	Eucalyptol	38,625	0,06
40	$\beta$ -Farnesene	42,611	0,41
41	Eucalyptol	42,717	0,04
42	Methyl oleate	44,267	0,09
43	Methyl hexadecanoate	44,798	14,89



44	n-Decanoic acid	45,651	0,05
45	Linoleate	49,026	6,71
46	Methyl oleate	49,171	39,47
47	Methyl stearate	49,739	5,56
48	Oleyl alcohol, trifluoroacetate	49,992	0,04
49	Methyl heneicosanoate	54,256	0,06
50	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	59,413	1,19
			100,00

### Perbandingan Persentase Keseluruhan Senyawa

No.	Nama Komponen	Area %	
		Perlakuan Kontrol	Perlakuan V2
1.	Methyl oleate	39,56	6,87
2.	Methyl hexadecanoate	14,89	3,44
3.	Diacetone alcohol	11,41	31,36
4.	Linoleate	6,71	0,53
5.	Methyl stearate	5,56	0,59
6.	Alloaromadendrene	4,57	5,82
7.	Chavicol	4,36	15,26
8.	o-Xylene	1,85	1,97
9.	l-Cadinol	1,31	1,42
10.	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,19	0,33
11.	Methyleugenol	0,99	3,03
12.	Octane, 2-cyclohexyl-	0,92	0,89
13.	Patchouli alcohol	0,9	-
14.	Nonane	0,78	2,11
15.	$\beta$ -Farnesene	0,78	2,43
16.	Eugenol acetate	0,76	1,86
17.	5-methyl-3-Heptanol	0,67	2,2
18.	3,3,5,5-Tetramethylcyclohexanone	0,55	-
19.	Eucalyptol	0,48	1,96
20.	1,2,4-trimethylbenzene	0,43	1,88
21.	Phorone	0,30	0,87
22.	Germacrene D	0,22	0,74
23.	Cumene	0,15	0,75
24.	Cyclohexane, 1-ethyl-4-methyl-, cis-	0,13	0,39
25.	$\alpha$ -Farnesene	0,11	0,35
26.	Elemene	0,1	0,73
27.	Myristicin	0,08	0,11
28.	Methyl heneicosanoate	0,06	-
29.	Isoeugenol	0,05	-
30.	n-Decanoic acid	0,05	0,06
31.	Oleyl alcohol, trifluoroacetate	0,04	-
32.	$\beta$ -BERGAMOTENE	0,04	-
33.	1,3-Dimethylbenzene	-	5,24
34.	Cyclogeraniolane	-	2,41







Lampiran 16. Hasil Pengujian PSA Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah  
Mikrokapsul Kontrol



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Sample Name : Mikroenkapsulasi_K	Obscuration : 0 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 35.80 µm
Comments :	Diameter at 50% : 246.26 µm
-----	Diameter at 90% : 353.20 µm
-----	Mean diameter : 233.88 µm
Operator : BBG	Fraunhofer
Company : FMIPA-KIMIA UB	Density/Factor : -----
Location : MALANG	Specific surface : -----
Date : 10/06/2021 Time : 09:34:57AM	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Index meas. : 849	SOP name : Fraunhofer
Database name : CilasDB1	

Standards classes

in volume / undersize

Mikrokapsul V2



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Sample Name : Mikroenkapsulasi_V2	Obscuration : 0 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 150.34 µm
Comments :	Diameter at 50% : 249.49 µm
-----	Diameter at 90% : 358.67 µm
-----	Mean diameter : 243.17 µm
Operator : BBG	Fraunhofer
Company : FMIPA-KIMIA UB	Density/Factor : -----
Location : MALANG	Specific surface : -----
Date : 10/06/2021 Time : 09:37:39AM	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Index meas. : 850	SOP name : Fraunhofer
Database name : CilasDB1	

Standards classes

in volume / undersize



Lampiran 17. Dokumentasi Pelaksanaan Penelitian

Dokumentasi	Keterangan
	<p>Perajangan Rimpang Lengkuas Merah</p>
	<p>Penimbangan Hasil Rajangan Rimpang Lengkuas Merah</p>
	<p>Penerapan PEF pada Rimpang Lengkuas Merah</p>
	<p>Proses Destilasi Rimpang Lengkuas Merah</p>
	<p>Hasil minyak atsiri rimpang lengkuas merah</p>



Proses pembuatan emulsi untuk tahap mikroenkapsulasi



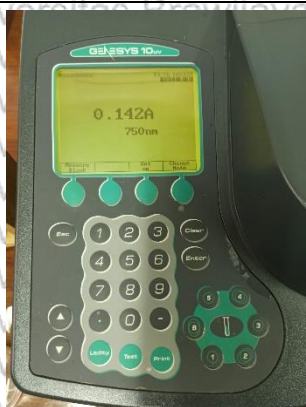
Proses mikroenkapsulasi dengan freeze dryer



Hasil mikrokapsul



Inkubasi sampel untuk pengukuran TPC dan DPPH



Pengukuran absorbansi dengan Spektrofotometri UV-Vis



Pengukuran Kadar Air