

Intensifikasi Proses pada Penyulingan Minyak Serai Wangi dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik (*Ultrasonic following Steam-Hydro Distillation*)

Bangkit Gotama^{1*}, Ashadi Sasongko²

^{1,2}Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan

*bangkit.gotama@lecturer.itk.ac.id

Abstract

The Steam-Hydro Distillation (SHD) is a common method in the citronella oil processing industry. However, the yield and quality of the oil produced tend to be inconsistent, and the energy consumption is quite high. Hence, the process intensification in the distillation of citronella oil using ultrasonic waves is expected to increase the yield and quality of the oil produced, as well as a reduction in energy requirements. This research was conducted to examine the effect of operating conditions of sonication on the Ultrasonic following Steam-Hydro Distillation (US-SHD) on the yield and quality of citronella oil. The extraction of citronella oil with the US-SHD was carried out through the sonication stage for 5, 10, 15 and 20 minutes and used a power of 180 and 360 watts. This process then followed by the distillation stage for 60 minutes. In the US-SHD, the highest yield of citronella oil obtained by sonication for 20 minutes with 360 watts of power was 1,13%. Whereas in the SHD, the yield obtained was only 0,85%. The results of this study also showed that with a slight increase in energy consumption due to ultrasonic wave induction (13,92%), it was able to produce a substantial increase in citronella oil yield (31,83%), but did not significantly influence its density.

Keywords : citronella oil, process intensification, ultrasonic following steam-hydro distillation, sonication

Abstrak

Pada industri pengolahan minyak serai wangi, metode penyulingan kukus (*Steam-Hydro Distillation* atau SHD) merupakan metode yang umum digunakan. Namun, kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan cenderung tidak konsisten, serta tingkat konsumsi energi yang cukup besar. Intensifikasi proses pada penyulingan minyak serai wangi dengan menggunakan gelombang ultrasonik diharapkan mampu meningkatkan kuantitas maupun kualitas minyak yang dihasilkan serta mengurangi kebutuhan energi. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh kondisi operasi sonikasi pada metode *Ultrasonic following Steam-Hydro Distillation* (US-SHD) terhadap rendemen dan kualitas minyak serai wangi. Penyulingan minyak serai wangi dengan metode US-SHD dilakukan melalui tahap sonikasi selama 5, 10, 15 dan 20 menit dan menggunakan daya sebesar 180 dan 360 watt serta dilanjutkan tahap penyulingan selama 60 menit. Pada penyulingan metode US-SHD, rendemen minyak serai wangi tertinggi diperoleh pada saat sonikasi selama 20 menit dengan daya 360 watt, yakni sebesar 1,13%. Sedangkan pada metode SHD, rendemen yang diperoleh hanya mencapai 0,85%. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa dengan sedikit peningkatan konsumsi energi dikarenakan induksi gelombang ultrasonik (13,92%), mampu menghasilkan peningkatan rendemen minyak serai wangi yang substansial (31,83%) namun tidak berpengaruh signifikan terhadap densitasnya.

Kata kunci : minyak serai wangi, intensifikasi proses, ultrasonic following steam-hydro distillation, sonikasi

1. Pendahuluan

1.1. Penyulingan Minyak Serai Wangi

Minyak serai wangi (*Cymbopogon winteranus*) merupakan salah satu komoditas ekspor minyak atsiri yang diminati di pasar global dan menjadi produk unggulan Indonesia

selain minyak nilam, minyak pala dan minyak cengkeh. Permintaan pasar global terhadap minyak serai wangi setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 3-5 %. Meningkatnya permintaan pasar terhadap minyak serai wangi utamanya disebabkan oleh

kebutuhan berbagai industri, antara lain insektisida (natural repellent) dan parfum. Selain itu, minyak serai wangi juga memiliki efek terapeutik lainnya seperti anti fungi, anti bakteri dan *anti parasitic* [1]. Saat ini, minyak serai wangi juga turut dikembangkan sebagai bahan aditif pada bahan bakar minyak (*fuel bioadditive*) [2].

Umumnya di Indonesia, minyak serai wangi diperoleh dari penyulingan daun serai wangi secara tradisional yaitu dengan metode kukus (*Steam-Hydro Distillation* atau SHD). Selain itu, metode yang telah dikembangkan antara lain metode rebus atau *Hydro Distillation* (HD) [3] dan metode uap atau *Steam Distillation* (SD) [4]. Walaupun rendemen minyak yang diperoleh dengan menggunakan metode SHD lebih rendah, yakni berkisar antara 0,69-2,17% [5], jika dibandingkan metode HD yang mampu mencapai 2,43% [3], metode SHD masih tetap diminati dikarenakan teknologinya cukup sederhana dan membutuhkan biaya produksi yang relatif lebih rendah. Disamping itu, suhu uap pada metode SHD lebih merata, rendemen lebih besar, kualitas lebih baik dan waktu penyulingan yang lebih singkat dibandingkan metode HD [6]. Hingga saat ini, metode SHD masih lebih populer di kalangan penyuling tradisional skala kecil dibandingkan metode SD, dikarenakan rendemen SD hanya mencapai 0,7% dan membutuhkan biaya investasi yang cukup besar [7].

1.2. Intensifikasi Proses pada Penyulingan Minyak Serai Wangi

Intensifikasi proses berbasis gelombang ultrasonik telah banyak diaplikasikan pada penyulingan minyak atsiri. Metode ini cukup efektif untuk meningkatkan rendemen dan kualitas produk minyaknya seperti yang telah dilakukan oleh Solanki dkk [8]. Pada penelitian tersebut, proses penyulingan minyak serai wangi dilakukan dengan metode *Sono-Hydrodistillation* (Sono-HD). Metode tersebut menggunakan kontak langsung *sonicator* (sonikasi) dengan bahan serai wangi yang disertai penyulingan rebus. Selain itu terdapat

metode kontak lainnya, yaitu perendaman bahan dalam *ultrasonic bath* dan sonikasi dengan *sonicator* sebagai *pre-treatment* bahan sebelum proses penyulingan [9].

Hasil yang diperoleh pada penelitian yang dilakukan Solanki dkk [8] menunjukkan bahwa aplikasi gelombang ultrasonik pada proses penyulingan minyak serai wangi mampu menghasilkan rendemen yang lebih tinggi (3,08%) jika dibandingkan dengan metode HD (2,33%) pada kondisi waktu ekstraksi selama 13 menit, massa bahan 5 gr, skala amplitudo ultrasonik sebesar 50% dan *pulse interval* selama 30 detik *on* dan 30 detik *off*. Dengan optimalisasi menggunakan *central composite design*, diperoleh rendemen minyak optimal sebesar 4,118% pada kondisi operasi waktu ekstraksi 21 menit, massa bahan 5 gr, skala amplitudo ultrasonik sebesar 70% dan *pulse interval* selama 10 detik *on* dan 50 detik *off*. Dari aspek kualitasnya, metode Sono-HD memiliki kandungan *citronellol* yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode HD, yakni 34,25% dan 20,96%.

Beberapa penelitian lainnya turut membuktikan keefektifan intensifikasi proses berbasis gelombang ultrasonik, seperti yang dilakukan oleh Kowalski dkk [10], di mana metode US-HD mampu meningkatkan rendemen minyak *peppermint* sebesar 10,6% dibandingkan metode HD. Selain itu, hasil penelitian Pingret dkk [11] menunjukkan bahwa waktu ekstraksi minyak kulit jeruk dengan menggunakan Sono-HD menjadi lebih singkat (20 menit) dibandingkan metode HD (80 menit). Pada penelitian penyulingan minyak *thyme*, metode *ultrasonic following steam distillation* (US-SD) memberikan hasil peningkatan rendemen sebesar 9% jika dibandingkan metode SD [12].

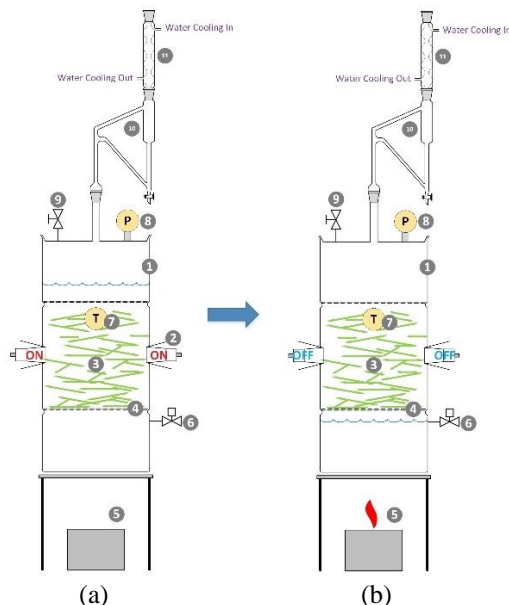
Selama ini, implementasi gelombang ultrasonik pada proses penyulingan minyak atsiri hanya dikombinasikan dengan metode HD dan SD (US-HD, US-SD dan Sono-HD). Sedangkan metode SHD belum pernah dikombinasikan dengan gelombang ultrasonik (US-SHD), terutama pada minyak serai wangi. Di masa yang akan datang, diharapkan metode

US-SHD mampu menggantikan peran metode konvensional SHD pada penyulingan tradisional. Oleh karena itu, diperlukan kajian pengaruh kondisi operasi sonikasi terhadap kualitas dan kuantitas minyak serai wangi yang diperoleh serta analisis komparasi metode US-SHD dengan SHD konvensional.

2. Metoda Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seperangkat alat ketel suling beserta sarangan bahan dan dilengkapi transduser ultrasonik (*sonicator*), termometer bimetal dan *pressure gauge*. Untuk memperoleh distilat, alat dilengkapi dengan *clevenger* dan kondensor. Bahan-bahan yang dibutuhkan adalah daun serai wangi segar yang berasal dari kebun petani di Desa Salok Api Darat (Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur) dan air. Berikut adalah skema peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Skema peralatan penyulingan minyak serai wangi dengan metode US-SHD: [a] tahap sonikasi dan [b] tahap penyulingan;

keterangan: (1) ketel suling; (2) transduser sonikasi; (3) daun serai wangi; (4) sarangan; (5) kompor gas; (6) *drain valve*; (7) termometer; (8) *pressure gauge*; (9) *safety valve*; (10) *clevenger*; dan (11) kondensor

2.2. Persiapan Bahan Baku

Langkah pertama adalah membersihkan daun serai wangi dari pengotor dengan menggunakan air bersih. Kemudian memilah dan menimbang daun serai wangi segar sebanyak 600 gram. Selanjutnya mencacah daun hingga berukuran ± 5 cm seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Tahap persiapan bahan baku daun serai wangi : pemotongan daun

2.3. Sonikasi

Tahap pertama yang harus dilakukan adalah memasukkan daun serai wangi ke dalam ketel suling. Kemudian menambahkan air sebanyak 5 liter ke dalam ketel, kemudian menutup rapat tutup ketel suling. Selanjutnya menyalakan transduser ultrasonik sesuai dengan variabel daya sonikasi (180 dan 360 watt) selama waktu sonikasi (5, 10, 15 dan 20 menit) yang tampak seperti pada gambar 3. Kondisi operasi yang dipertahankan dalam tahap ini adalah frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 28kHz, suhu sonikasi 25°C dan tekanan atmosferik. Setelah sonikasi selesai, langkah selanjutnya dilanjutkan pada tahap penyulingan.



Gambar 3. Tahap sonikasi: [kiri] ketel suling dan [kanan] generator ultrasonik;

2.4. Penyulingan SHD

Langkah pertama adalah mengeluarkan air yang ada di dalam ketel suling sebelumnya tersisa hingga batas *drain valve* (dibawah sarangan bahan). Kemudian merangkai *clevenger* dan kondensor pada tutup ketel suling. Selanjutnya menyalakan kompor gas serta mengalirkan air pendingin di kondensor. Skema peralatan penyulingan tersaji dalam gambar 4. Waktu penyulingan selama 60 menit dimulai dari tetes pertama distilat keluar dari kondensor dan tertampung di dalam *clevenger*. Langkah berikutnya adalah memisahkan minyak serai wangi dari campuran minyak-air di dalam *clevenger*. kemudian dilanjutkan dengan pemurnian minyak serai wangi dari kandungan air penambahan garam sodium sulfat untuk mengabsorpsi air. Setelah itu, minyak serai wangi dihitung massa dan densitasnya.



Gambar 4. Tahap penyulingan

2.5. Analisa Produk

Minyak serai wangi yang telah dimurnikan ditimbang dan diukur volumenya sehingga dapat diperoleh rendemen dengan menggunakan persamaan[13]:

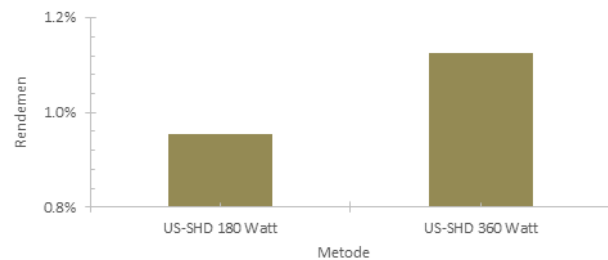
$$\% \text{ rendemen} = \frac{\text{massa minyak (gr)}}{\text{massa daun (gr)}} \quad (1)$$

$$\text{densitas (gr/ml)} = \frac{\text{massa minyak (gr)}}{\text{volume minyak (ml)}} \quad (2)$$

3. Hasil Penelitian

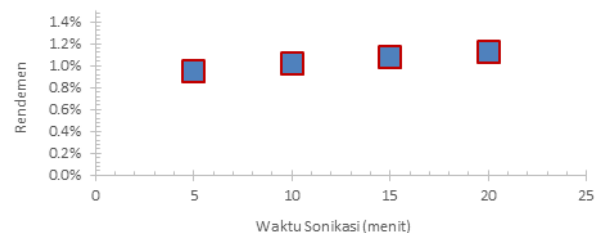
3.1. Pengaruh Waktu dan Daya Sonikasi

Berdasarkan gambar 5, peningkatan daya gelombang ultrasonik (sonikasi) dapat mempengaruhi kenaikan % rendemen minyak serai wangi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada daya gelombang ultrasonik 360 watt, % rendemen yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan pada daya 180 watt, yakni dari 0,95% menjadi 1,13% atau mengalami peningkatan sebesar 17,88%. Hal tersebut dapat disebabkan oleh peningkatan intensitas radiasi gelombang ultrasonik sehingga mampu meningkatkan transfer massa dan panas melalui efek kavitasi dan fluktuasi mekanik pada media pelarut air[14].

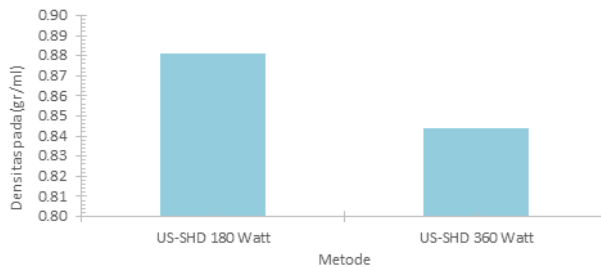


Gambar 5. Pengaruh daya sonikasi terhadap % rendemen minyak serai wangi pada sonikasi selama 20 menit

Waktu sonikasi juga mempengaruhi peningkatan % rendemen minyak serai wangi yang diperoleh. Dengan kenaikan waktu sonikasi dari 5 hingga 20 menit, terjadi penambahan % rendemen dari 0,94% sampai dengan 1,13% atau persentase kenaikan sebesar 19,23%. Lamanya waktu penetrasi sonikasi mengakibatkan durasi kontak kavitasi dengan dinding sel semakin meningkat sehingga laju transfer massa minyak dari dalam sel menuju pelarut semakin besar[15].

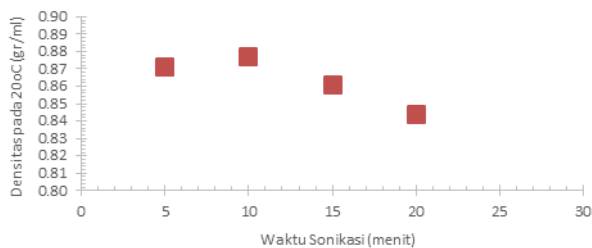


Gambar 6. Pengaruh waktu sonikasi terhadap % rendemen minyak serai wangi pada daya sonikasi 360 watt



Gambar 7. Pengaruh daya sonikasi terhadap densitas minyak serai wangi pada sonikasi selama 20 menit

Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa daya sonikasi mampu mempengaruhi kualitas (densitas) minyak serai wangi. Densitas minyak serai wangi pada variabel daya sonikasi 360 watt bernilai lebih rendah dibandingkan dengan pada daya 180 watt, yakni 0,8810 gr/ml terhadap 0,8438 gr/ml. Intensitas energi penetrasi sonikasi yang cukup besar memungkinkan terjadinya degradasi komponen berat penyusun minyak serai wangi menjadi komponen yang lebih ringan (densitas rendah) sehingga memicu penurunan densitas minyak serai wangi.

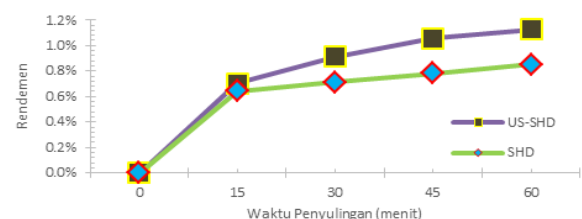


Gambar 8. Pengaruh waktu sonikasi terhadap densitas minyak serai wangi pada daya sonikasi 360 watt

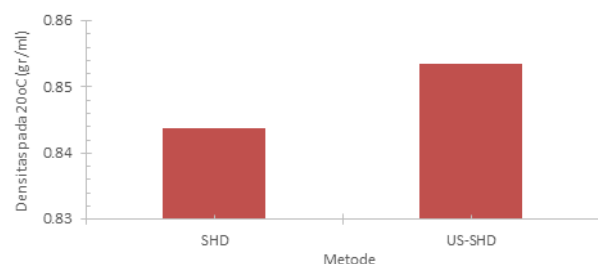
Berdasarkan gambar 8, densitas minyak serai wangi mengalami peningkatan selama rentang waktu sonikasi kurang dari 10 menit. Setelah 10 menit sonikasi, densitas minyak akan mengalami penurunan densitas. Peningkatan waktu sonikasi yang cukup lama dapat memicu terjadinya degradasi komponen berat menjadi komponen yang lebih ringan sehingga dapat menurunkan densitas minyak serai wangi.

3.2. Perbandingan Metode SHD dan US-SHD

Gambar 9 menunjukkan bahwa metode US-SHD mampu menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional SHD. Dengan adanya gelombang ultrasonik pada metode US-SHD, rendemen minyak serai wangi dapat mengalami peningkatan sebesar 31,83% jika dibandingkan dengan metode konvensional (SHD). Pada 15 menit pertama, laju peningkatan % rendemen minyak cenderung sama, baik metode US-SHD maupun SHD, yakni 0,0469 %/menit dan 0,0427%/menit. Setelah 15 menit penyulingan, terjadi penurunan laju dimasing-masing metode. Namun, dari 15 menit hingga 60 menit penyulingan, laju peningkatan % rendemen metode US-SHD lebih tinggi dibandingkan dengan metode SHD, yakni 0,0094 %/menit dan 0,0047 %/menit. Sehingga, untuk menghasilkan rendemen yang sama, metode SHD memerlukan waktu penyulingan yang lebih lama dibandingkan dengan metode US-SHD. Efek kavitasi yang berasal dari gelombang ultrasonik mampu meningkatkan transfer massa minyak ke dalam pelarut, penghancuran dinding sel daun, pencampuran antara minyak dengan pelarut dan penetrasi pelarut ke dalam jaringan sel daun [15].



Gambar 9. Profil % rendemen penyulingan minyak serai wangi metode US-SHD dan SHD



Gambar 10. Profil densitas minyak serai wangi metode US-SHD dan SHD

Densitas minyak serai wangi yang dihasilkan oleh metode US-SHD lebih tinggi dibandingkan dengan metode SHD seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Hal tersebut dapat disebabkan oleh peningkatan intensitas radiasi gelombang ultrasonik sehingga mampu meningkatkan transfer massa dan panas melalui efek kavitasi dan fluktuasi mekanik pada media pelarut air [14].

Tabel 1 menunjukkan bahwa metode US-SHD memiliki keunggulan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional SHD. Hal tersebut memperkuat kelebihan metode US-SHD selain laju peningkatan % rendemen. Metode US-SHD hanya membutuhkan 3.201kJ/kg minyak yang diperoleh, dibandingkan dengan metode SHD yang memerlukan 3.704kJ/kg minyak.



Gambar 11. Perolehan minyak serai wangi pada tahap penyulingan

Tabel 1. Parameter Perhitungan Konsumsi Energi Penyulingan Minyak Serai Wangi

No.	Sumber Energi	Konsumsi Energi	Waktu Operasi
1	Ultrasonik	2.200 watt	20 menit
2	Gas Elpiji	47.089,3 kJ/kg*	2 jam
3	Pompa Air Pendingin	18 watt	2 jam

*1 tabung gas elpiji 3kg dapat digunakan selama 15 jam operasi (api sedang)

Tabel 2. Konsumsi Energi Penyulingan Minyak Serai Wangi

No.	Metode	Konsumsi Energi
1	SHD	3.704 MJ/kg minyak
2	US-SHD	3.201 MJ/kg minyak

4. Kesimpulan

Waktu dan daya sonikasi memiliki korelasi positif dengan kenaikan % rendemen minyak. Namun tidak berpengaruh signifikan terhadap densitasnya, baik pada variabel waktu sonikasi (standar deviasi 0,0134) maupun daya sonikasi (standar deviasi 0,0263). Melalui parameter operasi tersebut, metode penyulingan minyak serai wangi US-SHD dapat membuktikan bahwa % rendemen dan kualitas minyak yang diperoleh lebih baik jika dibandingkan dengan metode konvensional SHD. Selain itu, penyulingan minyak serai wangi dengan metode US-SHD membutuhkan waktu ekstraksi yang lebih singkat dan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional SHD. Metode SHD membutuhkan waktu penyulingan lebih dari 60 menit agar dapat menghasilkan rendemen yang sama dengan metode US-SHD pada waktu penyulingan selama 60 menit. Di samping itu, metode SHD mengkonsumsi energi 15,72% lebih tinggi dari pada metode US-SHD.

5. Saran

Diperlukan adanya kajian lebih lanjut mengenai analisis parameter kondisi operasi suhu sonikasi, frekuensi gelombang yang dapat dikombinasikan dengan metode SHD maupun metode HD dan SD.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan (Risbang), Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM), Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) yang telah mendukung dalam pendanaan penelitian ini, sesuai dengan nomor perjanjian kontrak 007/SP2H/LT/DRPM/2019 dan 814/IT10.III/PPM.01/2019.

7. Daftar Pustaka

- [1] A. Wany, S. Jha, V. K. Nigam, and D. M. Pandey, "Chemical Analysis and Therapeutic Uses of Citronella Oil from *Cymbopogon Winterianus*: A Short

- Review,” *Int. J. Adv. Res.*, vol. 1, no. 6, pp. 504–521, 2013.
- [2] M. Rizal, S. Wiharna, and A. Wahyudi, “Bioindustry development based on citronella essential oil to meet the needs for renewable energy: A review,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 65, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/65/1/012008.
- [3] R. Timung, C. R. Barik, S. Purohit, and V. V. Goud, “Composition and anti-bacterial activity analysis of citronella oil obtained by hydrodistillation: Process optimization study,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 94, pp. 178–188, 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2016.08.021.
- [4] E. Cassel, R. M. F. Vargas, and P. Joseph, “Experiments and Modeling of the Cymbopogon winterianus Essential Oil Extraction by Steam Distillation,” *J. Mex. Chem. Soc.*, vol. 50, no. 3, pp. 126–129, 2006.
- [5] B. B. Sembiring and F. Manoi, “Pengaruh Pelayuan Dan Penyulingan Terhadap Rendemen Dan Mutu Minyak Serai Wangi (Cymbopogon nardus) The Effect Of Withering And Distillation Of Oil Quality And Yield Of Citronella (Cymbopogon nardus),” in *Seminar Nasional Swasembada Pangan, Politeknik Negeri Lampung*, 2015, no. April, pp. 447–451.
- [6] A. Anwar, N. Nugraha, A. Nasution, and R. Amaranti, “Teknologi Penyulingan Minyak Sereh Wangi Skala Kecil Dan Menengah Di Jawa Barat,” *Teknoin*, vol. 22, no. 9, pp. 664–672, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss9.art4.
- [7] A. Wany, A. Kumar, S. Nallapeta, S. Jha, V. K. Nigam, and D. M. Pandey, “Extraction and characterization of essential oil components based on geraniol and citronellol from Java citronella (Cymbopogon winterianus Jowitt),” *Plant Growth Regul.*, vol. 73, no. 2, pp. 133–145, 2014, doi: 10.1007/s10725-013-9875-7.
- [8] K. P. Solanki, M. A. Desai, and J. K. Parikh, “Sono hydrodistillation for isolation of citronella oil: A symbiotic effect of sonication and hydrodistillation towards energy efficiency and environment friendliness,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 49, pp. 145–153, 2018, doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.038.
- [9] F. Chemat, Zill-e-Huma, and M. K. Khan, “Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 18, no. 4, pp. 813–835, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.
- [10] R. Kowalski, G. Kowalska, J. Jamroz, A. Nawrocka, and D. Metyk, “Effect of the ultrasound-assisted preliminary maceration on the efficiency of the essential oil distillation from selected herbal raw materials,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 24, pp. 214–220, 2015, doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.12.008.
- [11] D. Pingret, A. S. Fabiano-Tixier, and F. Chemat, “An Improved Ultrasound Clevenger for Extraction of Essential Oils,” *Food Anal. Methods*, vol. 7, no. 1, pp. 9–12, 2014, doi: 10.1007/s12161-013-9581-0.
- [12] R. Kowalski and J. Wawrzykowski, “Effect of ultrasound-assisted maceration on the quality of oil from the leaves of thyme *Thymus vulgaris* L,” *Flavour Fragr. J.*, vol. 24, no. 2, pp. 69–74, 2009, doi: 10.1002/ffj.1918.
- [13] N. ‘Amirah F. N. Ahmad Lutfi, M. F. Atan, N. A. Rahman, S. F. Salleh, and N. Abdul Wahab, “Study on Mathematical Model in Simulating Cymbopogon Winterianus Essential Oil Extraction By Steam Distillation,” *J. Appl. Sci. Process Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, 2016, doi: 10.33736/jaspe.170.2016.
- [14] Q. Ma, X. D. Fan, X. C. Liu, T. Q. Qiu, and J. G. Jiang, “Ultrasound-enhanced subcritical water extraction of essential oils from *Kaempferia galangal* L. and their comparative antioxidant activities,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 150, pp. 73–79, 2015, doi: 10.1016/j.seppur.2015.06.013.
- [15] M. Vinatoru, T. J. Mason, and I. Calinescu, “Ultrasound assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 97, pp. 159–178, 2017, doi: 10.1016/j.trac.2017.09.002.

