

**POTENSI PRODUKSI BERSIH DAN EKO-EFISIENSI
SERTA DIVERSIFIKASI PRODUK
PADA INDUSTRI MINYAK ATSIRI PALA
DI PROVINSI LAMPUNG**

DISERTASI

Oleh

**WIDIA RINI HARTARI
NPM : 2134171003**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2024**

**POTENSI PRODUKSI BERSIH DAN EKO-EFISIENSI
SERTA DIVERSIFIKASI PRODUK
PADA INDUSTRI MINYAK ATSIRI PALA
DI PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

WIDIA RINI HARTARI

DISERTASI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
DOKTOR

Pada

Program Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2024**

ABSTRAK

POTENSI PRODUKSI BERSIH DAN EKO-EFISIENSI SERTA DIVERSIFIKASI PRODUK PADA INDUSTRI MINYAK ATSIRI PALA DI PROVINSI LAMPUNG

Oleh

WIDIA RINI HARTARI

Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah intensifikasi tanaman pala dari kementerian pertanian, sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan dan menjadi produk unggulan jika dilihat dari produksi terbesar ke-3 dari Pulau Sumatera. Industri pengolahan pala menjadi minyak atsiri juga sudah cukup berkembang di daerah Pesawaran, dan Tanggamus, tetapi masih diolah dari bagian biji dan fuli pala. Padahal bagian lainnya seperti daun pala dan limbah penyulingan minyak atsiri pala dapat diolah menjadi produk yang bernilai jual tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi keefisiensi dan produksi bersih yang dalam industri penyulingan minyak atsiri, mengetahui karakterisasi dari minyak atsiri biji dan daun pala, serta diversifikasi dari limbah yang tidak banyak dimanfaatkan. Penelitian ini dilakukan melalui 5 tahap, tahap pertama dilakukan dengan melihat potensi keefisiensi di industri dengan survei langsung ke lapangan, tahap kedua dilakukan dengan karakterisasi minyak atsiri biji dan daun pala dengan mengidentifikasi senyawa kimia yang dikandung menggunakan GC-MS, tahap ketiga minyak atsiri (warna, bau, bobot jenis, indeks bias, kelarutan dalam alkohol, sisa penguapan, dan putaran optik), dan melihat aktivitas antioksidan (%) inhibisi dengan spektrofotometer UV-Vis. Tahap ketiga adalah pengujian aktivitas antimikroba minyak atsiri pala terhadap daya hambat bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus*. Tahap keempat adalah diversifikasi produk sabun padat dengan pemanfaatan limbah cair (air hidrosol pala) dan VCO, kemudian dianalisis nilai pH sabun yang dibuat. Tahapan kelima adalah diversifikasi limbah padat ampas pala menjadi Biopelet, dengan pengamatan (kadar air, kadar abu, nilai kerapatan, dan nilai kalor). Pengujian GC-MS, mutu, dan aktivitas antioksidan dianalisis secara Deskriptif, sedangkan untuk pengujian aktivitas antimikroba dan diversifikasi produk sabun dan biopelet disusun secara RAKL dengan 3 ulangan dan diuji lanjut BNT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teridentifikasi 12 senyawa kimia minyak atsiri biji pala padang cermin, senyawa tertinggi dengan luas are mencapai 64,905% adalah

Phenazine dan turunannya. Senyawa pada minyak atsiri biji pala Sungai Langka teridentifikasi 23 senyawa kimia, dengan 6,205% luas area menunjukkan senyawa dl-Laudanosoline hydrobromide pentacyclo. Selain itu teridentifikasi 28 senyawa kimia pada minyak atsiri daun pala Padang Cermin, yang didominasi oleh senyawa D-Streptamine mencapai 76,46% luas area. Senyawa kimia pada minyak atsiri daun pala dari Tanggamus teridentifikasi 24 senyawa yang didominasi senyawa Phenanthrene mencapai 56,95% luas area. Sampel minyak atsiri biji dan daun pala yang diambil memiliki mutu yang baik, dan terdapat aktivitas antioksidan yang tinggi yaitu 93,36% pada minyak atsiri biji pala Padang Cermin, 96,89% pada minyak atsiri biji pala Sungai Langka. Pada minyak atsiri daun pala padang cermin juga mengandung 94,74% aktivitas antioksidan, dan 88,65% pada minyak atsiri daun pala dari Tanggamus, yang tergolong tinggi. Aktivitas antimikroba yang terkandung pada minyak atsiri biji dan daun pala pada konsentrasi 100% juga tergolong daya hambat sangat kuat yaitu >20-30 mm, terhadap bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus*. Limbah cair berupa air hidrosol teridentifikasi 15 senyawa dengan senyawa dominan yaitu Di (2-ethylhexyl) adipate. Selain senyawa kimia, terdapat senyawa antioksidan saponin mencapai 0,05% dan aktivitas antioksidan mencapai 95,63%. Oleh karenanya air hidrosol dapat dikembangkan menjadi diversifikasi produk sabun. Produk sabun padat berbasis air hidrosol pala memiliki pH yang netral sekitar 7-8 yang mendekati pH kulit, sehingga aman untuk dipakai oleh kulit manusia. Pada pengolahan biopelet dari ampas penyulingan pala juga menunjukkan mutu yang baik dari kadar air, kadar abu, nilai kerapatan dan nilai kalor sesuai dengan standar SNI 8675:2018 tentang Biopelet, sehingga Biopelet yang diolah dapat menjadi alternatif bahan bakar pengganti kayu bakar di industri penyulingan minyak pala dan dapat menerapkan Ekoefisiensi.

Kata Kunci : Ekoefisien, Diversifikasi, Hidrosol, Minyak Atsiri, Antioksidan.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF CLEAN AND ECO-EFFICIENCY PRODUCTION AND PRODUCT DIVERSIFICATION IN THE NUTS ESSENTIAL OIL INDUSTRY IN LAMPUNG PROVINCE

**By
WIDIA RINI HARTARI**

Lampung Province is one of the nutmeg intensification areas of the Ministry of Agriculture, so it has the potential to be developed and become a superior product, as seen from the 3rd largest production on the island of Sumatra. The industry for processing nutmeg into essential oil is also quite developed in the Pesawaran and Tanggamus areas, but it is still processed from the nutmeg seeds and mace. In fact, other parts, such as nutmeg leaves and waste from refining nutmeg essential oil, can be processed into products with high selling value. This research aims to see the potential for eco-efficiency and clean production in the essential oil refining industry, then find out the characteristics of essential oil from nutmeg seeds and leaves, as well as diversification from waste that has not been widely utilized. This research was carried out in five stages. The first stage was carried out by looking at the potential for eco-efficiency in the industry with direct field surveys. The second stage was carried out by characterizing the essential oil of nutmeg seeds and leaves by identifying the chemical compounds contained using GC-MS, then the quality of the essential oil (color, odor, specific gravity, refractive index, solubility in alcohol, residual evaporation, and optical rotation), and looking at the antioxidant activity (%) inhibition with a UV-Vis spectrophotometer. The third stage was testing the antimicrobial activity of nutmeg essential oil against the inhibition of *E. coli*, *Salmonella typhi*, and *Staphylococcus aureus* bacteria. The fourth stage is the diversification of solid soap products by utilizing liquid waste (nutmeg hydrosol water) and VCO, then analyzing the pH value of the soap made. The fifth stage is the diversification of solid waste nutmeg dregs into biopellets with observations (moisture content, ash content, density value, and heating value). GC-MS testing, quality, and antioxidant activity were analyzed descriptively, while testing for antimicrobial activity and diversification of soap and biopellet products was prepared using RAKL with 3 replications and tested further by BNT. The results of the research showed that 12 chemical compounds in the essential oil of Padang Cermin nutmeg were identified; the highest compound with an area of 64.905% was phenazine and its derivatives. The compounds in the essential oil of rare river nutmeg seeds were identified as 23 chemical compounds, with 6.205% of the area showing the compound dl-Laudanosoline hydrobromide pentacyclo. Apart from that, 28 chemical compounds were identified in the essential oil of Padangmirr nutmeg leaves, which was dominated by the compound D-Streptamine, covering 76.46%

of the area. The chemical compounds in the essential oil of Tanggamus nutmeg leaves were identified as 24 compounds, dominated by phenanthrene compounds, covering 56.95% of the area. The samples of essential oil of nutmeg seeds and leaves taken were of good quality, and there was high antioxidant activity, namely 93.36% in the essential oil of Padang Cermin nutmeg seeds and 96.89% in the essential oil of Sungai Langka nutmeg seeds. Padang Cermin nutmeg essential oil also contains 94.74% antioxidant activity and 88.65% of the essential oil of Tanggamus nutmeg leaves, which is relatively high. The antimicrobial activity contained in the essential oil of nutmeg seeds and leaves at a concentration of 100% is also classified as having very strong inhibitory power, namely >20–30 mm, against *E. coli*, *Salmonella typhi*, and *Staphylococcus aureus* bacteria. In liquid waste in the form of hydrosol water, 15 compounds were identified, with the dominant compound being Di (2-ethylhexyl) adipate. Apart from chemical compounds, there are saponin antioxidant compounds reaching 0.05% and antioxidant activity reaching 95.63%. Therefore, hydrosol water can be developed through diversification. Nutmeg hydrosol water-based solid soap products have a neutral pH of around 7-8, which is close to the pH of the skin, so they are safe for use on human skin. The processing of biopellets from nutmeg distillation dregs also shows good quality in terms of water content, ash content, density value, and heating value in accordance with the SNI 8675:2018 standard concerning biopellets, so that the processed biopellets can be an alternative fuel to replace firewood in the oil refining industry. and can implement ecoefficiency.

Keywords: Ecoefficient, Diversification, Essential Oil of Nutmeg Seeds and Leaves, Hydrosol

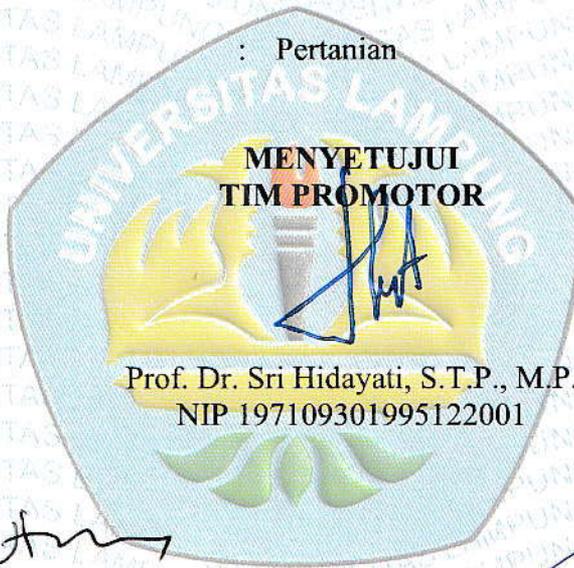
Judul Disertasi : Potensi Produksi Bersih dan Eko-Efisiensi Serta Diversifikasi Produk Pada Industri Minyak Atsiri Pala di Provinsi Lampung

Nama Mahasiswa : Widia Rini Hartari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2134171003

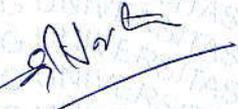
Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian

Fakultas : Pertanian

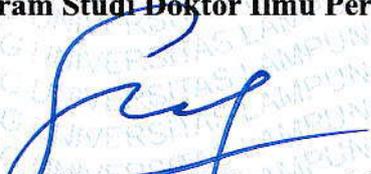


Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.
NIP 197109301995122001


Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.
NIP 196808071993031002


Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si.
NIP 197012202008122001

Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian


Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 196412231994031003

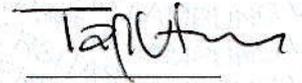
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.

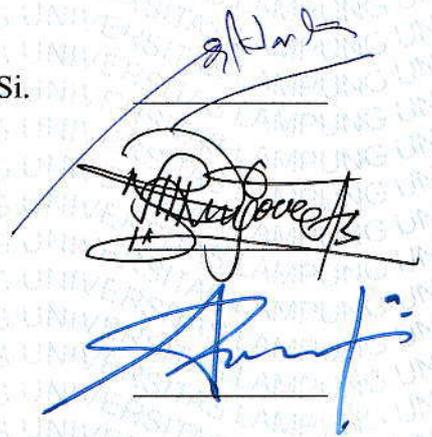
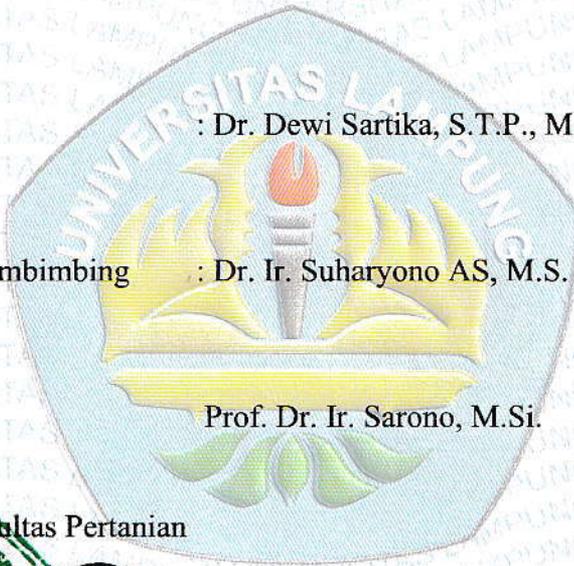


Anggota : Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Suharyono AS, M.S.

Prof. Dr. Ir. Sarono, M.Si.



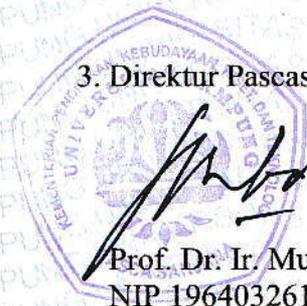
2. Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001



Tanggal Lulus Ujian: 21 Mei 2024

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 1 Juni 2024

Yang Menyatakan



WIDIA RINI HARTARI
NPM 2134171003

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Disertasi ini.

Dengan selesainya Disertasi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.Si., selaku ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian yang telah memberikan arahan dalam penyelesaian Disertasi ini.
5. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Promotor yang telah membimbing dan memberikan arahan saya dalam penulisan dan penyelesaian Disertasi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo., M.Si., selaku Ko-Promotor 1 yang telah membimbing dan memberikan arahan, serta bantuan dalam penyelesaian Disertasi ini
7. Ibu Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si., selaku Ko-Promotor 2 yang telah banyak memberikan pengarahan, saran, nasihat dan masukan dalam menyelesaikan Disertasi ini.
8. Bapak Dr. Ir. Suharyono., M.S., selaku penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam menyelesaikan Disertasi ini.

9. Bapak Prof. Dr. Ir. Saron, M.Si., selaku penguji eksternal dan sebagai Direktur Politeknik Negeri Lampung yang telah memberikan izin dan semangat dalam menempuh studi lanjut sampai selesainya Disertasi ini.
10. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan nasihat dalam penyelesaian Disertasi ini.
11. Ayah yang telah mendidik ku dan mengajarkan arti hidup sesungguhnya, semoga diri ini mampu menjadi pribadi yang berguna bagi keluarga, bangsa, dan negara. Ibu, Kakak, Adik tercinta yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan yang selalu menyertai penulis dalam do'anya untuk melaksanakan dan menyelesaikan Disertasi.
12. Suamiku tercinta Bigi Undadraja dan anak-anakku tersayang yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian Disertasi ini.
13. Pimpinan dan rekan-rekan kerja di Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan dan Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan
14. Seluruh teman-teman DIP 2021 dan teman-teman semua yang telah memberikan semangat selama ini.

Penulis berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka dan semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 1 Juni 2024

Penulis

Widia Rini Hartari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Nilai Kebaharuan dan Kedalaman.....	6
1.6. Hipotesis	7
1.7. Kerangka Pemikiran	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Tanaman Pala (<i>Myristica fragrans</i> Houtt).....	9
2.2. Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala	11
2.3. Senyawa Kimia Minyak Atsiri Pala Dengan GC-MS	13
2.4. Antimikroba Cemaran Bakteri	15
2.4.1. Antimikroba	15
2.4.2. Uji Aktivitas Antimikroba	16
2.4.3. <i>Staphylococcus aureus</i>	17
2.4.4. <i>Salmonella thypi</i>	18
2.4.5. <i>Escherichia coli</i>	19
2.4.6. Pewarnaan Gram Bakteri	20
2.5. Ekoeffisiensi, Ekonomi Sirkular dan Produksi Bersih	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	24

3.2. Bahan dan Alat	24
3.3. Pelaksanaan Penelitian	24
3.4. Pengamatan Penelitian	26
3.4.1. Survey Potensi Ekoefisiensi.....	26
3.4.2. Karakterisasi Minyak Atsiri Biji dan daun Pala.....	28
3.4.3. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala	32
3.4.4. Diversifikasi Sabun Air Hidrosol.....	34
3.4.5. Diversifikasi Biopellet Ampas Penyulingan Pala	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1. Potensi Ekoefisiensi Penyulingan Pala di Provinsi Lampung.....	38
4.2. Karakterisasi Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala Provinsi Lampung	42
4.2.1. Identifikasi Senyawa Aktif Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala.....	42
4.2.2. Mutu Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala	58
4.2.3. Aktivitas Antioksidan Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala	63
4.3. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala	64
4.3.1. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin ..	64
4.3.2. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka ...	69
4.3.3. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin	72
4.3.4. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Daun Pala Kota Agung	75
4.4. Diversifikasi Sabun Air Hidrosol Pala	78
4.4.1. Identifikasi Air Hidrosol Pala.....	78
4.4.2. Pembuatan Sabun Padat Berbasis Air Hidrosol	86
4.5. Diversifikasi Biopellet Ampas Pala.....	88
4.5.1. Pengolahan Biopellet Ampas Penyulingan Pala	88
4.5.2. Mutu Biopellet Ampas Penyulingan Pala	89
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	94
5.1. Simpulan.....	94
5.2. Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar Mutu Minyak Pala SNI 06-2388-2006	12
2. Penyulingan Pala Di Provinsi Lampung	26
3. Senyawa Kimia Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin	43
4. Senyawa Kimia Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka.....	45
5. Senyawa Kimia Pada Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin.....	50
6. Senyawa Kimia Minyak Atsiri Daun Pala Tanggamus.....	55
7. Mutu Minyak Atsiri Biji Pala.....	58
8. Mutu Minyak Atsiri Daun Pala	61
9. Aktivitas Antioksidan Minyak Atsiri Biji Pala dan Daun Pala.....	63
10. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	65
11. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>S. thypi</i>	66
12. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>S.aureus</i>	68
13. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	69
14. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>S.thypi</i>	70
15. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Biji Pala Terhadap Bakteri <i>S. aureus</i>	71
16. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	72
17. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>S. thypi</i>	73
18. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>S. aureus</i>	74
19. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	75
20. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>S. thypi</i>	77
21. Uji BNT Pengaruh Minyak Atsiri Daun Pala Terhadap Bakteri <i>S. aureus</i>	78
22. Senyawa Kimia Air Hidrosol	80
23. Total Saponin Air Hidrosol.....	83
24. Uji BNT Pengaruh Air Hidrosol Pala Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	84
25. Uji BNT Pengaruh Air Hidrosol Pala Terhadap Bakteri <i>S. thypi</i>	85
26. Uji BNT Pengaruh Air Hidrosol Pala Terhadap Bakteri <i>S. aureus</i>	85

27. Uji BNT Pengaruh Kelembaban (pH) Sabun Air Hidrosol Pala.....	87
28. Uji BNT Kadar Air Pada Biopellet Ampas Penyulingan Pala	89
29. Uji BNT Kadar Abu Biopellet Ampas Penyulingan Pala	90
30. Uji BNT Kerapatan (Densitas) Biopellet Ampas Penyulingan Pala.....	91
31. Uji BNT Nilai Kalor Biopellet Ampas Penyulingan Pala.....	92
32. Pengujian Zona Hambat Minyak Atsiri Biji Pala	113
33. Uji Zona Hambat <i>E.coli</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala PC.....	113
34. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	114
35. Analisis Ragam	114
36. Uji BNT.....	114
37. Uji Zona Hambat <i>Salmonella thypi</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala.....	115
38. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	115
39. Analisis Ragam	116
40. Uji BNT	116
41. Uji Zona Hambat <i>Staphylococcus aureus</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala PC.....	116
42. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	117
43. Analisis Ragam	117
44. Uji BNT	117
45. Uji Zona Hambat <i>E.coli</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala SL.....	118
46. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	118
47. Analisis Ragam	119
48. Uji BNT	119
49. Uji Zona Hambat <i>Salmonella thypi</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala SL...	119
50. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	120
51. Analisis Ragam	120
52. Uji BNT	120
53. Uji Zona Hambat <i>Staphylococcus aureus</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala SL.....	121
54. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	121
55. Analisis Ragam	122
56. Uji BNT	122

57. Pengujian Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala.....	122
58. Uji Zona Hambat <i>E.coli</i> Dengan Minyak Atsiri Daun Pala PC.....	123
59. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	123
60. Analisis Ragam	124
61. Uji BNT	124
62. Uji Zona Hambat <i>Salmonella thypi</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala.....	124
63. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	125
64. Analisis Ragam	125
65. Uji BNT	125
66. Uji Zona Hambat <i>Staphylococcus aureus</i> Dengan Minyak Atsiri Daun Pala PC.....	126
67. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	126
68. Analisis Ragam	127
69. Uji BNT	127
70. Uji Zona Hambat <i>E.coli</i> Dengan Minyak Atsiri Daun Pala T	127
71. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	128
72. Analisis Ragam	128
73. Uji BNT	128
74. Uji Zona Hambat <i>Salmonella thypi</i> Dengan Minyak Atsiri Biji Pala SL ...	129
75. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	129
76. Analisis Ragam	129
77. Uji BNT	130
78. Uji Zona Hambat <i>Staphylococcus aureus</i> Dengan Minyak Atsiri Daun Pala T	130
79. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	131
80. Analisis Ragam	131
81. Uji BNT	131
82. Pengujian Zona Hambat Air Hidrosol Pala	132
83. Pengujian Zona Hambat Air Hidrosol Terhadap <i>E.coli</i>	132
84. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	133
85. Analisis Ragam	133
86. Uji BNT	133

87. Pengujian Zona Hambat Air Hidrosol Terhadap <i>Salmonella thypi</i>	134
88. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	134
89. Analisis Ragam	135
90. Uji BNT	135
91. Pengujian Zona Hambat Air Hidrosol Terhadap <i>Staphylococcus aureus</i>	135
92. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	136
93. Analisis Ragam	136
94. Uji BNT	136
95. Pengujian Sabun VCO dan Air Hidrosol Pala	137
96. Pengujian pH Sabun Air Hidrosol Pala	137
97. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	137
98. Analisis Ragam	138
99. Uji BNT	138
100. Pengujian Mutu Biopellet Ampas Pala	138
101. Pengujian Kadar Air Biopellet Ampas Pala.....	139
102. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	139
103. Analisis Ragam	140
104. Uji BNT.....	140
105. Pengujian Kadar Abu Biopellet Ampas Pala	140
106. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	141
107. Analisis Ragam	141
108. Uji BNT.....	141
109. Pengujian Nilai Kerapatan Biopellet Ampas Pala	142
110. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	142
111. Analisis Ragam	142
112. Uji BNT.....	143
113. Pengujian Nilai Kalor Biopellet Ampas Pala.....	143
114. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Barlett's test</i>)	143
115. Analisis Ragam	144
116. Uji BNT.....	144
117. Jurnal Penelitian Minyak Atsiri Pala.....	145

118. Jurnal Penelitian Teknologi Bersih dan Ekoefisiensi Pada Industri Minyak Atsiri Pala.....	148
119. Jurnal Diversifikasi Produk Pala.....	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	8
2. (a) Pohon Pala, (b) Biji Pala utuh	10
3. <i>Staphylococcus aureus</i>	17
4. Sel <i>E.coli</i>	20
5. Diagram Alir Penyulingan Minyak Atsiri Biji Pala.....	27
6. Diagram Alir Penyulingan Minyak Atsiri Daun Pala	28
7. Diagram Alir Uji Antimikroba (Ernawati et al., 2016).....	33
8. Diagram Alir Pembuatan Sabun Hidrosol Pala (Modifikasi Torry, 2014)	34
9. Neraca Massa Penyulingan Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin	38
10. Neraca Massa Penyulingan Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka.....	39
11. Neraca Massa Penyulingan Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin	39
12. Neraca Massa Penyulingan Minyak Atsiri Daun Pala Kota Agung	40
13. Alternatif Solusi Eko-Efisiensi dari Aspek Lingkungan dan Ekonomi Industri Penyulingan Minyak Atsiri.....	42
14. Kromatogram Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin	43
15. Kromatogram Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka.....	45
16. Penampakan (a) daun pala dan (b) pohon pala.	49
17. Kromatogram Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin.	50
18. Kromatogram Minyak Atsiri Daun Tanggamus	55
19. Zona Hambat Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	66
20. Zona Hambat Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin Bakteri <i>Salmonella</i> <i>thypi</i>	67
21. Zona Hambat Bakteri Minyak Atsiri Biji Pala Padang Cermin <i>Staphylococcus aureus</i>	68

22. Zona Hambat Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	70
23. Zona Hambar Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka Terhadap Bakteri <i>Salmonella thypi</i>	71
24. Zona Hambat Minyak Atsiri Biji Pala Sungai Langka Terhadap Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	72
25. Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	73
26. Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala Padang Cermin Terhadap Bakteri <i>Salmonella thypi</i>	74
27. Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala Kota Agung Terhadap Bakteri <i>E.coli</i>	76
28. Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala Kota Agung Terhadap Bakteri <i>Salmonella thypi</i>	77
29. Zona Hambat Minyak Atsiri Daun Pala Kota Agung Terhadap Bakteri <i>Satphylococcus aureus</i>	78
30. Kromatogram GC-MS Air Hidrosol	80
31. Ampas Penyulingan Pala	88
32. Penyulingan Minyak Atsiri Padang Cermin	110
33. Minyak Atsiri Daun dan Biji Pala.....	110
34. Limbah Air Hidrosol dan Ampas Pala.....	111
35. Ampas Pala Yang Diayak 40 mesh, 60 mesh dan 80 mesh	111
36. Biopelet Dari Ampas Pala.....	111
37. Air Hidrosol dan Formulasi Sabun	112
38. Sabun Campuran Air Hidrosol dan VCO	112

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara Agraris yang kaya akan sumberdaya alam, salah satunya adalah tanaman pala. Indonesia menjadi negara penghasil pala terbesar di dunia. Luas areal perkebunan pala pada tahun 2022 mencapai 272.114 Ha, dan hasil produksi mencapai 39.955 ton (Ditjenbun, 2022). Hasil produksi pala sebagian besar berasal dari Perkebunan Rakyat, dan sisanya dari Perkebunan Besar Negara (PBN), dan Perkebunan Besar Swasta (PBS). Hasil produksi pala diperkirakan mengalami peningkatan mencapai 5,98% per tahun (Kementrian pertanian, 2022). Pala Indonesia memiliki market share di Uni Eropa, pada bagian pala dan bunga pala utuh sebesar 63,42% dan 77,74% sedangkan bagian pala dan bunga pala olahan sebesar 34,87% dan 47,75% (Prayogo *et al.*, 2022). Negara tujuan utama ekspor pala adalah China 6.444 ton atau 29.006 US\$, dan India 1.983 ton atau 28.461 US\$ (Ditjenbun, 2022) .

Provinsi Lampung menjadi salah satu daerah intensifikasi pala oleh Kementerian Pertanian tahun 2022, hal ini dikarenakan Lampung menjadi daerah penghasil pala terbesar ke tiga setelah Aceh dan Sumatera Barat, sehingga memiliki potensi untuk terus dikembangkan (Kementrian pertanian, 2022). Luas area perkebunan pala di Provinsi Lampung mencapai 2.444 Ha, dan hasil produksi mencapai 405 ton pada tahun 2022. Luas lahan usaha tani pala cenderung meningkat dengan rata-rata 25,33% (Ditjenbun, 2022). Sejak tahun 2011, Provinsi Lampung telah aktif mengekspor dengan jumlah volume sebesar 26 ton dan tahun 2017 sudah mencapai 28,10 ton (Dinas Perdagangan Provinsi Lampung, 2017). Sentra penghasil pala di Provinsi Lampung yaitu Kabupaten Tanggamus, Pesawaran dan

Lampung Timur. Ukuran area pertanian pala di Kabupaten Tanggamus seluas 789 hektar dengan tingkat produktivitas sekitar 680 kg/ha (Lestari *et al.*, 2019).

Tanaman pala terdiri dari pohon, akar, batang, daun, bunga, dan buah (Kapelle *et al.*, 2022). Bagian yang dijual petani adalah bagian buah pala yaitu biji pala kering dan bunga pala atau fuli pala (Kementrian pertanian, 2022). Harga biji pala dalam negeri pada tahun 2020 ± Rp 50.000/Kg, dan memiliki kenaikan ekspor pala pada tahun 2020 mencapai 22,82 ribu ton, dengan harga 158,42 juta US\$ (Ditjenbun, 2022). Harga fuli pala tahun 2022 mencapai Rp 200.000/kg dari petani pala di Provinsi Lampung, dan bagian biji pala dihargai sekitar Rp 35.000,00-Rp 60.000,00/kg (Lestari *et al.*, 2019). Produk turunan pala yang paling banyak diekspor ke negara lain adalah dalam bentuk biji pala dan bunga pala (fuli) tidak dihancurkan atau tidak ditumbuk, serta bentuk biji pala dan bunga pala (fuli) yang dihancurkan dan ditumbuk (Kementrian pertanian, 2022). Selain bentuk biji pala dan bunga pala (fuli), terdapat pengolahan minyak atsiri biji pala yang cukup banyak terdapat di Provinsi Lampung.

Penyulingan minyak atsiri di Provinsi Lampung terdapat di daerah Kabupaten Pesawaran yaitu ± 5 industri penyulingan minyak atsiri pala dengan kapasitas 1 ton, dan ± 2 industri penyulingan minyak atsiri pala yang berada di Kabupaten Tanggamus dengan kapasitas sekitar 200 kg. Minyak atsiri merupakan minyak yang dihasilkan dari ekstraksi tumbuhan rempah dengan metode Uap. Penyulingan metode Uap bertujuan untuk memecah kelenjar minyak pada tanaman, kemudian minyak padat yang diuapkan dipisahkan dari airnya (Radwan *et al.*, 2020). Penyulingan Uap merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan produksi minyak, karena uap membawa lebih banyak panas laten dibandingkan dengan uap jenuh pada kondisi setara (Liu *et al.*, 2018). Minyak atsiri adalah cairan pekat, hidrofobik (tahan air), dan lipofilik (larut dalam minyak atau lemak) yang berasal dari tanaman aromatik. Minyak atsiri mengandung berbagai senyawa aktif yang sering dimanfaatkan dalam industri farmasi, kosmetik, makanan, minuman, dan tekstil (Tafase, 2023). Terdapat lebih dari

3000 industri penyulingan kecil dan 200.000 petani yang tersebar di berbagai daerah di seluruh Indonesia (Dianne, 2022).

Industri penyulingan minyak atsiri, selain menghasilkan minyak atsiri sebagai produk utama, juga menghasilkan limbah yang jika tidak diolah akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah yang dihasilkan berupa limbah cair dan limbah padat. Permasalahannya adalah limbah-limbah tersebut belum dimanfaatkan, dan berpotensi mencemari lingkungan. Alternatif pemecahan masalah tersebut adalah penerapan keefisiensi. Survei awal yang dilakukan, didapatkan potensi penerapan produksi bersih dan keefisiensi dalam meningkatkan rendemen dan menghasilkan produk samping yang dapat menambah penghasilan industri, daripada hanya dibuang begitu saja seperti saat ini. Penerapan keefisiensi pada industri penyulingan minyak atsiri dapat membantu industri ini mengurangi penggunaan sumberdaya dan emisi gas rumah kaca, serta mengoptimalkan produksi dengan biaya yang lebih efisien (Boons *et al.*, 2013). Keefisiensi juga berhubungan dengan produksi bersih yang berkaitan dengan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan memanfaatkan kembali limbah industri yang dihasilkan, serta berhubungan dengan penerapan ekonomi sirkular yaitu pengelolaan terpadu terhadap nilai ekonomis kegiatan produksi dan memanfaatkan kembali limbah untuk diolah menjadi produk samping, sehingga dapat menjadi pendapatan tambahan, penerapan produksi yang bersih dan berkelanjutan (Dwiningsih dan Harahap, 2022).

Produk utama olahan minyak pala di Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran adalah minyak pala dari biji pala dan daun pala. Kandungan minyak atsiri pala dipengaruhi oleh bahan baku yang diolah dan faktor dari kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, sehingga komponen yang terkandung dalam tanaman pala berbeda setiap wilayah. Komponen senyawa yang dikandung pala juga bersifat antioksidan, komponen itu adalah miristicin (22,22%), 4-terpineol (14,45%), safrol (6,94%), sabinen (5,87%), α -pinene (5,45%), δ -limonen (3,88%) (Wibowo dan Febriani, 2018). Minyak pala memiliki sifat antioksidan, antikonvulsan,

analgesic, antiinflamasi, antidiabetik, antibakteri dan anti jamur (Asgarpanah dan Kazemivash, 2012). Kandungan senyawa aktif *terpen-4-ol* yang ada di pala dapat bersifat antimikrobia (Rastuti *et al.*, 2013). Ketinggian wilayah di Kabupaten Pesawaran daerah Padang cermin yaitu 248 m dpl, daerah Sungai langka yaitu 384 m dpl, serta daerah Kota agung mencapai 304 m dpl yang dapat mempengaruhi kandungan senyawa pala. Identifikasi karakteristik dan mutu minyak atsiri biji pala dan daun pala yang disuling di industri penyulingan minyak pala Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran, serta uji antioksidan dan antimikroba belum dilakukan. Hal ini guna memberikan informasi bahwa banyak potensi pengembangan produk minyak pala yang dapat dikembangkan (Diversifikasi Produk Pala).

Diversifikasi hasil pengolahan minyak pala dapat berupa produk utama minyak atsiri pala dan produk samping berupa air hidrosol (limbah cair sisa penyulingan), dan limbah padat berupa ampas penyulingan pala. Hal ini perlu dilakukan dalam rangka menerapkan Ekoefisiensi, sehingga semua hasil olahan dari pala dapat dimanfaatkan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimanakah potensi penerapan produksi bersih dan ekoefisien di industri minyak atsiri Pala di Provinsi Lampung?
2. Bagaimanakah karakterisasi minyak atsiri biji dan daun pala dengan identifikasi senyawa menggunakan GC-MS, kemudian minyak atsiri pala sesuai SNI 06-2388-2006, dan aktivitas antioksidannya?
3. Bagaimanakah pengaruh konsentrasi minyak atsiri biji dan daun pala terhadap daya hambat bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphilococcus aureus*?
4. Bagaimanakah karakterisasi air hidrosol dan pengaruh konsentrasi air hidrosol terhadap pH sabun padat berbasis air hidrosol?
5. Bagaimanakah pengaruh ukuran ayakan (mesh) ampas penyulingan pala terhadap karakteristik Biopellet?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengevaluasi potensi penerapan keefisiensi dan produksi bersih di industri minyak atsiri Pala di Provinsi Lampung
2. Mendapatkan karakterisasi dan mutu, serta aktivitas antioksidan minyak atsiri biji pala dan daun pala
3. Mendapatkan pengaruh konsentrasi minyak atsiri biji dan daun pala terhadap daya hambat *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphilococcus aureus*
4. Mendapatkan karakterisasi air hidrosol pala dan pengaruh konsentrasi air hidrosol terhadap pH sabun padat berbasis air hidrosol
5. Mendapatkan pengaruh ukuran ayakan (mesh) ampas penyulingan pala terhadap karakteristik Biopellet

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Menambah pengetahuan mengenai peluang implementasi produksi bersih dan keefisiensi di industri penyulingan minyak atsiri pala Provinsi Lampung, sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi dan pendapatan industri
2. Menambah pengetahuan mengenai karakterisasi minyak atsiri biji dan daun pala sebagai informasi yang dapat digunakan industri penyulingan minyak atsiri pala terhadap senyawa kimia, mutu dan aktivitas antioksidan yang ada
3. Menambah pengetahuan terhadap daya hambat minyak atsiri biji dan daun pala terhadap bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphilococcus aureus*
4. Menambah pengetahuan tentang karakterisasi air hidrosol pala dan Inovasi Produk berbasis air hidrosol menjadi sabun padat untuk mendukung pengembangan produk ramah lingkungan dan keberlanjutan
5. Inovasi Produk berbasis ampas penyulingan pala menjadi Biopellet sebagai bahan bakar alternative yang ramah lingkungan

1.5. Nilai Kebaharuan dan Kedalaman

1. Potensi ekoefisiensi penyulingan pala di Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran belum pernah dipublikasikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak daun pala menghasilkan minyak Industri penyulingan minyak atsiri pala memiliki rendemen minyak atsiri untuk biji pala padang cermin mencapai 14% atau 70 kg dari kapasitas 500 kg, pada industri Sungai langka menghasilkan rendemen 15% atau 150 kg dari kapasitas 1000 kg. Minyak atsiri daun pala memiliki rendemen yang rendah yaitu pada padang cermin hanya 0,7% atau 7 kg dari kapasitas 1000 kg, sedangkan pada industri kota agung menghasilkan rendemen mencapai 0,84% atau 2,52kg dari kapasitas 300 kg, sehingga limbah yang dihasilkan dari proses produksi dapat dimanfaatkan sebagai produk samping untuk menghasilkan produksi bersih.
2. Karakteristik minyak atsiri biji dan daun pala tergantung pada lokasi tempat tumbuh tanaman pala, untuk lokasi Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran belum pernah dilakukan karakterisasi, mutu, serta aktivitas antioksidan terhadap minyak dari biji dan daun pala. Ketiga sampel minyak atsiri yang diambil pada Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran memiliki karakterisasi, mutu dan aktivitas antioksidan yang berbeda
3. Pengujian terhadap kemampuan minyak atsiri biji dan daun pala yang berasal dari Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran belum dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak atsiri baik dari biji maupun daun pala memiliki kemampuan sebagai antimikroba pada konsentrasi diatas 25% sudah mampu menghambat bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus*.
4. Air hidrosol yang merupakan limbah penyulingan minyak pala, belum pernah dijadikan bahan baku pembuatan sabun padat. Air hidrosol mengandung 15 senyawa aktif yang didominasi senyawa Di (2-ethylhexyl) adipate dan aktivitas antioksidan mencapai 95,63%, sehingga dapat dikembangkan menjadi produk seperti sabun. Hasil pembuatan sabun air hidrosol formulasi NaOH 30% dan VCO dengan perbandingan 1:2 menghasilkan pH 7 dengan penambahan air hidrosol 3 ml- 4 ml dalam volume cetakan 20 ml.

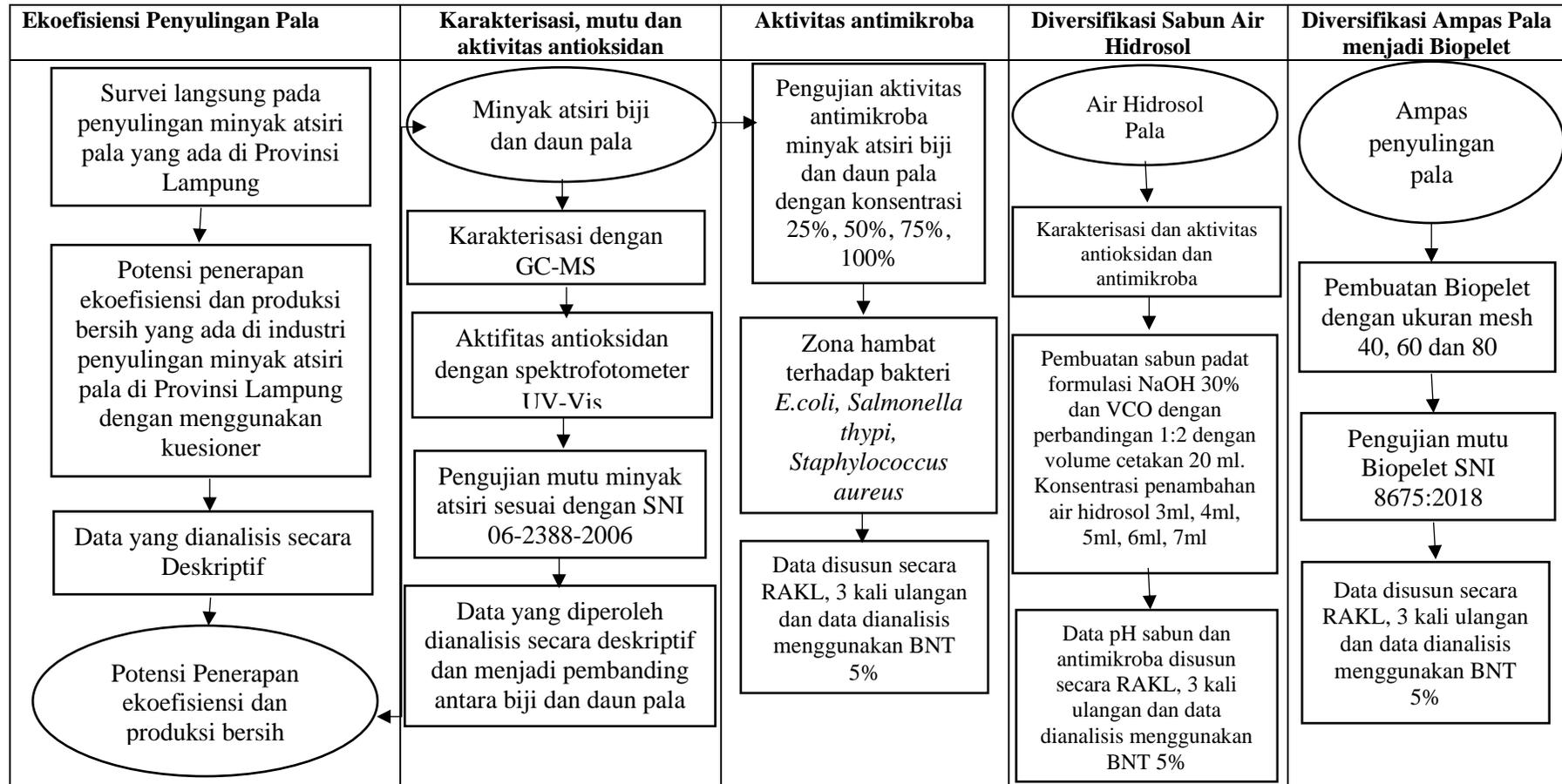
5. Pembuatan biopelet dari ampas pala belum pernah dilakukan, hasil penelitian dengan berbagai sekala (mesh) 40, 60, dan 80 menghasilkan mutu biopelet sesuai dengan SNI, tetapi dari nilai kalor yang dihasilkan yang terbaik dengan ukuran mesh 80.

1.6 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini yaitu:

1. Potensi penerapan keefisiensi dan produksi bersih di industri minyak atsiri Pala di Provinsi Lampung dapat dilaksanakan dengan mengolah limbah menjadi produk samping.
2. Karakterisasi senyawa kimia dan kesesuaian mutu minyak atsiri biji pala dan daun pala terhadap SNI, serta terdapat aktivitas antioksidan didalamnya.
3. Konsentrasi minyak atsiri biji dan daun pala 100% tertinggi dalam menghambat bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphilococcus aureus*.
4. Karakterisasi air hidrosol baik untuk dikembangkan menjadi sabun dan Konsentrasi air hidrosol 3 ml menghasilkan pH 7 pada sabun padat berbasis air hidrosol dan mendekati pH kulit.
5. Ukuran ayakan 80 (mesh) ampas penyulingan pala menghasilkan nilai kalor terbaik pada produk Biopelet.

1.7. Kerangka Pemikiran



Gambar 1. Kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Pala (*Myristica fragrans* Houtt)

Pala atau *Myristica fragrans* Houtt merupakan tanaman tropis yang masuk ke dalam jenis rempah yang menghasilkan biji pala dan aril. Pohon pala dapat tumbuh di daerah setinggi 9-20 meter dengan tipe percabangan menyebar. Bunga yang ada di pohon pala berwarna kuning pucat dengan panjang 1 cm. Tanaman pala terbagi menjadi varietas jantan, varietas betina, jenis *monoecious*, *trimonoecious*, telah diidentifikasi memiliki bunga hermaphrodit, bunga berkembang menjadi buah dengan ukuran 6 hingga 9 cm. Buah yang sudah matang akan pecah kemudian menunjukkan biji berwarna cokelat tua yang terbungkus oleh aril berwarna merah berukuran 2,5 cm (Soeroso, 2012). Tanaman ini spesies asli dari kepulauan Maluku Indonesia (Abourashed dan El-Alfy, 2016). Prakiraan jenis benih yang diperoleh didasarkan pada morfologi percabangan akar dan bibit, dengan perbandingan rasio prakiraan seks biji sebesar 3:1, 9:3:3:1 dan 9:6:1. Tipe seks betina cenderung mendominasi lebih banyak dibandingkan dengan jenis seks lainnya, terutama dalam perkembangan akar dan percabangan bibit (Soeroso, 2012).

Pohon pala umumnya akan memproduksi buah pala sepanjang tahun, namun panen raya akan terjadi pada bulan April hingga November. Biji pala diolah dengan cara dikeringkan terlebih dahulu dengan kadar air sebesar 12%. Setelah kering, biji akan berwarna cokelat, berbentuk telur dengan panjang 1,5 cm hingga 4,5 cm (Satuhu dan Yulianti, 2012). Biji pala dipanen setelah buahnya merekah dan telah jatuh dari pohonnya. Pala akan di keringkan selama seminggu dan cangkangnya akan dipecah. Terdapat tiga kualifikasi biji pala yaitu sound,

substandard dan distilling. Kualitas sound adalah biji pala yang digunakan sebagai rempah – rempah halus dan ekstraksi oleoresin. Biji pala biasa dipakai untuk mengobati rematik, kolera, psikosis, kram perut, mual muntah, diare, diare, perut kembung dan sebagai antidepresan. Berikut biji pala dapat dilihat pada Gambar 1.



(a) (b)
Gambar 2. (a) Pohon Pala, (b) Biji Pala utuh
Sumber : Data Primer

Senyawa-Senyawa kimia yang terkandung dalam biji pala bergantung pada kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, penyimpanan biji, usia biji dan metode analisis yang digunakan (Wandita, 2018). Di Indonesia, pala dalam kualitas ini dibagi menjadi golongan ABCD sesuai dengan ukuran bijinya yaitu jumlah biji pala dalam 1 kilogram yaitu Besar yang terdapat 120 butir isi biji, Sedang yang terdapat 150 butir biji dan Kecil yang terdapat 200 butir biji. Indonesia mengembangkan beberapa jenis pala yaitu:

1. *Myristica fragrans Houtt* adalah jenis pala asli pulau Banda, jenis ini mendominasi daripada jenis lain, baik dari segi mutu dan juga produktivitasnya. Tanaman pala Banda menyebar ke kepulauan Sangir, Talaud, Sumatera Selatan, Bengkulu, dan Bogor.
2. *M. agenta Warb* adalah pala asli Papua Barat, jenis ini juga dikenal dengan nama Papuanoot dan tumbuh di hutan. Jika dilihat dari segi mutu masih dibawah Pala Banda.
3. *M. Speciosa* adalah jenis asli dari pulau Bacan, dan tidak mempunyai nilai ekonomi.
4. *M. Succanea* adalah jenis asli dari pulau Halmahera, dan tidak mempunyai nilai ekonomi (Nurdjannah, 2007).

2.2. Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala

Minyak Atsiri adalah cairan hidrofobik yang mengandung aroma khas dari tanaman. Minyak ini disebut juga dengan minyak esensial, minyak volatil, minyak etereal, ataupun minyak tanaman. Minyak atsiri didapatkan dengan melakukan penyulingan terhadap bahan tanaman, baik itu akar, kayu, batang, buah, daun dan bunga. Penyulingan adalah proses yang memisahkan komponen cair berdasarkan perbedaan titik uap yang dimilikinya. Terdapat 3 cara penyulingan minyak atsiri yaitu dengan penyulingan air, penyulingan uap dan air serta penyulingan dengan uap (Hayani dan Gani, 2002).

Penyulingan minyak atsiri dengan metode penyulingan air dilakukan dengan melakukan kontak langsung antara bahan yang akan disuling dengan air mendidih. Metode yang kedua adalah penyulingan dengan uap dan air yaitu bahan dan air dipisahkan dengan saringan yang terletak dekat dengan permukaan air dalam dandang distilasi, sehingga kontak yang terjadi hanya antara bahan dan uap. Metode ini memiliki ciri khas uap yang terbentuk basah, jenuh serta hangat. Metode yang terakhir adalah metode penyulingan dengan uap, metode ini mirip dengan metode penyulingan dengan uap dan air namun bahan dan air terletak pada ketel yang berbeda. Uap yang dihasilkan dari metode ini memiliki tekanan yang lebih tinggi.

Penyulingan metode kedua (air dan uap) adalah metode yang kerap dilakukan untuk skala kecil sedangkan metode ketiga (uap) dilakukan pada industri skala besar (Hayani dan Gani, 2002). Menurut Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, (2011), secara umum, minyak atsiri pala didapatkan dengan metode distilasi air. Minyak pala memiliki warna bening sedikit kekuningan dengan kekuatan aroma sedang hingga kuat. Minyak pala memiliki deskripsi aroma yang kaya, pedas namun manis dengan sedikit rasa kayu, mirip dengan aroma rempah. Menurut Maya *et al.*, (2005) minyak atsiri yang terkandung dalam biji pala adalah dari 3,9 hingga 16,5% dari berat kering biji pala (w/w).

Minyak fuli baunya lebih tajam daripada minyak biji pala. Rendemen minyak biji pala berkisar antara 2–15% (rata-rata 12%), sedangkan minyak fuli antara 7-18% (rata-rata 11%). Berbagai faktor memengaruhi rendemen dan kualitas minyak yang dapat digolongkan menjadi dua yaitu pra panen dan pasca panen. Faktor pra panen meliputi jenis (varietas) tanaman, cara budidaya, waktu dan cara panen. Faktor pascapanen meliputi cara penanganan bahan, cara penyulingan, pengemasan dan transportasi. Fuli yang tua dan sudah merah warnanya, kandungan minyak atsirinya relatif rendah dan dimanfaatkan untuk ekspor (Nanan, 2007).

Minyak atsiri daun pala juga mempunyai potensi, walaupun belum banyak yang mengolahnya. Daun pala memiliki bau khas. Daun pala mengandung minyak atsiri, yang umumnya mengandung senyawa utama yaitu Sabinena (19.07%), α -pinena (18.04%), 4-terpeniol (11.83%), limonena (8.32%) dan β -pinena (7.92%) (Asgarpanah dan Kazemivash, 2012). Standar mutu minyak pala dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Mutu Minyak Pala SNI 06-2388-2006

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan		
	Warna	-	Tidak berwarna-kuning pucat
	Bau	-	Khas minyak pala
2	Bobot Jenis	-	0,880-0,9109
3	Indeks Bias	-	1,470-1,497
4	Kelarutan dalam etanol 90%	-	1:3 jernih seterusnya jernih
5	Putaran optic	-	+8 ^o sampai +25 ^o
6	Sisa penguapan	%	Maksimum 2,0
7	Meristisin	%	Minimum 10

Sumber : SNI 06-2388-2006

2.3. Senyawa Kimia Minyak Atsiri Pala Dengan GC-MS

GC atau Gas Chromatography merupakan metode analisis gas dan uap dari bahan dengan sifat volatil. Dasar pemisahan dengan metode GC berdasarkan waktu retensi masing-masing komponen individu saat bergerak melalui kolom (fase diam) oleh gas pembawa (fase gerak). Kolom (fase diam) yang digunakan umumnya terbentuk dari bahan metal atau kaca dan dipenuhi dengan bahan inert seperti beads kaca atau keramik sedangkan gas pembawa yang biasa dipakai adalah helium atau nitrogen. (Al-Bukhaiti *et al.*, 2017)

Sampel diinjeksikan melewati kolom GC yang merupakan metode pemisahan komponen yang paling unggul, kemudian dilanjutkan dengan Mass Spectrometry (MS) yang memberikan informasi tentang berat molekul dari bahan yang dianalisis. Kedua metode tersebut dikombinasi menjadi komponen kromatografi yang dinamakan GC-MS. Metode ini adalah metode yang kerap dipakai untuk melakukan analisis terhadap minyak atsiri. Metode GC-MS memiliki kelebihan yaitu dapat memisahkan komponen minyak atsiri yang paling kompleks dan dianalisis secara detail sehingga dapat diketahui komponen spesifik yang terdapat di dalam minyak atsiri (Astuti, 2019).

Sebanyak 60 komponen diidentifikasi dari minyak atsiri pala (*M. fragrans* Houtt). Eugenol dalam minyak atsiri biji pala (*Myristica fragrans* Houtt.) memiliki sifat menghambat terjadinya peroksidasi lipid serta memelihara aktivitas superoksida dismutase, katalase, glutathionin peroksidase, glutamin transferase dan glukosa-6-fosfat dehydrogenase. Komponen utama minyak atsiri Pala adalah miristicin (22,22%), 4-terpineol (14,45%), safrol (6,94%), sabinen (5, 87%), α -pinene (5,45%), δ -limonen (3, 88%) (Wibowo dan Febriani, 2018).

Fuli mengandung sekitar 20-30% lemak dan sekitar 7-18% minyak atsiri. Fuli merupakan ari berwarna merah tua yang melapisi biji dan berfungsi sebagai selaput jala. Kandungan senyawa miristin yang terdapat pada fuli lebih banyak 50% dari jumlah fuli (Ismiyarto dan Ngadiwiyanto, 2009).

Kandungan miristisin yang terdapat didalam minyak atsiri memiliki sifat sebagai Monoamine Oxidase Inhibitor (MAO-I) lemah dan memiliki struktur mirip dengan serotonin agonis yang akan meningkatkan aktivitas serotonin. Miristisin dapat menyebabkan terjadinya efek psikoaktif berupa halusinasi apabila dikonsumsi dalam dosis 1 hingga 2 mg atau sebanyak 5 gram bubuk biji pala (*Myristica fragrans* Houtt). Efek tersebut diduga karena terjadinya metabolisme miristisin menjadi metilendioksiamphetamin (MMDA) yang merupakan derivat dari amphetamine (Rahman *et al.*, 2015). Miristisin sangat bermanfaat dalam pencegahan terbentuknya tumor, dapat digunakan dalam teknik pingsan ikan ekspor sehingga kondisi ikan selalu segar selama transportasi dan mencegah terjadinya keracunan hati karbon tetraklorida pada tikus. Kemudian kandungan Elemisin juga bersifat halusinogenik. Standar Nasional Indonesia nomor 06-2388-2006 menetapkan standar miristin dari minyak pala minimum 10%, kemudian warna dari minyak pala tidak berwarna sampai kuning pucat dan bau khas minyak pala. Kemudian putaran optik berkisar pada $+8^{\circ}$ sampai dengan $+25^{\circ}$ dan indeks bias 1,470-1,497 sesuai SNI.

Kandungan terpineol dan safrol merupakan senyawa aktif yang bersifat antibakteri. Senyawa terpineol adalah salah satu turunan fenol yang memiliki mekanisme kerja sebagai antibakteri, berinteraksi dengan sel bakteri melalui proses adsorpsi yang melibatkan ikatan hidrogen. Dalam konsentrasi fenol yang rendah, terjadi pembentukan kompleks protein fenol dengan ikatan lemah yang cepat mengalami degradasi. Proses ini diiringi oleh masuknya fenol ke dalam sel, mengakibatkan denaturasi dan presipitasi protein. Ketika terdapat konsentrasi fenol yang tinggi, mampu menyebabkan koagulasi protein dan melisis membran sel (Ayunani *et al.*, 2018).

2.4. Antimikroba Cemaran Bakteri

2.4.1. Antimikroba

Antimikroba adalah zat yang mempunyai sifat membunuh bakteri terutama bakteri patogen yang merugikan manusia dan menyebabkan infeksi. Antimikroba mampu menekan atau bahkan mematikan bakteri dengan cara mengganggu metabolisme mikroba patogen. Suatu senyawa aktif disebut memiliki potensi yang tinggi sebagai antibakteri jika diketahui pada konsentrasi rendah memiliki daya hambat yang besar. Antibakteri yang mempunyai kualitas baik antara lain sebagai berikut:

1. Menekan pertumbuhan atau membunuh bakteri patogen
2. Tidak menyebabkan kerusakan inang
3. Tidak menyebabkan reaksi alergi pada tubuh inang
4. Selalu stabil saat disimpan pada bentuk padatan maupun bentuk cair
5. Mampu bertahan pada jaringan khusus pada tubuh dalam waktu yang lama
6. Membunuh bakteri patogen sebelum mengalami mutasi dan menjadi resisten (Shofiana, 2020).

Cara kerja dari antimikroba dalam Shofiana (2020) yaitu sebagai berikut :

1. Antimikroba menekan sintesis dinding sel : Dinding sel pada bakteri sangat penting untuk mempertahankan struktur selnya, sehingga substansi yang memiliki kemampuan merusak dinding sel dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dinding sel, memengaruhi bentuk dan struktur sel, dan pada akhirnya, mampu menyebabkan matinya sel bakteri tersebut. Antimikroba merusak membrane sel : Membran sel mempunyai fungsi penting dalam mengatur transportasi nutrisi dan metabolit yang dapat keluar masuk sel. Fungsi membran sel tempat berlangsungnya aktivitas biosintesis yang terjadi di dalam sel dan proses respirasi. Beberapa jenis antibakteri dapat mengganggu membran sel sehingga dapat mempengaruhi proses kerja sel bakteri.

2. Antimikroba menciptakan gangguan pada biosintesis asam nukleat, termasuk proses replikasi DNA yang merupakan siklus vital dalam kehidupan sel. Sebagian antibakteri dapat mengganggu metabolisme dari asam nukleat sehingga mempengaruhi keseluruhan fase pertumbuhan suatu bakteri.
3. Antimikroba menekan sintesis protein : Sintesis protein merupakan rangkaian proses yang terdiri dari proses transkripsi yaitu DNA ditranskripsi menjadi mRNA serta proses translasi yaitu mRNA ditranslasi menjadi protein. Konsentrasi terkecil yang dibutuhkan untuk membasmi 99,9% pertumbuhan bakteri disebut sebagai konsentrasi bunuh minimal (KBM) (Forbes, 2007).

2.4.2. Uji Aktivitas Antimikroba

Metode pengujian aktivitas antimikroba yang biasanya digunakan adalah metode Difusi dan Dilusi sebagai berikut:

1. Metode Difusi yang kerap digunakan adalah uji difusi cakram. Kertas cakram yang mengandung obat diletakkan di atas permukaan media padat yang sebelumnya telah diinokulasi/diberi bakteri uji. Diameter zona hambat disekitar kertas cakram diukur sebagai tingkat kekuatan inhibisi dalam melawan organisme uji, setelah di inkubasi (Jawet *et al.*, 2007). Metode difusi selanjutnya adalah metode lubang cetak (metode sumur). Metode sumur dilakukan dengan membentuk sumuran pada media padat yang sebelumnya telah diinokulasi oleh bakteri uji. Lalu lubang diisi dengan larutan uji. Pertumbuhan bakterinya diamati setelah inkubasi dengan mengamati keberadaan atau ketiadaan daerah hambatan di sekitar lubang. Kedua metode ini menggunakan jangka sorong untuk menghitung diameter area hambatan yang terbentuk.
2. Metode Dilusi yang biasanya digunakan adalah penapisan lempeng agar dengan membuat beberapa pengenceran dengan berbagai variasi konsentrasi. Hasil pengenceran tersebut dicampurkan dengan media agar yang sudah dicairkan dengan suhu 45°C - 50°C, perbandingan antara zat antibakteri dengan media yaitu satu bagian untuk larutan zat antibakteri tersebut dan sembilan bagian untuk media. Media yang telah dicampur tersebut dituang

kedalam cawan petri steril lalu dibiarkan hingga membeku. Setiap cawan petri ditumbuhkan dengan suspensi bakteri yang mengandung sekitar 10⁵-10⁶ CFU/ mL, lalu media cawan petri tersebut diletakkan dalam posisi terbalik serta diinkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam. Setiap pengenceran menggunakan kontrol negatif. Hasil pengamatan pada konsentrasi hambat minimal (KHM) dibaca sebagai konsentrasi terendah yang sanggup menghambat pertumbuhan mikroorganismenya, jika pertumbuhan bakteri tampak tidak jelas maka pertumbuhan bakteri tersebut dapat dibiakan (Shofiana, 2020).

2.4.3. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri dengan sifat gram positif dan jika diamati di bawah mikroskop akan tampak dalam bentuk bulat tunggal atau berpasangan, atau berkelompok seperti buah anggur (Ayu, 2014). Berikut Klasifikasi dari bakteri *Staphylococcus aureus* (Brooks, 2005):

Domain : *Bacteria*
Kingdom : *Eubacteria*
Divisi : *Firmicutes*
Class : *Cocci*
Ordo : *Bacillales*
Family : *Staphylococcaceae*
Genus : *Staphylococcus*
Spesies : *Staphylococcus aureus*



Gambar 3. *Staphylococcus aureus*
Sumber: Ayu (2014).

Staphylococcus aureus memiliki karakteristik sebagai bakteri gram positif dengan morfologi bulat dan diameter berkisar antara 0,7-1,2 μm , terdapat dalam tunggal dan berpasangan dan secara khas membelah diri pada lebih dari satu bidang sehingga menyusun gumpalan yang tak teratur, dan tidak diketahui adanya stadium istirahat. Dinding sel terdiri dari dua komponen utama, yakni peptidoglikan dan asam teikoat yang terkait dengannya. Metabolisme dengan respirasi dan fermentatif. Keadaan aerobik (anaerob fakultatif) bakteri tumbuh lebih banyak dan cepat. Suhu optimum 35 – 40⁰C. Terutama berasosiasi dengan kulit, dan selaput lendir hewan berdarah panas. Kisaran inangnya luas, dan banyak galur merupakan patogen potensial. Warna abu-abu hingga kuning keemasan halus, berbentuk bulat, berkilau dan menonjol pada koloni perbenihan padat. Pada suhu optimum 37⁰C bakteri mampu hidup, namun pembentukan pigmen paling baik berada di suhu kamar (20-25⁰C) (Fischetti *et al.*, 2000).

Staphylococcus aureus memiliki ketahanan terhadap panas dan pengeringan, bakteri dapat tetap hidup pada suhu 50⁰C selama 30 menit dan mampu hidup pada debu kering dan makanan yang didinginkan sampai membeku. Sifat khas *S. aureus* yang dipakai untuk membedakannya dengan *Staphylococcus* yang lain adalah kemampuan menciptakan enzim koagulase yaitu suatu enzim yang mampu membentuk grombolan plasma (Wahyuni, 2015).

2.4.4. *Salmonella thypi*

Theobald Smith menemukan *Salmonella* untuk pertama kalinya tahun 1885 pada tubuh babi dan terkenal atas hasil penelitiannya tentang anafilaksis. Nama *Salmonella* berasal dari Daniel Edward Salmon, seorang ahli patologi asal Amerika. (Ryan dan Ray, 2004). *Salmonella* merupakan genus bakteri enterobakteria. Bakteri yang berbentuk tongkat adalah bakteri gram negative bentuknya batang yang menyebabkan beberapa macam penyakit seperti tifoid, paratifoid, dan penyakit *foodborne* (Imelda, 2013). Bakteri *Salmonella typhi* adalah bakteri gram negative yang bergerak, tidak berkapsul, tidak membentuk spora, tetapi memiliki fimbria. Sifat bakteri yaitu aerob dan anaerob fakultatif.

Ukuran bakteri ini antara (2-4) x 0,6 μm . Bakteri *Salmonella typhi* dapat tumbuh optimum pada suhu 37°C dengan pH antara 6-8 (Imara, 2020).

Adapun Taksonomi dari bakteri *Salmonella typhi* yaitu:

Kingdom : *Bacteria (Eubacteria)*

Phylum : *Proteobacteria*

Class : *Gammaprotobacteria*

Ordo : *Enterobacteriales*

Family : *Enterobacteriaceae*

Genus : *Salmonella*

Species : *Salmonella typhi*

(Sumber : Imara, 2020).

Bakteri *Salmonella typhi* dapat menyebabkan penyakit infeksi sistemik akut yang disebut demam tifoid (Darmawati *et al.*, 2015). *Salmonella typhi* akan akan menghasilkan toksin yang dapat menyebabkan peradangan dan penumpukan cairan dalam usus. Bakteri yang berada di sel epitel akan menghasilkan enterotoksin yang peka terhadap suhu tinggi, dan ini akan memengaruhi sekresi air dan elektrolit, menyebabkan timbulnya diare (Sudoyo *et al.*, 2010). Bakteri ini terdapat pada makanan dan minuman yang terkontaminasi, serta feses penderita demam tifoid karier yang terbawa aliran air. Bakteri ini juga banyak menyerang daerah permukiman padat penduduk yang tidak menjaga kebersihan lingkungan (Ulya *et al.*, 2020).

2.4.5. *Escherichia coli*

Bakteri *E.coli* adalah bakteri koliform berbentuk batang, tidak membentuk spora, memiliki sifat gram negative dan fakultatif anaerob (Yang dan Wang, 2014). Genus *Escherichia*, yang merupakan keluarga *Enterobacteriaceae*, termasuk dalam *Escherichiae* dan pertama kali ditemukan pada tahun 1885 oleh seorang ahli bakteriologi Jerman bernama Theodor Escherich (Manning, 2010). Bakteri memiliki rentang ukuran antara 1.0 hingga 1.5 μm x 2.0 hingga 6.0 μm , dapat bersifat motil atau tidak motil dengan adanya flagela, mampu tumbuh baik dengan

atau tanpa keberadaan oksigen, bersifat fakultatif anaerobik, dan dapat bertahan di media yang mempunyai nutrisi yang rendah. Bakteri *E. coli* umumnya menghuni saluran pencernaan manusia atau hewan. *Escherichia coli* berkemampuan untuk bertahan dan hidup di lingkungan dengan tingkat keasaman yang tinggi di dalam tubuh manusia. Selain itu, *E. coli* juga dapat eksis di luar tubuh manusia, menyebar melalui feses, dan tumbuh optimal di berbagai lingkungan seperti air tawar, air laut, atau tanah (Rahayu *et al.*, 2018)



Gambar 4. Sel *E.coli*
Sumber : Manning, 2010

2.4.6. Pewarnaan Gram Bakteri

Identifikasi bakteri secara mikroskopik merupakan pengamatan bakteri di bawah mikroskop melalui pewarnaan gram. Pengamatan mikroskopis melalui pewarnaan gram bertujuan mengetahui bentuk dan ukuran bakteri sangat kecil (berukuran mikroskopis) yakni rata-rata berukuran lebar 0,5-1 mikron dan panjang hingga 10 mikron (1 mikron = 10⁻³mm), karena ukurannya yang sangat kecil itu dibutuhkan zat warna yang bisa mengisi tubuhnya agar bisa diamati bentuknya (Safitri, 2019). Christian Gram seorang ahli bakteriologi Denmark menemukan suatu pewarnaan bertingkat yang dinamakan pewarnaan Gram. Pewarnaan Gram dibedakan menjadi dua bagian, yakni bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif berwarna ungu disebabkan oleh kompleks warna kristal violet-iodium yang tetap dipertahankan meskipun diberi zat peluntur (dekolorisasi). Gram negatif berwarna merah disebabkan oleh kompleks warna larut saat dilakukan proses dekolorisasi yang kemudian mengambil warna pada zat warna kedua yang berwarna merah yakni safranin. Perbedaan yang tersebut disebabkan karena perbedaan struktur dinding sel kedua bakteri tersebut.

Bakteri gram negatif memiliki 3 lapisan dinding sel. Lapisan terluar terdiri dari lipopolisakarida (lipid) kemungkinan tercuci alkohol saat proses dekolorisasi, sehingga pada saat diwarnai menggunakan safranin akan berwarna merah. Bakteri gram positif mempunyai lapisan sel berbentuk peptidoglikan yang tebal. Pewarnaan menggunakan kristal violet pori-pori dinding sel mengecil dikarenakan proses dekolorisasi, sehingga saat dilakukan pewarnaan menggunakan safranin tetap mempertahankan warna ungu (Safitri, 2019). Tiga bentuk tipe yang umum yaitu berbentuk bulat (coccus), berbentuk batang (bacil), dan berbentuk spiral atau spirillum. Pengamatan secara mikroskopis ini menggunakan pewarnaan gram positif dan gram negatif.

2.5. Ekoefisiensi, Ekonomi Sirkular dan Produksi Bersih

Ekoefisiensi adalah strategi lingkungan kompetitif yang mempunyai tujuan untuk mengurangi biaya dengan meningkatkan proses produksi, pengurangan limbah, konsumsi energy, penghematan penggunaan sumber daya alam dan implementasi regulasi pemerintah yang mendukung praktik bisnis yang ramah lingkungan (Laaria *et al.*, 2016). Ekoefisiensi merupakan gabungan antara konsep efisiensi ekologi dan efisiensi ekonomi (Sari *et al.*, 2012). Terdapat kunci dalam melaksanakan Ekoefisiensi yaitu mengoptimalkan penggunaan bahan, meminimalkan jumlah konsumsi energy, mengurangi pencemaran, memperbesar daur ulang bahan, memperpanjang umur pakai produk, meningkatkan intensitas pelayanan, dan memaksimalkan penggunaan SDA (ProLH Gtz, 2007). Ekoefisiensi secara ringkas mampu memperbaiki pengelolaan lingkungan dengan efisiensi (penghematan bahan baku, energy, air) dan meminimalisasi limbah (*reduction, reuse, recycling, dan recovery*), sehingga menguntungkan secara ekonomi (Zaenuri *et al.*, 2011). Ekoefisiensi juga memiliki tujuan yang nyaris sama dengan Sirkular Ekonomi dan Produksi Bersih.

Ekonomi sirkular merupakan opsi alternatif terhadap model manajemen sampah yang linear yang berlaku saat ini. Ini melibatkan suatu pendekatan terhadap produksi, penggunaan, dan model ekonomi yang bertujuan untuk mempertahankan pemakaian sumber daya selama mungkin. Prinsipnya yaitu

untuk mengekstrak nilai maksimum dari produk melalui praktik seperti penggunaan kembali, pemulihan, dan regenerasi produk atau bahan saat mencapai akhir umur pakainya. Ada beberapa keuntungan yang didapatkan dari penerapan circular economy yaitu secara ekonomi, lingkungan dan sistemnya, kesempatan bagi perusahaan, dan kesempatan bagi individu. Penerapan circular economy pada sektor ekonomi dapat menambah pertumbuhan ekonomi, menghemat biaya bahan produksi, potensi penciptaan lapangan kerja, dan inovasi (Bilal *et al.*, 2020).

Strategi merupakan fondasi yang dipakai untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, sehingga kerap dikenal sebagai alat untuk meraih tujuan. Tujuan yang ingin dicapai pada industry penyulingan minyak atsiri pala adalah meningkatkan produktivitas dan memanfaatkan limbah yang dihasilkan menjadi produk yang bernilai jual, hal ini sesuai dengan penerapan Produksi Bersih. Produksi bersih adalah strategi dalam pengelolaan lingkungan yang dikerjakan secara sistematis dan diimplementasikan pada keseluruhan siklus produksi pada ruang lingkup industri (Rianto, 2021). Mengoptimalkan penggunaan bahan mentah, energy dan air, mengurangi limbah, namun hemat dalam segi pembiayaan produksi merupakan tujuan dari produksi bersih (Ma'ruf *et al.*, 2013).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup, produksi bersih didefinisikan sebagai strategi manajemen lingkungan yang bersifat pencegahan, terpadu, dan kegiatan mulai dilaksanakan secara berkelanjutan mulai dari awal hingga akhir yang terhubung dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan produktivitas pemakaian sumber daya alam, menahan pencemaran lingkungan dan mengurangi pembentukan limbah dari sumbernya sehingga mampu mengurangi resiko terhadap keselamatan dan kesehatan manusia serta kerusakan lingkungan (KLH, 2003).

Faktor keberhasilan dalam pelaksanaan produksi bersih di industri adalah sebagai berikut :

- a) Pemakaian air berkurang, sehingga industry memiliki kelebihan air
- b) Peningkatan efisiensi energy, sehingga industry mempunyai kelebihan daya dan masih dapat dimanfaatkan

- c) Adanya penanggulangan limbah industry dimanfaatkan sebagai bahan baku
- d) Adanya penurunan limbah cair dan padat, sehingga muatan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dan *incinerator* yang berlebih
- e) Adanya *incinerator* (tungku pembakaran) untuk membuat limbah padat, yang mengubah bahan padat (sampah) menjadi bahan gas, dan abu

Produksi bersih dilakukan untuk memenuhi kebutuhan akan produk secara berkelanjutan dengan menggunakan bahan yang dapat diperbarui, tidak berbahaya, dan efisiensi penggunaan energi dan yang terpenting adalah melestarikan lingkungan tanpa cemaran.

Limbah yang muncul dari industri minyak atsiri yaitu limbah padat dan juga limbah cair. Limbah padat berupa ampas yang diperoleh dari sisa penyulingan minyak atsiri pala masih mengandung komponen oleoresin yang mampu dimanfaatkan sebagai ekstrak rempah pala pada industry makanan, minuman, obat-obatan dan kosmetika (Arpi *et al.*, 2013). Ampas pala juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan nyala api pembakaran kayu bakar. Menurut Kakerissa (2021) menyatakan bahwa tempurung biji pala dapat diolah menjadi briket yang menghasilkan nilai kalor sesuai dengan SNI, dan standar briket Jepang.

Limbah cair yang diperoleh dari kegiatan penyulingan minyak atsiri pala adalah air hidrosol. Air hidrosol merupakan senyawa kompleks yang mengandung sisa essential oil dan komponen yang larut dalam air. Berlangsungnya kondensasi menyebabkan beberapa senyawa essential oil, larutnya senyawa dalam air, dan larut di dalam fase aqueous dinamakan hidrosol. Hidrosol masih mempunyai pH 2,9 hingga 6,5 dan mempunyai aroma. Beberapa hidrosol terbukti mampu meneka beberapa mikroorganisme, atau memiliki efek antimikroba (Hussein *et al.*, 2019). Kandungan yang ada pada air hidrosol penyulingan pala memiliki potensi dijadikan sebagai sabun padat, dan kandungan miristisin yang ada juga memberikan efek relaksasi aromaterapi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung dan Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2023 sampai Februari 2024.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak atsiri biji pala dari industri penyulingan daerah Pesawaran dan minyak atsiri daun pala dari daerah Pesawaran dan daerah Tanggamus. Bahan tambahan yaitu *Virgin coconut oil* (VCO), etanol 90%, Natrium Agar (NA), akuades, alcohol 70 %, alumunium foil, kapas dan kertas cakram merek Oxoid, NaOH, isolat bakteri *Salmonella thypi*, *E.coli*, dan *Staphylococcus aureus* murni .

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu kertas, pena, beaker glass, Erlenmeyer, cawan petry, gelas ukur, batang pengaduk, Incubator, pipet tetes, Autoklaf, oven, timbangan analitik, pH meter digital, refractometer, polarimeter, cetakan sabun, hot plate stirrer, Bunsen, jarum ose, Spektrofotometer UV-Vis, dan GC-MS merek VARIAN.

3.3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 5 bagian penelitian. Berikut metode penelitian dari setiap tahapan penelitian. Penelitian pertama adalah survey langsung ke industri penyulingan minyak atsiri pala yang ada di Provinsi Lampung, untuk memperoleh

data potensi penerapan keefisiensi dan produksi bersih pada industri penyulingan, data yang diperoleh dari hasil survey dianalisis secara Deskriptif. Bagian penelitian kedua yaitu mengidentifikasi karakteristik minyak atsiri pala yang diproduksi dari industri penyulingan minyak atsiri pala Kabupaten Tanggamus dan Pesawaran. Sampel minyak atsiri yang diperoleh dari produksi langsung dianalisis dengan GC-MS merek VARIAN untuk screening komponen kimia yang terkandung dalam minyak atsiri, kemudian diuji mutu sesuai SNI 06-2388-2006 tentang minyak pala antara lain (warna, bobot jenis, kelarutan dalam etanol, bau, indeks bias, putaran optic, dan sisa penguapan). Kemudian minyak atsiri diujikan aktivitas antioksidan yang dikandung dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan metode DPPH. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara Deskriptif.

Penelitian ketiga yaitu pengujian aktivitas antimikroba minyak atsiri biji dan daun pala terhadap bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus* dilakukan dengan konsentrasi minyak 25%, 50%, 75%, dan 100%. Data yang didapat dianalisis menggunakan sidik ragam untuk memperoleh hipotesis ragam galat dan uji signifikansi guna mengetahui terdapat atau tidak variasi antar perlakuan. Kesamaan ragam diuji dengan uji Bartlett dan kemenambahan data diuji dengan uji Tuckey. Analisis data dilanjutkan dengan menggunakan uji BNT.

Bagian penelitian keempat yaitu diversifikasi limbah cair (air hidrosol pala) menjadi sabun padat formulasi NaOH 30% dan VCO dengan perbandingan 1:2. Pembuatan sabun dibuat dengan menambahkan air hidrosol sebanyak 3 ml, 4ml, 5ml, 6ml, dan 7ml. Analisis nilai pH dilakukan untuk mengetahui standar sabun. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode sidik ragam untuk memperoleh estimasi variabilitas galat, serta dilakukan uji signifikansi guna menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan-perlakuan yang diuji. Kesamaan ragam diuji dengan uji Bartlett dan kemenambahan data diuji dengan uji Tuckey. Analisis data dilanjutkan dengan mengoprasikan uji BNT.

Bagian penelitian kelima yaitu diversifikasi limbah padat (ampas penyulingan pala) menjadi Biopelet dengan ukuran mesh 40, 60 dan 80. Analisis selanjutnya mutu SNI 8675:2018 tentang biopelet yaitu kadar air, kadar abu, kerapatan, nilai kalor. Data yang diperoleh dianalisis dengan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan antar perlakuan. Kesamaan ragam diuji dengan uji Bartlett dan kementerian data diuji dengan uji Tuckey. Analisis data dilanjutkan dengan menggunakan uji BNT.

3.4. Pengamatan Penelitian

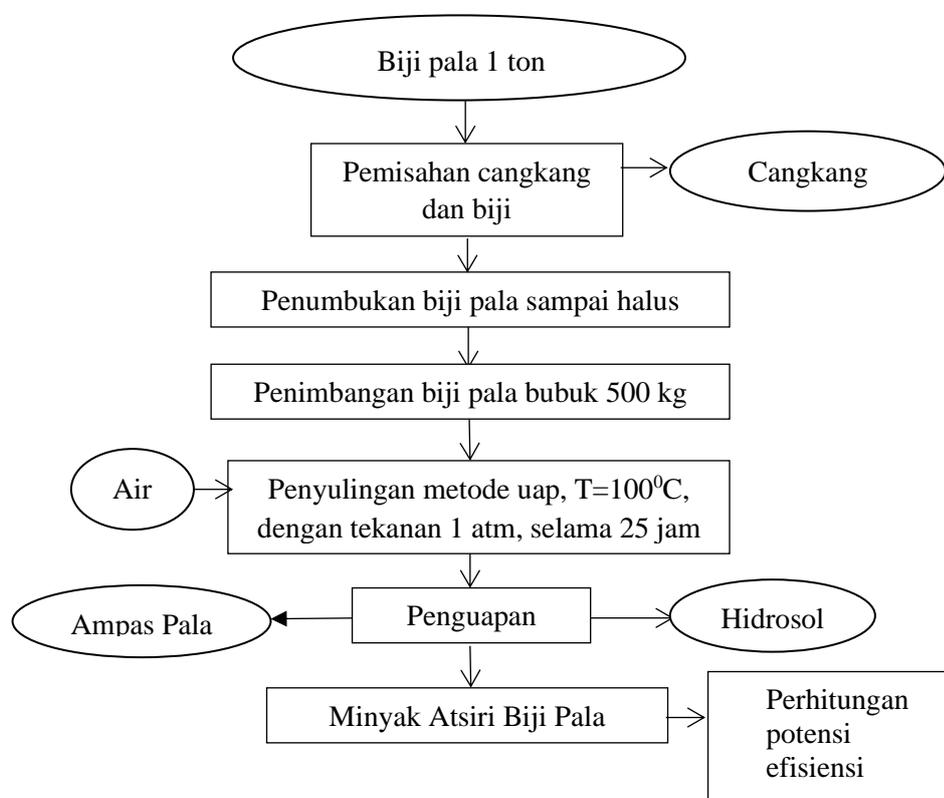
3.4.1. Survey Potensi Ekoeffisiensi

Penelitian dilakukan dengan survey langsung kepada industri penyulingan atsiri pala di Kabupaten Tanggamus dan Kabupaten Pesawaran. Survey dilakukan dengan menggunakan teknik purposive sampling dengan pertimbangan dapat mewakili populasi minyak atsiri. Teknik Purposive sampling adalah penarikan sampel secara sengaja dengan pertimbangan tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian (Sinaga, 2014). Berikut data industri penyulingan minyak atsiri yang terdapat di Provinsi Lampung sebagai berikut:

Tabel 2. Penyulingan Pala Di Provinsi Lampung

No	Kabupaten	Penyuling Pala	Kapasitas
1	Pesawaran	Pak Hanif	500 kg biji 1 ton daun pala
		Pak Yayat	1 ton biji dan 1 ton daun pala
		Pak Reki	± 1 ton
		Argiani	± 1 ton
		Hartono	± 1 ton
2	Tanggamus	Pak helmi	200 kg biji, dan 300 kg daun pala
		Yani	± 500 kg
		Samsul	Jarang aktif

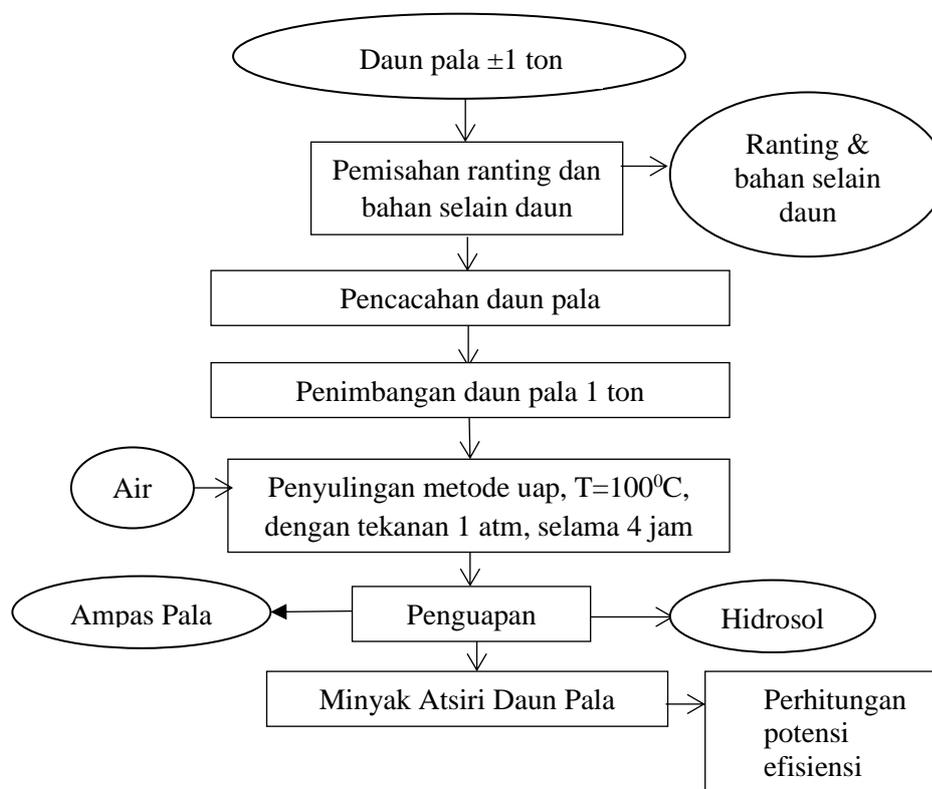
Data yang diambil dari hasil survey adalah data kapasitas, metode penyulingan, rendemen minyak dan potensi limbah yang dihasilkan dihitung dengan melihat bahan baku dikalikan dengan asumsi hasil produksi. Sampel minyak atsiri yang diambil berasal dari industri penyulingan minyak atsiri biji dan daun pala di Kabupaten Pesawaran, Kecamatan Padang Cermin milik bapak Hanif yang merupakan mitra Dino Food Indonesia, dan Kecamatan Sungai Langka milik bapak Reki. Minyak atsiri daun pala diambil dari Kabupaten Pesawaran Kecamatan Padang Cermin milik bapak Hanif, dan Kabupaten Tanggamus, Kecamatan Kota Agung milik bapak Helmi. Berikut proses penyulingan minyak atsiri biji pala :



Gambar 5. Diagram Alir Penyulingan Minyak Atsiri Biji Pala

Penyulingan biji pala mempunyai rendemen yang cukup tinggi yaitu mencapai 10-13%. Rendemen minyak atsiri dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan harus muda. Pada penyulingan daun pala, daun yang digunakan berasal dari pohon jantan yang tidak menghasilkan buah dan hasil pemangkasan pohon pala.

Penyulingan pala memiliki rendemen yang cukup rendah yaitu 0,3% saja. Berikut diagram alir penyulingan minyak atsiri daun pala.



Gambar 6. Diagram Alir Penyulingan Minyak Atsiri Daun Pala

3.4.2. Karakterisasi Minyak Atsiri Biji dan daun Pala

1. Identifikasi Senyawa Minyak Atsiri Menggunakan GC-MS

Identifikasi Senyawa Minyak Atsiri Menggunakan GC-MS VARIAN CP-3800, detector MS Saturn 2200, kolom VF-5ms 30m x 0,25 mm 0,25 μ m (CP 8944), metode injeksi manual, dengan berbagai suhu yang berbeda setiap bahan. Pada injeksi minyak atsiri biji pala menggunakan suhu awal 60 °C sampai 240 °C dan total waktu 60 menit (Maryati, 2023). Sedangkan pada injeksi minyak atsiri daun pala menggunakan suhu awal 70 °C sampai 300 °C, dengan total waktu 56 menit (Damayanti dan Ervilita, 2017).

Hasil injeksi minyak atsiri terdeteksi berupa puncak kromatogram yang mempunyai waktu retensi berbeda-beda. Masing-masing puncak dalam kromatogram yang diperoleh diidentifikasi berdasarkan massa dan fragmen massa yang dihasilkannya. Kemudian fragmen-fragmen tersebut dianalisis dengan membandingkan fragmen massa berasal dari senyawa yang dikenal melalui penggunaan bank data dari National Institute Standard of Technology (NIST) Library. Setelah memperoleh senyawa-senyawa yang mungkin (berdasarkan NIST Library), langkah berikutnya adalah mengelompokkan setiap senyawa berdasarkan tingkat kemiripan (kesamaan) dari masing-masing senyawa. Penelitian ini memakai senyawa yang mempunyai similarity di atas atau sama dengan 70 %. Apabila terdapat senyawa dengan nilai kesamaan di bawah 70%, namun senyawa tersebut sering terlihat pada jenis pala lain, senyawa tersebut akan tetap digunakan. Jumlah senyawa disajikan dalam satuan persentase (%) luas area (Sipahelut, 2019). Penggunaan satuan ini mempunyai sifat semi kuantitatif karena data yang dipergunakan sekedar mencerminkan perbandingan luas area kromatogram yang terbaca oleh GC-MS. Data ini mampu digunakan sebagai panduan untuk mengidentifikasi komponen volatil yang dominan dalam sampel, serta dapat mencerminkan jumlah senyawa volatil yang termuat dalam minyak atsiri.

2. Pengujian Mutu SNI 06-2388-2006

Minyak atsiri biji dan daun pala diamati warna dilaksanakan dengan menerapkan skoring 5 (Tidak berwarna), 4 (Berwarna kuning), 3 (Berwarna kuning sedikit pucat), 2 (Berwarna kuning pucat), 1 (Berwarna kuning sangat pucat). Minyak atsiri biji dan daun pala diamati aroma dilaksanakan dengan menerapkan skoring 5 (Sangat khas pala kuat), 4 (sangat khas pala), 3 (khas pala), 2 (sedikit khas pala), 1 (tidak khas pala). Panelis akan memberikan tanda pada skor yang dirasakan. Pengujian dilaksanakan dengan menggunakan bantuan panelis sebagai penguji minyak atsiri sebanyak 20 orang (Nurwati dan Hasdar, 2021).

Kemudian dilakukan pengujian lainnya sebagai berikut :

1. Indeks Bias : Metode ini didasarkan pada pengukuran langsung sudut bias minyak yang dijaga pada kondisi suhu yang tepat menggunakan bahan kimia aseton. Refraktometer nantinya dialiri air sehingga pada suhu dimana alat ini bisa dilakukan pembacaan. Suhu referensi dijaga dengan toleransi pada suhu yang setara dengan temperatur pengukuran akan dilakukan, dan pembacaan dilakukan pada saat suhu stabil.

$$\text{Indeks bias} = n^{t_1}D = n^tD + 0,0004 (t_1-t) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$n^{t_1}D$ = pembacaan pada suhu pengerjaan

n^tD = indeks bias pada suhu 20°C

t_1 = suhu yang dilakukan pada saat pengerjaan

t = suhu referensi suhu 20°C

0,0004 = faktor koreksi

2. Sisa penguapan : Sisa penguapan minyak pala didasarkan pada senyawa yang tidak menguap diperoleh dengan menguapkan minyak pala diatas penangas air. Cawan di panaskan di atas penangas air dengan suhu 104°C selama 60 menit. Selanjutnya didinginkan selama 20 menit, dan ditimbang (W_0). Timbang minyak atsiri daun pala sebanyak 1 g dalam cawan tersebut (W_1). Lalu panaskan diatas penangas air selama 4 jam dengan suhu 104°C lalu dinginkan selama 20 menit dan ditimbang (W_2).

$$\text{Sisa penguapan} = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

W_0 = bobot cawan penguapan kosong (g)

W_1 = bobot cawan penguapan berisi minyak atsiri (g)

W_2 = bobot cawan penguapan + minyak atsiri setelah dipanaskan (g)

3. Kelarutan dalam alkohol 90% : Minyak atsiri yang dapat larut dalam etanol dapat dengan mudah diidentifikasi melalui penggunaan etanol pada berbagai tingkat konsentrasi. Proses ini melibatkan penambahan 1 ml minyak atsiri dari daun pala ke dalam labu ukur berkapasitas 10 ml. Etanol 90% ditambahkan perlahan-lahan, tetes per tetes, sambil dihomogenkan setelah setiap penambahan hingga terbentuk larutan yang jernih pada suhu 20°C. Jika larutan tersebut tidak jernih, tingkat kekeruhan dibandingkan dengan larutan

pembandingan melalui lapisan cairan dengan ketebalan yang sama. Jika kekeruhan masih terjadi, tambahkan lebih banyak etanol karena beberapa jenis minyak dapat mengendap dengan penambahan etanol tambahan. Kelarutan dalam etanol 90%, yang awalnya sebanding dengan 1 volume minyak, akan menjadi bening apabila ditambahkan dengan 3 volume etanol. Jika larutan tetap tidak jernih, kekeruhan dicatat apakah larutan tersebut lebih besar atau sama dengan kekeruhan larutan pembandingan.

4. Putaran Optik : Rotasi optik bergantung pada pengukuran sudut bidang di mana sinar yang terpolarisasi mengalami rotasi oleh lapisan minyak yang tebalnya 10 cm pada suhu tertentu. Untuk melakukan pengujian rotasi optik, digunakan alat bernama polarimeter. Sampel minyak yang sebelumnya disiapkan pada suhu tertentu diisi ke dalam tabung polarimeter. Tabung sampel tersebut ditempatkan dalam ruang pengukuran dengan roda kontrol untuk mengatur tingkat kecerahan. Setelah melakukan kalibrasi nol pada alat dan memasukkan sampel ke dalam tabung, skala teleskop dapat dicatat, dan proses pengukuran selesai.
5. Bobot Jenis : Bobot jenis adalah rasio antara berat air dan berat minyak pada suhu dan volume yang sama. Penentuan bobot jenis bisa dilakukan menggunakan alat hidrometer. Sebelum menggunakan hidrometer, alat perlu dibersihkan menggunakan etanol. Selanjutnya, hidrometer dan gelas ukur dikeringkan dengan menggunakan arus udara kering. Minyak atsiri dari daun pala kemudian diletakkan ke dalam gelas ukur sekitar 80 ml hingga hidrometer mengapung. Setelah itu, lakukan pembacaan pada hidrometer untuk menentukan bobot jenis dari minyak atsiri tersebut.

3. Pengujian Aktivitas Antioksidan (Kusumaningrum et al., 2013)

Pengujian Aktivitas Antioksidan metode DPPH : Aktivitas antioksidan dianalisis dengan metode yang dikembangkan oleh Gadow *et al.* tahun 1997 dalam Kusumaningrum *et al.*, (2013), dengan mengukur kemampuan sampel dalam menangkap radikal bebas DPPH. Sebelum pengukuran dilakukan, sampel yang telah disiapkan diencerkan terlebih dahulu. Pengenceran diimplementasikan

dengan mencampur 0,5 ml teh dengan air dalam labu ukur 10 ml. Kemudian, 1 ml reagen DPPH (dalam etanol 400 μ M) dan 3 ml etanol dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Setelah itu, 0,1 ml sampel yang telah diencerkan ditambahkan ke campuran tersebut. Campuran tersebut kemudian diaduk dan dibiarkan selama 30 menit sebelum diukur absorbansinya pada panjang gelombang 517 nm menggunakan spektrofotometer. Aktifitas antioksidan dinyatakan dalam % penghambatan, berikut rumus pengukuran aktivitas antioksidan :

$$\% \text{ inhibisi} = \frac{\text{Absorbansi blanko} - \text{absorbansi sampel}}{\text{absorbansi blanko}} \times 100\%$$

Keterangan :

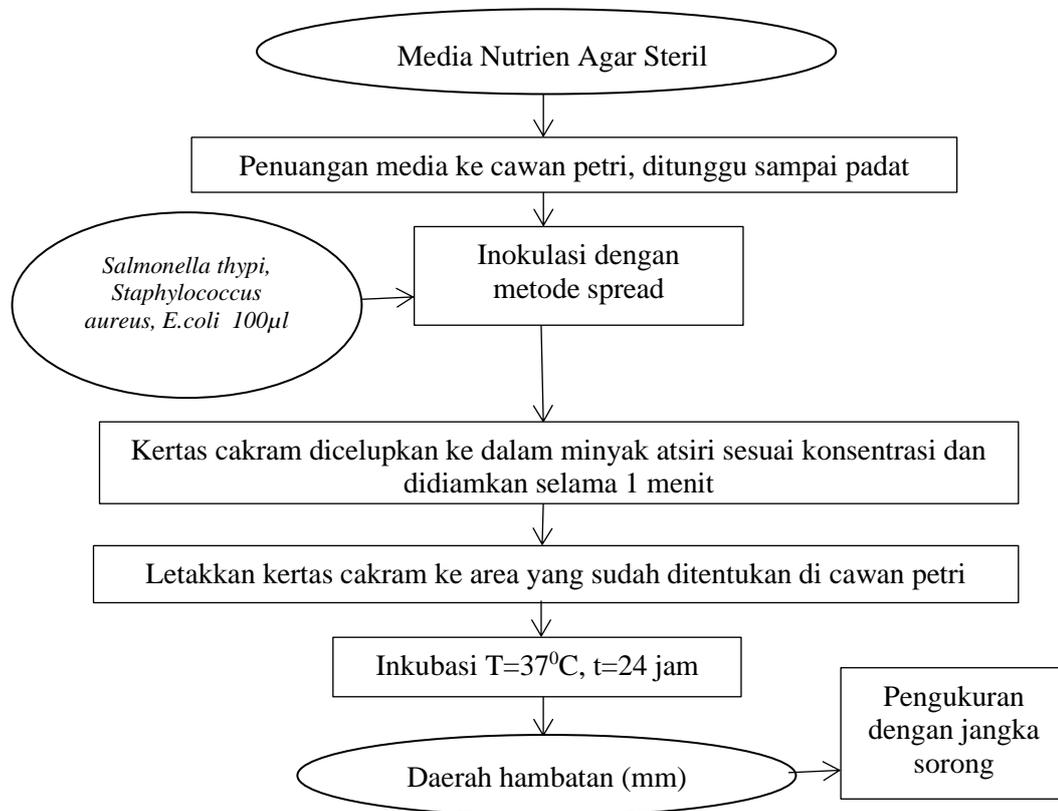
- % inhibisi : persentase penurunan aktivitas atau reaksi biologis yang diukur sebagai hasil dari kehadiran minyak atsiri
- Absorbansi blanko : nilai absorbansi yang diukur untuk sampel control yang tidak mengandung minyak atsiri
- Absorbansi sampel : nilai absorbansi yang diukur untuk sampel yang mengandung minyak atsiri

3.4.3. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Biji dan Daun Pala

1. Pengujian Antimikroba (Ernawati *et al.*, 2016)

Media bakteri dibuatkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pembiakan bakteri. Media ini memiliki fungsi sebagai tempat untuk membiakkan bakteri yang akan diuji. Media bakteri yang dibuatkan pada penelitian ini merupakan NA (Nutrien Agar). Metode pengujian antimikroba dimodifikasi berdasarkan Ernawati *et al.*, (2016) tertera pada Gambar 7. Pengujian zona hambat dilakukan dengan menyiapkan media NA steril yang diberikan bakteri yang telah disesuaikan kekeruhannya dengan standar larutan Mc Farland setengah/0,5, sebanyak 100 μ l. Mc Farland adalah penyetaraan konsentrasi mikroba dengan menggunakan larutan BaCl₂ 1% dan H₂SO₄ 1%. Standar kekeruhan Mc Farland ini dimaksudkan untuk menggantikan perhitungan bakteri satu per satu dan untuk memperkirakan kepadatan sel yang akan digunakan pada prosedur pengujian antimikroba. Keuntungan dari penggunaan standar Mc Farland adalah tidak dibutuhkannya waktu inkubasi yang cukup untuk memperoleh jumlah kepadatan bakteri yang diinginkan. Sedangkan kerugiannya, akan terjadi perbedaan pandangan untuk

menilai tingkat kekeruhan dari sel bakteri sebab kekeruhannya hanya dibandingkan secara visual. Suspensi bakteri uji yang kekeruhannya sudah sama dengan standar 0,5 Mc Farland digunakan untuk uji aktivitas antimikroba.

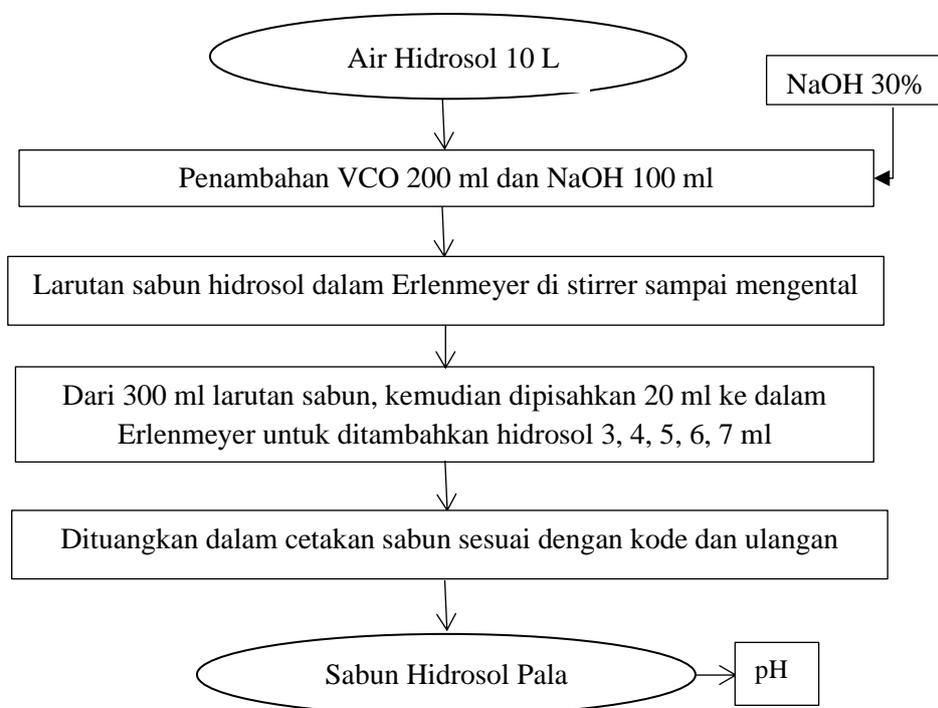


Gambar 7. Diagram Alir Uji Antimikroba (Ernawati et al., 2016)

3.4.4. Diversifikasi Sabun Air Hidrosol

1. Sabun Padat Air Hidrosol

Diagram Alir Pengolahan Sabun Air Hidrosol Pala



Gambar 8. Diagram Alir Pembuatan Sabun Hidrosol Pala (Modifikasi Torry, 2014)

2. Pengamatan Saponin Air Hidrosol (Santosa et al., 2018)

Pada pengujian total saponin untuk membuat kurva standar, langkah-langkah berikut ini diikuti. Pertama, larutan standar saponin seberat 10 mg ditimbang dan dicampur dengan 5 ml air, kemudian diaduk menggunakan vortex selama 5 menit. Selanjutnya, 50 μ l anisaldehyd ditambahkan ke dalam campuran tersebut dan dikocok. Setelah didiamkan selama 10 menit, 2 ml asam sulfat 50% ditambahkan dan diaduk secara merata. Campuran larutan kemudian dipanaskan pada penangas air suhu 60°C selama 10 menit. Dilanjutkan dengan penambahan air hingga volume mencapai 10 ml menggunakan labu takar. Larutan standar tersebut kemudian diencerkan dengan mengambil volume 200 μ l, 100 μ l, 50 μ l, 25 μ l, 12,5 μ l, dan 6,25 μ l. Serapan larutan pada panjang gelombang 435 nm kemudian

dibaca menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Dengan menggunakan metode ini, kurva standar dapat dibuat untuk menghitung konsentrasi senyawa berdasarkan serapan pada panjang gelombang yang sama.

3. Pengamatan pH Sabun

Pengujian pH dilakukan dengan cara menggunakan indikator kertas pH, dengan cara memasukan kertas pH kedalam pengenceran sabun yang telah dibuat dan mencocokkan warna pH pada kertas pH (Naibaho *et al.*, 2013). Pengujian pH sesuai ASTM D1172-15. Contoh uji ditimbang 1 gram dan pindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan air suling bebas CO₂ hingga tanda tera. Labu ukur ditutup dan larutan dihomogenkan. Lalu, larutan dituang ke dalam gelas piala dan didiamkan untuk mencapai kesetimbangan pada suhu ruang ($25 \pm 2,0$)°C (Setiawati dan Yulianti, 2020).

3.4.5. Diversifikasi Biopellet Ampas Penyulingan Pala

1. Kadar Air

Pengujian kadar air pada minyak aromaterapi, sabun dan pembersih lantai menggunakan metode gravimetri (AOAC, 2016). Pengeringan cawan porselin dilakukan di dalam oven selama 30 menit, selanjutnya didinginkan di dalam desikator dan ditimbang (A). Sampel sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang sudah diketahui beratnya dan dikeringkan di dalam oven (B) pada suhu 105–110°C selama 6 jam. Selanjutnya, didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang. Setelah didapatkan hasil penimbangan pertama, kemudian pengeringan cawan yang berisi sampel dilakukan selama 30 menit selanjutnya didinginkan selama 15 menit di dalam, lalu ditimbang (C). Kegiatan ini diulangi sampai diperoleh bobot yang konstan atau selisih penimbangan $\leq 0,0002$ gram. Perhitungan kadar air dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\%$$

Keterangan:

A : berat cawan kosong (g)

B : berat cawan + sampel awal (g)

C : berat cawan + sampel kering (g)

2. Kadar Abu “ASTM, 1997”

Sampel sisa uji dari penentuan kadar air dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu 550°C selama 2 jam. Cawan porselen kemudian dikeluarkan dari tanur dan didinginkan dengan menambahkan akuades hingga meratakan semua bagian sampel yang ada di dalam cawan. Air pada cawan diuapkan hingga mengering menggunakan penangas air sebelum dimasukkan kembali ke dalam tanur pada suhu 550°C selama 1 jam. Sebelum dilakukan penimbangan memakai neraca analitik cawan porselen ini diangkat dan didinginkan selama 1 jam di dalam desikator. Persentase kadar abu dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Abu \%} = \frac{C - A}{B - A} \times 100\%$$

Keterangan:

A : Berat cawan kosong (g)

B : Berat cawan + sampel sebelum dikeringkan dalam tanur (g)

C : Berat cawan + sampel setelah dikeringkan dalam tanur (g)

3. Pengujian Kerapatan/Densitas (SNI 8675:2018)

Penetapan kerapatan dinyatakan dalam hasil perbandingan antara berat dan volume *pellet* yang diukur pada keadaan yang setara. Rumus yang digunakan untuk menghitung kerapatan sampel sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan} = \frac{B}{V}$$

Keterangan :

B = Berat contoh uji (g)

V = Volume contoh uji (cm³)

4. Pengujian Nilai Kalor (ASTM, 1997)

Pengujian pengukuran nilai kalor menggunakan bomb calorimeter PARR 1261. Prosedur pengukuran nilai kalor sebagai berikut, sampel ditimbang 1 gram dan diletakkan ke dalam cawan silika, hubungkan kedua kutub bomb calorimeter dengan 10 cm kawat pembakar nikel krom, isi bomb calorimeter dengan oksigen pada tekanan 20 atm, masukkan bomb calorimeter tersebut ke dalam vessel yang berisi 1 liter air, selanjutnya masukkan vessel kedalam water jacket, jalankan aliran listrik pemanas dan alat pendingin, atur skala dari “initial balance” sampai lampu dan amperemeter berjalan secara otomatis (jacket dan suhu vessel sama). Pengukuran suhu awal dilakukan secara otomatis, kenaikan suhu dan nilai kalor ekuivalen dari hasil penembakan dalam bomb calorimeter (Sipayung, 2015). Penentuan nilai kalor ditentukan berdasarkan rumus berikut ini :

$$\text{Kalori (cal/g)} = \left\{ \frac{\left\{ \frac{Q_s + (T_s \cdot X)}{(t_b 2 - t_b 1)} \right\} \times (t_s 2 - t_s 1) - (T_c \cdot X)}{W_s} \right\}$$

Keterangan :

Q_s = Nilai konstanta blanko = 6318 (cal/g)

T_s = Panjang kawat blanko terbakar (cm)

X = Nilai konstanta kawat = 2,3 (cal/cm)

$t_b 1$ = Suhu awal blanko (°C)

$t_b 2$ = Suhu akhir blanko (°C)

$t_s 1$ = Suhu awal sampel (°C)

$t_s 2$ = Suhu akhir sampel (°C)

T_c = Panjang kawat sampel terbakar (cm)

W_s = Berat sampel (g)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Kesimpulan yang diambil berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan bahwa :

1. Industri penyulingan minyak atsiri pala memiliki rendemen minyak atsiri untuk biji pala mencapai 14-15%, dan minyak atsiri daun pala hanya mencapai 0,7-0,84%. Kurangnya rendemen minyak atsiri daun pala membuat industri belum banyak mengembangkannya, sehingga perlu informasi manfaat dari minyak atsiri daun pala yang bermanfaat dan juga dikembangkan eko-efisiensi dari proses produksi dan pemanfaatan limbah industri menjadi produk samping seperti sabun dan juga bahan bakar biopellet.
2. Karakterisasi minyak atsiri biji pala Padang Cermin teridentifikasi 12 senyawa kimia yaitu Phenazine dengan luas area 64,905%, kemudian Nitrophenyl dan Isoquinolinol. Minyak atsiri biji pala Sungai Langka teridentifikasi 23 senyawa kimia yaitu dl-Laudanosoline hydrobromide 6,205% luas area, Benzene, Bicyclo dan Naphtalene. Minyak atsiri daun pala Padang Cermin teridentifikasi 28 senyawa kimia yaitu D-Streptamine 76,456% luas area, Aquinolizine, Boron, Kaurene, Pyrrole. Minyak atsiri daun pala Kota Agung teridentifikasi 24 senyawa kimia yaitu Phenanthrene 56,946% luas area, Phenylenediamine, Kaurene, Naphtalene. Mutu minyak atsiri biji dan daun pala memiliki warna, bau, dan kelarutan dalam alcohol yang sama, tetapi berbeda dengan nilai bobot jenis, sisa penguapan, dan putaran optic. Aktivitas antioksidan yang dikandung minyak atsiri biji dan daun pala cukup tinggi yaitu >80%
3. Minyak atsiri biji dan daun pala mempunyai aktivitas antimikroba dengan daya hambat yang cukup tinggi menghambat bakteri *E.coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus*. Minyak atsiri biji pala padang cermin menghasilkan zona hambat 24,98 mm pada bakteri *E.coli*, 34,39 mm pada bakteri

Salmonella thypi, dan 32,38 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Daya hambat minyak atsiri biji pala Sungai langka mencapai 30,10 mm pada bakteri *E.coli*, 34 mm pada bakteri *Salmonella thypi*, 30 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Minyak atsiri daun pala Padang cermin memiliki daya hambat mencapai 40,66 mm pada bakteri *E.coli*, 40,81 mm pada bakteri *Salmonella thypi*, 40,67 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Minyak atsiri daun pala Kota Agung memiliki daya hambat mencapai 44,43 mm pada bakteri *E.coli*, 34,33 mm pada bakteri *Salmonella thypi*, 37,50 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Daya hambat yang dihasilkan termasuk golongan sangat kuat.

4. Air hidrosol teridentifikasi mengandung 15 senyawa kimia dan memiliki aktivitas antioksidan mencapai 95,63%, sehingga dapat dikembangkan menjadi produk sabun padat. Diversifikasi sabun dari air hidrosol pala dan VCO memiliki penampakan yang baik, berwarna putih dan memiliki nilai pH yang mendekati netral. pH pada penambahan air hidrosol 3 ml yaitu 7,783; pH penambahan hidrosol 4 ml yaitu 7,987; penambahan 5 ml memiliki pH 8,337; penambahan 6 ml memiliki pH 8,713; dan penambahan 7 ml memiliki pH 8,823. pH yang dihasilkan mendekati pH kulit manusia sehingga tidak berbahaya untuk dipakai.
5. Diversifikasi Biopelet dari ampas penyulingan pala menggunakan perlakuan ukuran pengayakan 40 mesh, 60 mesh, dan 80 mesh. Hasil pengujian kadar air pada setiap perlakuan telah sesuai SNI maksimal 10% skala rumah tangga dan 12% skala industri, pengujian kadar abu biopelet juga sesuai SNI maksimal 5%, dan pengujian nilai kerapatan telah sesuai dengan SNI minimal 0,6 g/cm³ skala rumah tangga dan 0,8 g/cm³ skala industri. Nilai kalor dari biopelet ampas pala juga memenuhi SNI minimal 16,5 MJ/kg, dan pada ukuran 80 mesh menghasilkan nilai kalor 29,947 MJ/kg yang layak untuk diproduksi menjadi produk samping industri, dan mampu digunakan sendiri untuk bahan bakar industri.

5.2. Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dikembangkan potensi ekoefisiensi dari segi energi dan peningkatan rendemen minyak atsiri yang diperoleh industri penyulingan pala.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan diversifikasi produk pala yang dapat meningkatkan pendapatan industri penyulingan pala di Provinsi Lampung.
3. Perlu adanya penelitian tentang alternatif bahan bakar selain kayu bakar dalam proses penyulingan minyak atsiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. S., Antasionasti, I., Rundengan, G., Putri, R., Abdullah, I. dan Ratulangi, U. S. 2022. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Biji Dan Daging Buah Pala (*Myristica fragrans*) Dengan Metode Dpph. *Chem. Prog.* 15(2): 70.
- Abourashed, E. A. and El-Alfy, A. 2016. Chemical Diversity And Pharmacological Significance Of The Secondary Metabolites Of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.). *Phytochem Rev.* 15: 1036–1056.
- Adibuduge, Y. and Senevirathne. 2023. Potential of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt) Leaf Extracts as a Source of Functional Ingredients with Antibacterial, Antifungal and Antioxidant Activities. *The Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka.* 18(2): 221–236.
- Agarwal, R. and Bosco, S. 2017. Extraction Processes Of Virgin Coconut Oil. *MOJ Food Processing & Technology.* 4(2): 00087.
- Agency, E. P. 1996. 1994 Toxics Release Inventory (EPA 745R-96-002). *Office Of Pollution Prevention And Toxics.* Hlm 230–231.
- Al-Bukhaiti, W., Noman, A., Qasim, A. and Al-Farga, A. 2017. Gas Chromatography: Principles, Advantages, and Applications in Food Analysis. *International Journal of Agriculture Innovation and Research.* 6(1): 2319–1473.
- Ansory, H. M., Putri, P. K. K., Hidayah, N. A. dan Nilawati, A. 2018. Analisis Senyawa Minyak atsiri Biji Pala Secara Gc-MS Dan Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap *Escherichia coli* Dan *Staphylococcus aureus*. *Prosiding Smeinar Nasional Sains dan Teknologi.* 1(1): 19–25.
- AOAC. 2016. *Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists 20th edition.* Benjamin Franklin Station. Washington DC.
- Arpi, N., Satriana dan Rezekiah, K. 2013. Ekstraksi Oleoresin dari Limbah Penyulingan Pala Menggunakan Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan.* 9(4): 180–187.

- Asgarpanah, J. and Kazemivash, N. 2012. Phytochemistry And Pharmacologic Properties Of *Myristicafragrans* Hoyut. *African Journal of Biotechnology*. 11(65): 12787–12793.
- Asghar, S. F., Habib-ur-Rehman, Choudahry, M. I. and Atta-ur-Rahman. 2011. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Analysis Of Petroleum Ether Extract (Oil) And Bio-Assays Of Crude Extract Of *Iris Germanica*. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*. 3(7): 95–100.
- ASTM International. 1997. ASTM C 566-97. Standar Test Method For Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. United States: ASTM International.
- Astuti, R. 2019. Pengaruh Waktu Distilasi Minyak Biji Pala (*Myristica fragrans*) Dengan Metode Distilasi Uap Dan Identifikasi Komponen Kimiawi. *Indonesian Journal Of Laboratory*. 1(2): 36–40.
- Ayu, G. 2014. *Pengaruh Ekstrak Daun Mengkudu (Morinda Citrifolia L.) Terhadap Pertumbuhan Staphylococcus Aureus Sebagai Penyebab Abses Periodontal Secara In Vitro*. (Skripsi). Universitas Mahasaraswati Denpasar. Bali.
- Ayunani, T. D., Hastuti, I. T., Ansory, H. M. dan Nilawati, A. 2018. Pemisahan Senyawa 1,4-terpineol dan Safrol dari Minyak Atsiri Biji Pala (*Myristica fragrans* Houtt) dan Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap *Shigella dysenteriae*. *Jurnal Farmasi Indonesia*. 15(1): 88–100.
- Bilal, M., Khan, khurram iqbal ahmad, Thaheem, M. J. and Nasir, A. R. 2020. Current State And Barriers To The Circular Economy In The Building Sector: Towards A Mitigation Framework. *Journal of Cleaner Production*. 276: 123250.
- Boons, F., Mpntalvo, C., Quist, J. and Wagner, M. 2013. Sustainable Innovation, Business Models and Economic Performance: An Overview. *Journal of Cleaner Production*. 45: 1–8.
- Bratty M, Hafiz A, Hassan A, Sohler M, Ashraf N, Hudham E, Shahnaz S, Waquar A, and A. K. 2020. Phytochemical, Cytotoxic, and Antimicrobial Evaluation of The Fruits Of Miswak Plant, *Salvador Persia L.* *Journal of Chemistry*. 20(2): 11.
- Brooks, G. F. 2005. *Mikrobiologi Kedokteran*. Jakarta. Edisi 23 : 325 Hlm.
- BSN. 2006. SNI 06-2388-2006 Tentang Minyak Pala. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2018. SNI 8675:2018 Tentang Biopellet Sebagai Energi Terbarukan. Badan

- Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Chen, X., Zhao, X., Deng, Y., Bu, X., Ye, H. and Guo, N. 2019. Antimicrobial Potential of Myristic Acid Against *Listeria Monocytogenes* in Milk. *The Journal of Antibiotics*. 75(5): 298–305.
- Ciriminnan, R., Lomeli, M., Demma cara, P., Lopez-Sancha and Pagliora, M. 2014. Limonene: A Versatile Chemical of the Bioeconomy. *Chemical Communications*. 50(97): 1–23.
- Cummings, J. 2007. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. *Reference Reviews*. 21(2): 49–50.
- Damayanti, R. dan Ervilita, R. 2017. Potensi Minyak Atsiri Daun Pala Sebagai Antioksidan. *Seminar Nasional II USM “Eksplorasi Kekayaan Maritim Aceh di Era Globalisasi Dalam Mewujudkan Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia*. 1: 554–556.
- Darmawati, S., Sembiring, L., Asmara, W. dan Artama, W. T. 2015. Identifikasi Bakteri Batang Gram Negatif Pada Darah Widal Positif Berdasarkan Karakteristik Fenotik. *University Research Colloquium*. 89–96.
- Dianne, L. 2022. Wanginya Industri Minyak Atsiri Indonesia. Sekretariat Direktorat Jenderal Industri Agro. Kementerian Perindustrian RI. https://agro.kemenperin.go.id/artikel/6483-wanginya-industri-minyak-atsiri_indonesia. Diakses pada Senin 7 November 2022.
- Dinas Perdagangan Provinsi Lampung. 2017. Volume Ekspor Biji Pala Lampung Dan Negara Tujuan Ekspor. Dinas Perdagangan Provinsi Lampung. B. Lampung.
- Ditjenbun. 2022. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020-2022. Direktorat Jenderal Perkebunan. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Djumarman, Keteren, S. and Fransnicko, H. 2004. The Effect Of Grade And Particle Size Of Drying Nutmeg Oil. *Indonesia Journal Of Industrial Research*. 21(2): 12–20.
- Doorandishan, M., Gholami, M., Ebrahimi, P. and Jassbi, A. R. 2021. Spathulenol As The Most Abundant Componen Of Essential Oil Of *Moluccella Aucheri* (Boiss.) Scheen. *Nat, Volatiles & Essent Oils*. 8(2): 37–41.
- Dwiningsih, N. dan Harahap, L. 2022. Pengenalan Ekonomi Sirkular (*Circular Economy*) Bagi Masyarakat Umum. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 1(2): 135–141.
- Eason, M., Matwen, M., Sithambaresan, P. A, Unnikrishnan and Prathapachandra, K. 2014. Pentacyclo [6. 6. 5. 0 (2, 7). 0 (9, 14). 0 (15, 19) nonadeca-2, 4, 6, 9, 11, 13, 16-heptaen-18-one. *crystallographic communications*. 70(2):

144.

- Ernawati, S., Nurul, M. dan Shasmita, I. 2016. Uji Daya Hambat Terhadap Pertumbuhan Bakteri Uji *Staphylococcus aureus* Dan *Escherichia coli* Ekstrak Etanol Daun Mangrove *Rhizophora mucronata* Dan Efek Antidiabetiknya Pada Mencit Yang Diinduksi Aloksan. *Jurnal Bionature*. 17(1): 1–6.
- Fadhilla, R. 2018. *Senyawa – Senyawa Aromatik. Modul Kimia Organik Dasar. Universitas Esa Unggu.*
https://lmsparalel.esaunggul.ac.id/pluginfile.php?file=/149363/mod_resource/content/1/8_7310_kes107_112018.pdf. Diakses Pada 1 Januari 2024.
- Fathurahmi, S., Spetriani, Asrawaty dan Siswanto, P. H. 2020. Penambahan Ragi Roti Dan Lama Fermentasi Pada Proses Pegolahan *Virgin Coconut Oil*. *Jurnal Pengolahan Pangan*. 5(2): 48–53.
- Feninlambir, M. L., Rawar, E. A. dan Yuhara, N. A. 2023. Aktivitas Antioksidan Dan Kadar Total Fenolik Dalam Minyak Atsiri Biji Pala (*Myristica fragrans* Houtt). *Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia*. 12(2): 111–116.
- Fischetti, A., Novick, R., Ferreti, J., Portnoy, D. dan Rood, J. 2000. *Gram Positif, ASM Press*. Washington DC.
- Forbes, B. 2007. *Bailey and Scott's Diagnostic Microbiology 12th Edition*. Missouri.
- Gameil, A. H. M., Hashim, Y. Z. H. Y., Zainurin, N. A. A., Salleh, H. M. and Abdullah, N. S. 2019. Anticancer Potential And Chemical Profile Of Agarwood Hydrosol. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 15(5): 761–766.
- Habib, A., Kumar, S., Sorowar, M. S., Karmoker, J., Khatun, M. K. dan Al-Reza, S. M. 2016. Study On The Physicochemical Properties Of Some Commercial Soaps Available In Bangladeshi Market. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*. 3(6): pp 9-12.
- Handayani, T. W., Yusuf, Y. dan Tandi, J. 2020. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Metabolit Sekunder Ekstrak Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia* 6(3): 230–238.
- Hasanudin dan Lahay, I. H. 2012. Pembuatan Biopellet Ampas Kelapa Sebagai Energi Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah Ramah Lingkungan. Laporan Penelitian Berorientasi Produk Dana PNPB Anggaran 2012. Universitas Gorontalo.

- Hayani, E. dan Gani, A. 2002. *Metoda Penyulingan Dan Analisis Minyak Atsiri: Minyak Cengkeh Dan Minyak Nilam. Dalam: Prosiding Temu Teknis Fungsional Non Peneliti. 30 Juli 2002. Bogor. 235–241 Hlm.*
- Hendra, D. dan Darmawan, S. 2012. Pembuatan briket arang dari serbuk gergajian dengan penambahan tempurung kelapa. *Buletin Penelitian Hasil Hutan. 18: 1–9.*
- Herbert, E., Carter, Y., Loo, Y. and Rothrock, J. W. 1949. Degradation Products of Streptomine: α , γ Diamino- β -Hydroxyglutaric Acid. *Journal of Biological Chemistry. 179(3): 1027–1035.*
- Hikmah, A. M. 2023. Analisis Senyawa Ppd Dan Logam Berat Secara Kualitatif Pada Sampel Tato Temporer Di Beberapa Toko Kosmetik Offline Dan Online. *Jurnal Medical Laboratory. 2(1): 20–29.*
- HMDB. 2023. Human Metabolome Database: Showing Metabocard For 3-Furoic Acid (HMDB0000444). <https://hmdb.ca/metabolites/HMDB0000444>. Diakses Pada 1 Januari 2024
- Hu, J., Zhou, M., Li, M., Chen, Z., Minggin, Z., Ji, X. and Lai, M. 2023. Synthesis, Odor Characteristics And Thermal Behaviors Of Pyrrole Esters. *Journal of Saudi Chemical Society. 27(2): 101600.*
- Hussein, A., Gameil, M., Zuhans, Y., Hashim, H., Aimin, N., Zainurin, A., Mohd, H. and Syed, N. 2019. Anticancer Potential And Chemical Profile Of Agarwood Hydrosol. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences. 15(5): 761–766.*
- Imara, F. 2020. Salmonella Typhi Bakteri Penyebab Demam Tifoid. Prosiding Seminar Nasional Biologi di Era Pandemi COVID-19.
- Imelda, K. 2013. Bakteri *Salmonella* Sp. [Http://kusumaimelda.blogspot.co.id/2013/04/bakteri-salmonella-sp.html](http://kusumaimelda.blogspot.co.id/2013/04/bakteri-salmonella-sp.html). Diakses Pada 1 Januari 2024
- Ismiyarto dan Ngadiwiyani. 2009. Isolasi, Identifikasi Minyak Atsiri Fuli Pala (*Myristica fragrans*) dan Uji Aktivitas Sebagai Lavasida. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi. 12(1): 23–30.*
- Jawet, E. J. L., Melnick dan Alderberg, E. 2007. *Mikrobiologi Kedokteran. Airlangga University Press. Surabaya. 318–319 Hlm.*
- Jennida. 2017. *Uji Aktivitas Antibakteri Kombinasi Minyak Atsiri Bangle (Zingiber cassumunar) Dan Lengkuas Merah (Alpinia purpurata K.) Terhadap Salmonella typhi.* (Skripsi). Fakultas Farmasi. Universitas Setia Budi. Surakarta.

- Kakerissa, A. L. 2021. Pemanfaatan Limbah Tempurung Biji Pala Sebagai Bahan Bakar Alternatif Briket Arang Biomassa. *ALE Proceeding*. 3: 33–39.
- Kapelle, I., Souhoka, F. A. and Walla, A. 2022. Chemical Composition Oil and Ethanol Extract of Nutmeg Leaf and Antibacterial Test Against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Indonesian Journal of Chemical Research*,. 10(1): PP 19-26.
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. 2011. Indonesian Essential Oil, The Scents Of Natural Life. Trade Policy Analysis And Development Agency Ministry Of Trade Republic Of Indonesia, Indonesia.
- Kementrian pertanian. 2022. Produksi Pala Menurut Provinsi Di Indonesia. Direktorat Jenderal Perkebunan. <https://www.pertanian.go.id>. Diakses pada 2 Januari 2022.
- Khayyat, S. and Roselin. 2018. Recent Progress In Photochemical Reaction On Main Components Of Some Essential Oils. *Journal of Saudi Chemical Society*. 22: PP 855-875.
- KLH (Kementrian Lingkungan Hidup). 2003. Kebijakan Nasional Produksi Bersih. Jakarta.
- Kohlpaintner, P., Marquat, L., Goodben, L. and Waldvogel, S. R. 2023. The Oxidation of Organo-Boron Compounds Using Electrochemically Generated Peroxodicarbonate. *European Journal of Organic Chemistry*. 26(17).
- Kurniawan, A., Wirasembada, Y. C., Razaad, I. M. N., Novriansyah, A., Rafi, M. dan Efendi, A. J. 2018. Hidrokarbon Aromatik Polisiklik pada Lahan Tercemar Limbah Minyak Bumi: Tinjauan Pertumbuhan Mikro-Organisme, Proses Metabolisme dan Biodegradasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 16(1): 9–24.
- Kusumaningrum, R., Supriadi, A. dan Hanggita, S. 2013. Karakteristik Dan Mutu Teh Bunga Lotus (*Nelumbo nucifera*). *Jurnal Fishtech*. 2(01): 9–21.
- Laaria, S., Toyli, J., Solakivi, T. dan Ojali, L. 2016. Firm Performance And Customer-Driven Green Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*. 112: 1960–1970.
- Latifah, F., Taufiq, H. dan Fitriyana, M. 2019. Prospek Pengembangan Pala Rakyat Di Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*. 7(1): 14–21.
- Latifah, F., Taufiq, H. dan Fitriyana, N. M. 2023. Uji Antioksidan dan Karakterisasi Minyak Atsiri dari Kulit Jeruk Purut (*Citrus hystrix* D. C). *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*. 8(1): 46–62.

- Lestari, F. Y., Ismono, R. H. dan Parasmatiwi, F. E. 2019. Prospek Pengembangan Pala Rakyat Di Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*.7(1): 14–21.
- Liu, P., Yuan, Z., Zhang, S., Xu, Z. and Li, X. 2018. Experimental Study Of The Steam Distillation Mechanism During The Steam Injection Process For Heavy Oil Recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 166: 561–567.
- Ma'ruf, M., Sukarti, E., Purnamasari, E. dan Sulistianto. 2013. Penerapan Produksi Berish Pada Industri Pengolahan Terasi Skala Rumah Tangga di Dusun Selangan Laut Pesisir Bontang. *Jurnal Ilmu Perikanan Tropis*. 18(2): 1–8.
- Manning, S. 2010. *Deadly Diseases and Epidemics: Escherichia coli Infection, Ed ke-2*. New York: Chelsea Publishers.
- Marpaung, J. A. ., Dewi, F. . dan Raswen, E. 2019. Sabun Transparan Berbahan Dasar Minyak Kelapa Murni Dengan Penambahan Ekstrak Daging Buah Pepaya. *Jurnal Agroindustri Halal*. 5(2): 161–170.
- Maryati. 2023. Isolasi, Karakterisisasi, dan Identifikasi Senyawa Kimia dari Minyak Atsiri Biji Pala Papua (*Myristica argentea* Warb). *Gorontalo Agriculture Technology Journal* 6(2): 65–73.
- Maya, K., Zacharah, J. and Krishnamurthy, T. 2005. Chemical Composition Of Essential Oil Of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt) Accessions. *Journal Spices and Aromatic Crops* 13(2): 135–139.
- Medicine, N. L. 1999. Bank Data Zat Berbahaya (HSDB). *Bethesda, MD*. Hlm 343.
- Mien, D. J., Carolin, W. A. dan Firhani, P. A. 2015. Penetapan Kadar Saponin Pada Ekstrak Daun Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata* Prain varietas *S. Laurentii*) Secara Graimetri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kesehatan*. 2(2): 67.
- Mumpuni, A. S. dan Sasongko, H. 2017. Mutu Sabun Transparan Ekstrak Etanol Herba Pegagan (*Centella asiatica* L.) Setelah Penambahan Sukrosa. *Pharmaciana*. 7(1): 71–78.
- Mustamu, S. dan Pattiruhu, G. 2018. Pembuatan Biopellet Dari Kayu Putih Dengan Penambahan Gondorukem Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil : Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan dan Pertanian*. 2(1): 91–100.

- Naibaho, D., Yamkan, V. Y., Weni dan Wiyono. 2013. Pengaruh Basis Salep Terhadap Formulasi Sediaan Salep Ekstrak Daun Kemangi (*Ocinum sanchum* L). Pada Kulit Punggung Kelinci Yang Dibuat Injeksi *Staphylococcus*. *Jurnal ilmiah farmasi. UNSRAT*. 2(62): 27–33.
- Nanan, N. 2007. Teknologi Pengolahan Pala. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian. Balai Besar Penelitian Dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Jakarta.
- NIST. 2023. NIST Mass Spectrometry Data Center. National Institut Of Standards Teknology. <https://chemdata.nist.gov/>. Diakses Pada 1 Januari 2024
- Novita, E., Khotijah, Purbasari, D. dan Pradana, H. A. 2021. Kajian Penerapan Produksi Bersih Di Agroindustri Kopi Wulan, Kecamatan Maesan , Kabupaten Bondowoso. *Teknik Pertanian Lampung*. 10(2): 263–273.
- Nurdjannah, N. 2007. Tekhnologi Pengolahan Pala. Buku. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Bandung.
- Nurwati dan Hasdar, M. 2021. Sifat Organoleptik Kue Brownies Dengan Penambahan Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*). *Journal of Food Technology and Agroindustry*. 3(2): 69–75.
- Parliansyah, R. 2019. *Studi Produktivitas Dan Potensial Pala (Myristica Fragans) Di HKM Rangai Sejahtera*. (Skripsi). Universitas Lampung.
- Polii, F. 2018. Penelitian Penyulingan Minyak Pala ”Siauw” Metode Uap Bertekanan Dan Karakteristik Mutu Minyak Pala. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 8(1): 25.
- Polii, F. F. 2016. Nutmeg Oil Refining Research “Siauw” Pressurized Steam Method And Characteristics Of Nutmeg Oil. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 8(1): 23–34.
- Prayogo, Y., Putra, R., Hadiyanto, I., Nihayah, E., Syafi, W., Sari, R. dan Batabura, I. 2022. Anti-Termite Activity of Melia azedarach Extracts. *Jurnal Sylva Lestari*. 10(1): 1–11.
- ProLH Gtz. 2007. “*Penduan Penerapan Eko-Efisiensi Usaha Kecil Dan Menengah Sektor Batik*.” Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- PubCham. 2023. Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isopropyl-5-methyl-9-methylene. National Library of Medicine. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/DL_Laudanosoline-hydrobromide. Diakses pada 1 Januari 2024.

- PubCham. 2023. *DL-Laudanosoline Hydrobromide*. National Library Of Medicine. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/DL-Laudanosoline_hydrobromide. Diakses pada 1 Januari 2024.
- PubCham. 2023. *Phenanthrene*. National Library Of Medicine. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/DL-Laudanosoline_hydrobromide. Diakses Pada 1 Januari 2024
- Radwan, M., Morad, M., Ali, M. . dan Wasfy, K. 2020. A Solar Steam Distillation System For Extracting Lavender Volatile Oil. *Energy Reports*. 6: 3080–3087.
- Rahardiyan, D., Poluakan, M. and Moko, E. 2020. Physico-chemical properties of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) of North Sulawesi Nutmeg Fullerene. *Journal of Chemistry*. 5(1): 23–31.
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S. dan Komala, S. 2018. *Eschericia Coli : Patogenitas, Analisis, Dan Kajian Risiko*. Ipb Press. Bogor.
- Rahim, A., Febriani, Y. dan Azim, M. 2023. Uji Perbandingan Anti Oksidan Dari Produk Teh Daun Kelor, Teh Bunga Rosellia dan Teh Daun Melati Dengan Metode Seduhan Suhu Konstan. *Jurnal Sains dan Kesehatan (J. Sains Kes.)*. 5(1): 69–74.
- Rahman. 2011. *Uji Keragaan Biopellet Dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza Sativa Sp.) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbaru*. (Skripsi). Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rahman, N., Esah, E. and Fazilah, A. 2015. Toxicity of Nutmeg (Myristicin): A Review. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 5(3): 61–64.
- Rangkuti, F., Agustina, R., Mustaqimah dan Musrarfril. 2019. Effect Of Old Distillation On Rendemen And Quality Of Essential Oils On Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt). *Rona Teknik Pertanian*. 11(1): 47–59.
- Rastuti, U., Widyaningsih, S., Kartika, D. dan Ningsih, D. R. 2013. Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Daun Pala Dari Banyumas Terhadap *Staphylococcus aureus* Dan *Escherichia coli* Serta Identifikasi Senyawa Penyusunnya. *Journal Molekul*. 8(2): 197–203.
- Rianto, F. 2021. *Perancangan Strategi Produksi Bersih Di Unit Percetakan BPPT Thamrin Jakarta*. (Skripsi) Universitas Satya Negara Indonesia. Jakarta.
- Rijayanti, R. P., Luliana, S. dan Trianto, H. F. 2014. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Mangga Bacang (*Mangifera foetida* L.) Terhadap *Staphylococcus aureus* Secara In Vitro. *Jurnal mahasiswa PSPD FK Universitas Tanjungpura*.1(1): 1–18.

- Ryan, K. dan Ray, C. 2004. *Sherris Medical Microbiology (Edisi Ke-4th Ed.)*. McGraw Hill. ISBN 0-8385-8529-9.
- Safitri, E. 2019. *Uji Presipitasi Kalsium Karbonat (CaCO₃) Oleh Bakteri Ureolitik Dari Gua Kembar Di Kawasan Karst Malang, Jawa Timur*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Saptowo, A., Supriningrum, R. dan Supomo. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Kulit Batang Sekilang (*Embeliaborneensis Scheff*) Terhadap Bakteri *Propionibacterium acnes* dan *Staphylococcus epidermidis*. *Al Ulum Sains dan Teknologi*. 7(2): 93–97.
- Saragih, A. 2013. *Karakteristik Biopellet Dari Campuran Cangkang Sawit Dan Kayu Sengon Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. (Skripsi). Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sari, A. N., Kusdianti dan Diningrat, D. S. 2018. Analisis Gc-MS Senyawa Bioaktif Pencegah Penyakit Degeneratif Dari Ekstrak Etanol Kulit Buah Jamblang (*Syzygium cumini*). *Elkawnie : Journal of Islamic Science and Technology*. 4(2): 1–14.
- Sari, Puspita, D., Rinawati, D. I. dan Wicaksono, T. S. 2012. “Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Menggunakan Life Cycle Assessment Untuk Menciptakan Sustainable Production Di Industri Kecil Menengah Batik.” *Jurnal Teknik Industri*. 14(2): 137–144.
- Satuhu, S. dan Yulianti, S. 2012. *Panduan Lengkap Minyak Atsiri*. Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Sediarso, sunaryo H, dan nurul amalia. 2013. Efek Antidiabetes Dan Identifikasi Senyawa Dominan Fraksi Kloroform Herbal Ciplukan (*Physalis angulate L*). *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 8(1): 14–24.
- Selpiah, M., Aini dan Ustiawaty, J. 2021. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Biji Areca catechu L. Dalam Menghambat Pertumbuhan *Salmonella typhi*. *Jurnal Analisis Medika Biosains (JAMBS)*. 8(1): 22–29.
- Setiawati, S. dan Yulianti, S. 2020. *Kajian pH dan Kadar Air dalam SNI Sabun Mandi Padat Di Jabedebog*. Prosiding PPIS 2020. Hal 293-300. Tangerang Selatan.
- Shofiana, I. 2020. *Uji Aktivitas Antibakteri Pada Bakteri Salmonella Sp. Dengan Ekstrak Kulit Batang, Daun Dan Buah Mangrove Sonneratia Caseolaris*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Shulman, T., Phair, J. dan Sommer, M. 2011. Dasar biologis dan klinis penyakit infeksi, Edisi ke-4 (terjemahan). Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.

- Sinaga, D. 2014. *Statistik Dasar*. UKI Press. Jakarta Timur.
- Sipahelut, S. G. 2019. Perbandingan Komponen Aktif Minyak Atsiri dari Daging Buah Pala Kering Cabinet Dryer Melalui Metode Distilasi Air dan Air-Uap. *AGRITEKNO, Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(1): 8–13.
- Sipahelut, S. G. dan Telussa, I. 2011. Karakteristik Minyak Atsiri Dari Daging Buah Pala Melalui Beberapa Teknologi Proses. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* 4(2): 126–134.
- Sipayung, S. 2015. *Pendugaan Cadangan Karbon Pada Tanaman Karet (Hevea Brasiliensis Muell. Arg). Di Perkebunan Rakyat Desa Tarean Kecamatan Silindak, Kabupaten Serdang Bedagai*. (Disertasi). Universitas Sumatera Utara.
- Soeroso, S. S. D. 2012. *Pala (Myristica Spp.) Maluku Utara Berdasarkan Keragaman Morfologi, Kandungan Atsiri, Pendugaan Seks Tanaman Dan Analisis Marka SSR*. (Disertasi). Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suci, N. K. 2017. *Kajian Daya Hambat Ekstrak Kulit Dan Jantung Pisang Muli (Musa Acuminata) Sebagai Antimikroba Alami Dalam Menurunkan Cemaran Echerichia Coli Pada Daging Ayam (Gallus Domesticus)*. (Skripsi). Universitas Lampung.
- Sudoyo, A. ., Setiyohadi, B., Alwi, I., Simadibrata, M. dan Setiati, S. 2010. *Buku Ajar Ilmu Penyakit Dalam Jilid II Edisi V*. Jakarta: Interna Publising.
- Sukeksi, L., Meirany, S. dan Lionardo, S. 2018. . Pembuatan Sabun Transparan Berbasis Minyak Kelapa Dengan Penambahan Ekstrak Buah Mengkudu (Morinda citrifolia) Sebagai Bahan Antioksidan. *Jurnal Teknik Kimia USU* .7(2): 33–39.
- Swantara, I. M. D., Rita, W. S. dan Hernindya, A. 2017. Identifikasi Isolat Antikanker *Spons Hyrtios Erecta*. *Indonesian Journal of Cancer*. 10(4): 123.
- Tafase, A. 2023. Essential Oil: Editorial. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*. 7(8).
- Tjakra Marcellus Gilbert, Edi Suryanto, H. F. A. 2022. Analisis GC-MS dan Aktivitas Antioksidan Asap Cair Dari Limbah Cangkang Biji Pala. *Journal Chemistry Progress*. 15(2): 93–100.
- Ulya, N. N., Fitri, I. dan Widayawati, D. I. 2020. Gambaran Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri Salmonella typhi dan Salmonella paratyphi pada Penderita Demam Tifoid. *Jurnal intesis : penelitian sains terapan dan analisisnya*. 1(2): pp 40-46.

- Undadraja, B. dan Hartari, W. R. 2023. Analisis Mutu dan Financial Virgin Coconut Oil (VCO) dengan Metode *Fermentasi Sacchoromyces Cerevisiae*. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 23(4): 525–532.
- Wahyuni. 2015. Deteksi Staphylococcus Aureus Penyebab Mastitis Subklinis Pada Kerbau Perah (Bubalus Bubalis) Di Kabupaten Enrekang. Universitas Hasanudin. Makassar.
- Wahyuni, Y. A. D. 2016. Profil Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs) Pada Perairan Dan Sedimen Hutan Mangrove Kota Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- Wandita, A. 2018. *Aktivitas Minyak Atsiri Biji Pala (Myristica Fragrans Houtt.) Terhadap Stress Oksidatif Mencit (Mus Musculus L.) Dengan Metode Forced Swim Test*. (Skripsi). Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wibowo, P. and Febriani, Y. 2018. Essential Oil Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities of Nutmeg (Myristica fragrans Houtt.) From Garut West Java. *From Garut West Java*. 5(3): 82–87.
- Widiyanti, R. 2015. Pemanfaatan Kelapa Menjadi Virgin Coconut Oil (VCO) Sebagai Antibiotik Kesehatan Dalam Upaya Mendukung Visi Indonesia Sehat 2015. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015. Malang. Indonesia: 577-584*.
- Yan, J., Liu, W., Cai, J., Wang, Y., Li, D., Hua, H. and Cao, H. 2021. Advances in Phenazines over the Past Decade: Review of Their Pharmacological Activities, Mechanisms of Action, Biosynthetic Pathways and Synthetic Strategies. *Journal Marine Drugs*. 19(610): 1–28.
- Yang, X. and Wang, H. 2014. *Pathogenic E. Coli*. Lacombe Research Centre, Lacombe. Canada.
- Zaenuri, Sudarmadji, Fandeli, C. dan Sudibyakto. 2011. Pengelolaan Lingkungan Industri Berbasis Ekoefisiensi di Kawasan Simongan Kota Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 18(1): 29–42.