

PERANCANGAN DAN APLIKASI DISTILASI MINYAK SERAI WANGI MENGGUNAKAN *PHOTOVOLTAIC* DENGAN *SYSTEM* TENAGA *HYBRID*

Ulfa Mutia^{1,*}, Teuku Rihayat², Syafruddin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe 24301

Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

*Email: ulfamutia35@gmail.com

Abstract

Utilization of sunlight is currently very effective as a renewable energy. Photovoltaic systems are modules that are used to absorb heat exposed to sunlight which is converted into electrical energy. The amount of potential sunlight that can be absorbed depends on the size of the cell and the absorption capacity of solar cells against sunlight. This study uses 4 solar panels to produce heat which is used for the essential oil production process. The total power that can be generated within 6 hours is 8664 kJ. Based on the test results of the distillation tool design using solar cells, energy absorption efficiency is not 100% absorbed due to lost energy and the number of solar panels used has not reached the power requirement, but to overcome this, during the study a hybrid power system was also used, where power is also supplied from the mains National Electric Company (PLN). Test results on citronella oil (Chimbopogan Nardus L) are close to SNI standards. The optimum drying time to produce the highest % yield is 1 day of drying time with 6 hours of distillation time. The results of citronella produced met Indonesian quality standards, where the density test value was 0.8869, and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), namely citronella content of 15.75% at a retention time of 15.875 minutes. Geraniol content in essential oil was obtained at 28.70% retention time of 18.050 minutes which are within the range of the Indonesian National Standard (SNI) 2385-2006.

Keywords : *citronella, distillation, essential oil, hybrid.system, photovoltaic.*

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi dan industrialisasi menyebabkan terjadi peningkatan pemakaian bahan bakar. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi konsumsi masyarakat terhadap bahan bakar minyak adalah dengan memanfaatkan bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan dan lebih ramah lingkungan [1-3]. Energi matahari merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai energi pengganti bahan bakar minyak, karena ketersediaannya yang tidak terbatas dan merupakan energi yang dapat diperbaharui [4]. Penggunaan energi matahari dapat mengurangi pencemaran

lingkungan. Investasi energi matahari di negara berkembang sangat penting untuk menghindari krisis energi yang timbul dari ketergantungan berlebihan pada bahan bakar fosil [5, 6].

Berbagai survei dilakukan di beberapa industri dan diperoleh data bahwa 24 persen panas yang dibutuhkan dalam dunia industri adalah dari suhu ambien hingga 180°C. Di beberapa industri, kebutuhan panas proses adalah 100 persen di bawah 180°C yang secara ekonomis sebetulnya dapat dihasilkan dari sumber tenaga surya. Saat ini pemanfaatan terbesar energi matahari adalah untuk kebutuhan rumah tangga dan pembangkit uap untuk beberapa kebutuhan industri tertentu. Namun, penggunaan energi

matahari untuk ekstraksi minyak *essential oil* dari tanaman obat dan aromatik baru saja dieksplorasi dan efeknya masih belum diketahui [7].

Penelitian lainnya menunjukkan bahwa sebagian besar proses industri seperti pasteurisasi, ekstraksi, sterilisasi, pengeringan, hidrolisis, distilasi, evaporasi, pencucian, dan polimerisasi dapat beroperasi dalam medium kisaran suhu tersebut. Rentang suhu untuk semua proses ini terletak antara 60°C dan 280°C. Satu proses industri yang penting, yang biasa digunakan dalam rentang temperatur tersebut adalah proses distilasi, yang digunakan untuk mengekstrak *essential oil* dari tanaman minyak atsiri yang mudah menguap [8]

Distilasi berbasis matahari sangat memungkinkan untuk dioperasikan dengan biaya yang lebih rendah, sehingga meningkatkan pendapatan terutama dalam memproduksi *essential oil* yang membutuhkan biaya operasi tinggi. Dari berbagai jenis proses distilasi yang digunakan untuk mengekstrak *essential oil* dari bahan tanaman, proses yang biasa digunakan termasuk penggunaan *hydro distillation*, distilasi uap dan distilasi air, distilasi dengan uap dianggap sebagai proses yang paling menguntungkan [9]

Penelitian ini dilakukan dengan melibatkan desain, pengembangan, dan eksperimental dari penerima uap yang baru dirancang yang mampu menghasilkan uap menggunakan reflektor Scheffler untuk proses distilasi. Untuk melengkapi proses dalam rangka menghadapi cuaca yang berawan atau waktu malam, sumber energi cadangan dapat digunakan untuk proses distilasi dapat berlangsung selama 24 jam. Untuk tujuan itu, boiler biomassa juga dikembangkan dan dibuat dengan solar sistem distilasi untuk operasional berkelanjutan.

Tujuan penelitian melakukan ekstraksi *essential oil* dengan menggunakan rancangan sistem distilasi energi surya. Sistem yang dirancang terdiri dari reflektor primer (*Scheffler concentrator*), penerima

uap, alat distilasi, kondensor dan *florentine flask* untuk menghasilkan ekstraksi *essential oil* dari biomassa. Sistem biomassa tambahan juga akan digunakan dengan jalan digabungkan dengan unit distilasi untuk melengkapi sistem surya jika kondisi cuaca buruk atau kondisi iklim musim hujan.

Sinar matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan foton. ketika terkena sinar matahari. Foton yang merupakan partikel sinar matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon sel surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan "hole" dengan muatan positif (+).

Dipersimpangan daerah positif dan negatif, akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lain di persimpangan positif dan negative ini, maka akan menimbulkan arus listrik [10]

Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi dan distilasi atsiri serei wangi dan dianalisa kandungan minyak atsiri dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*, untuk menentukan jenis dan persentasi senyawa kimia dalam esensial oil. Proses distilasi dilakukan dengan menggunakan proses pemanasan tenaga surya bergerak (*power point tracking*) yang belum pernah digunakan dalam proses industri termasuk industri *essential oil* dengan tujuan meningkatkan kemampuan proses distilasi ketika terintegrasi dengan konsentrator surya. Kebaruan lainnya terletak pada operasional distilasi yang mampu bekerja secara hybrid

untuk mengantisipasi kondisi cuaca mendung atau hujan.

METODE PENELITIAN

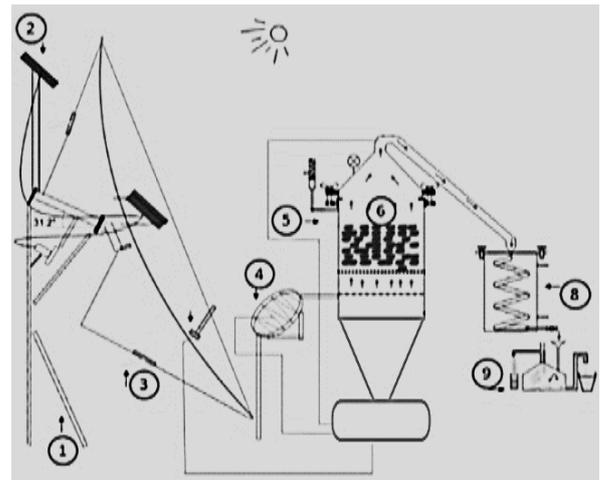
Penelitian dilakukan secara kuantitatif dengan pendekatan eksperimen lapangan dan laboratorium. Energi *solar cell* yang dihasilkan dari rancangan desain peralatan yang dibuat digunakan untuk proses distilasi uap minyak serai wangi. Proses distilasi minyak serai wangi dilakukan dengan jumlah bahan baku sebanyak 25 kg, waktu penjemuran divariasikan selama 1 dan 2 hari, sementara waktu distilasi divariasikan selama 240 menit, 300 menit, dan 360 menit.

Alat yang digunakan untuk proses distilasi minyak serai wangi yaitu seperangkat alat destilasi, beaker glass, pH meter, panel surya, alkohol meter, pengaduk, timbangan, gelas ukur. Adapun bahan yang digunakan adalah air, tanaman serai wangi dan aquades.

Prosedur Perancangan Dan Pengujian

Rancangan Desain Distilasi Surya Secara Hybrid

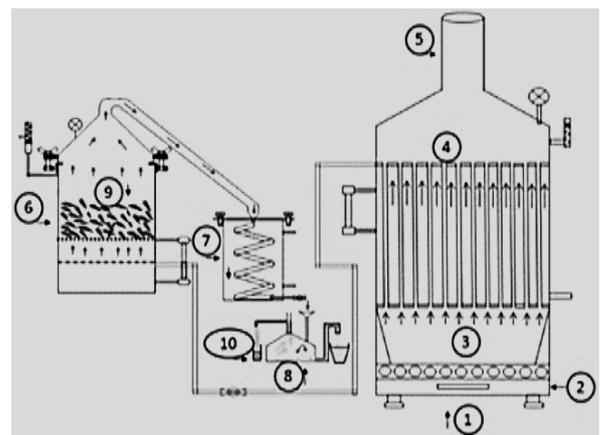
Penerima uap yang akan dirancang dibangun dan dipasang untuk proses distilasi uap seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dan disain alat biomassa boiler vertical diperlihatkan pada Gambar 2. Sistem penerima uap terdiri dari 350 mm diameter pelat alumunium melingkar. Di bagian dalam uap penerima, sirip aluminium ditempatkan pada jarak sirip 35 mm, untuk meningkatkan waktu tinggal dari air yang mengalir, yang masuk melalui pipa 25,4 mm, bejana penerima panas diisolasi dengan kain wool untuk meminimalkan kerugian termal. Sistem distilasi surya terdiri dari bejana konsentrator *Scheffler* berukuran 10 m, penerima uap, alat distilasi, kondensor dan botol *florentine* untuk memisahkan minyak,



Gambar 1. Rancangan skematik alat sistem distilasi

Keterangan Gambar

1. Primary Reflector
2. Photovoltaic Panel
3. Telescopic Clamp mechanism
4. Steam Receiver
5. Distillation still column
6. Plant material
7. Condenser
8. Essential oil



Gambar 2. Desain skema alat biomassa boiler vertikal .

Keterangan gambar

1. Biomass boiler
2. Ash Pit
3. Biomass Furnace (combustion chamber)
4. Fire Tube
5. Chimney
6. Distillation Still
7. Condenser (Heat Exchanger)
8. Florentine Flask
9. Herb or Biomass
10. Extracted essential oil

Pengujian Penyulingan Minyak Serai Wangi

Penyulingan minyak serai wangi dilakukan dengan memasukkan sampel kedalam batch bahan baku, selanjutnya uap diproduksi oleh penerima uap dan kemudian diberi bahan baku melalui bahan tanaman yang ditempatkan di keranjang

Uap yang dihasilkan dari bahan tanaman melalui difusi uap serta komponen volatile dari bahan tanaman esensial dialirkan ke condenser dan labu *Florentine* dan esensial oil dipisahkan dengan air berdasarkan perbedaan density. Minyak diambil dan disimpan pada suhu 4°C. Hasil sampingan seperti hydrolisol juga di kumpulkan di wadah yang lain.

Analisa GC-MS

Peralatan GC-MS dihubungkan dengan spektrometer massa (Agilent 5975C) menggunakan kolom kapiler DB-1MS (30 x 0,25 mm 1.D 0,25 µm tebal lapisan). Suhu injektor dan detektor ditetapkan pada 250 °C, suhu oven diprogram pada 60 °C selama 3 menit, dinaikkan pada 3 °C / menit hingga 240 °C dan kemudian ditahan selama 10 menit. Helium sebagai pembawa gas diatur pada laju alir 1,2 mL /menit. Volume sampel yang disuntikkan adalah 1,0 µL.

Rendemen Minyak

Rendemen minyak dihitung dengan menimbang berat erlenmeyer kosong, lalu Masukan secukupnya sampel kedalam erlenmeyer, selanjutnya timbang berat erlenmeyer ditambah dengan sampel, kemudian hasilnya dibagi dengan berat bahan baku dan dikalikan 100

$$\text{Rendemen (\% yield)} = (B-A)/C \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana A adalah berat erlenmeyer kosong, B adalah berat erlenmeyer + dengan sampel, dan C adalah berat sampel awal

Analisa Densitas

Pengukuran densitas dilakukan dengan cara menimbang piknometer kosong, selanjutnya isi piknometer kosong dengan distilat minyak serai wangi dan ditimbang kembali. Massa piknometer yang telah diisi dikurangi dengan massa piknometer kosong, Selanjutnya densitas dihitung dengan rumus:

$$\rho = m/v \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian diperoleh energi yang dapat diserap selama waktu penyerapan seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data perhitungan kemampuan penyerapan panas *solar cell* secara teoritis

No	Waktu Penyerapan (Jam)	Berat Energi Yang Terserap (J)
1	1	1.440.000
2	2	2.880.000
3	3	4.320.000
4	4	5.760.000
5	5	7.200.000
6	6	8.664.000

Dari Tabel 1 terlihat bahwa energi panas yang terserap selama waktu pengujian tidak sesuai untuk memenuhi kebutuhan proses distilasi sehingga dibutuhkan system *hybrid* dari PLN. Kurangnya energi panas yang terserap dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang berubah-ubah serta kurangnya jumlah sel surya selama perancangan alat untuk menghasilkan energi panas.

Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan tangki bahan baku seberat 25 kg yaitu 57.559 kJ, Waktu penyulingan bervariasi yaitu pada 240, 300, dan 360 menit. Keluaran energi terdiri dari alat element listrik (*heater*) yang digunakan untuk memanaskan air menjadi uap dan juga terdapat *condenser* untuk mendinginkan hasil proses distilat.

Secara aktual hasil penyerapan panas solar cell ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data perhitungan kemampuan penyerapan panas solar sell secara actual

No	Waktu Penyerapan (Jam)	Besar Energi Yang Terserap (J)
1	1	1.080.000
2	2	2.160.000
3	3	2.592.000
4	4	3.456.000
5	5	5.040.000
6	6	4.332.000

Kapasitas penyerapan panas dari 1 panel solar cell yaitu 100 Wp. Pada rancangan ini terdapat 4 panel yang artinya dalam satu jam dapat menyerap panas sebesar 1.440 kJ, dan pada waktu maksimum yaitu 6 jam panel dapat menyerap panas sebesar 8.664 kJ, ini berdasarkan perhitungan teoritis. Adapun kebutuhan panas yang tidak tercukupi dari panel surya, diberikan oleh dukungan dari listrik PLN.

Hasil pengujian yang dilakukan ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengujian alat distilasi minyak sereh wangi

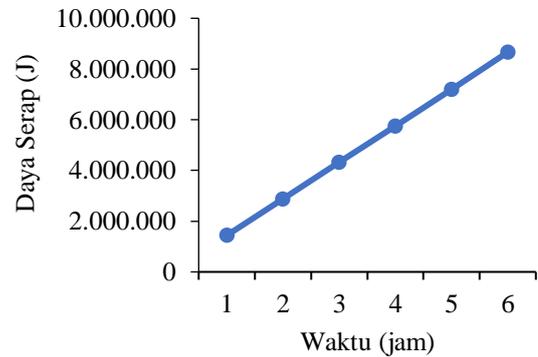
Waktu Operasi (menit)	Waktu Penjemuran (hari)	Volume Distilat	Warna	Densitas (mg/L)
240 menit	1	26,9	Kuning	0,8778
	2	25,5	Kuning	0,8757
300 menit	1	34,3	Kuning	0,8793
	2	31,7	Kuning Bening	0,8755
360 menit	1	42,25	Kuning Bening	0,8869
	2	40,1	Kuning Bening	0,8759

Dalam pengujian terlihat bahwa hasil terbaik terdapat pada waktu penjemuran 1 hari dan waktu distilasi paling lama yaitu 360 menit

Kemampuan Penyerapan Panas Matahari dengan Solar Cell Secara Teoritis

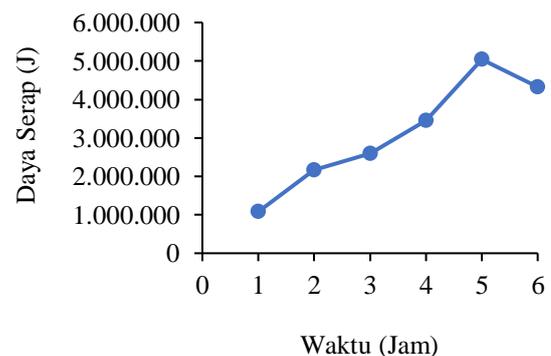
Sebelum di lakukan penelitian terlebih dahulu dihitung kemampuan solar cell untuk

menyerap panas yang digunakan untuk memanaskan ketel penyulingan, berikut grafik hubungan antara efisiensi penyerapan panas terhadap waktu



Gambar 3. Hubungan efisiensi penyerapan panas terhadap waktu secara teoritis

Berdasarkan Gambar 3 terlihat semakin lama waktu maka energi panas yang di serap oleh solar sell yang akan dikonversi menjadi sumber listrik semakin meningkat. Namun dalam kenyataannya, cuaca yang tidak mendukung dapat mempengaruhi proses penyerapan panas matahari menjadi tidak optimal bahkan gagal. Penyerapan panas yang diukur secara aktual di lapangan diperlihatkan pada Gambar 3. Mengingat cuaca beberapa bulan ini cenderung mendung dan hujan, sehingga penyerapan tidak maksimal sesuai dengan perhitungan teoritis yang diharapkan, namun hal ini teratasi dengan suplai listrik dari PLN untuk menyokong terlaksananya penelitian ini.

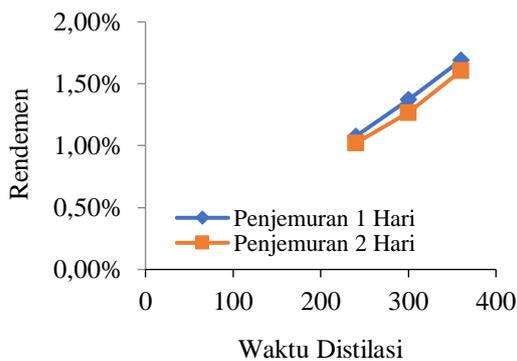


Gambar 4. Hubungan efisiensi penyerapan panas terhadap waktu secara actual

Berdasarkan Gambar 3 terlihat penyerapan panas yang tidak stabil, hal ini disebabkan oleh cuaca dan *lost* energi, karena tidak semua energi yang diserap dapat tersimpan dengan baik dan maksimal. Selama proses penyulingan untuk mengontrol arus listrik berlebihan ataupun memutuskan distribusi energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* yang disimpan kedalam baterai, maka digunakan *controller* sebagai pengaman terhadap kerusakan pada *solar cell* dan kerusakan baterai akibat suplai energi listrik yang berlebihan. Salah satu tahapan untuk memperpanjang umur perangkat *photovoltaic*.

Pengaruh Waktu Operasi Penggunaan Distilasi Surya terhadap Rendemen Kualitas Minyak Serah Wangi

Pengaruh waktu operasi distilasi surya terhadap rendemen minyak serah wangi diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh waktu penggunaan distilasi surya terhadap rendemen kualitas minyak serah wangi

Dari Gambar 5 diketahui bahwa rendemen yang dihasilkan mengalami fluktuasi. Rendemen yang paling banyak didapatkan sebanyak 0,84% dengan perlakuan distilasi selama 6 jam dan waktu penjemuran selama 1 hari. Waktu penjemuran yang efisien untuk serah wangi adalah 1 hari karena semakin lama waktu penjemuran maka kadar minyak yang terdapat didalam tumbuhan akan berkurang. Waktu distilasi paling baik adalah 6 jam, hal

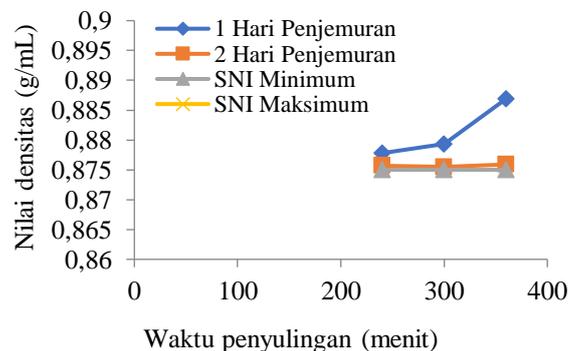
ini terjadi akibat semakin lama suatu bahan menerima panas maka proses difusi semakin merata yang menyebabkan proses distilasi semakin efisien.

Pengaruh waktu penjemuran terhadap rendemen membuktikan bahwa kondisi bahan yang menghasilkan % rendemen yang besar adalah saat kondisi bahan mulai layu dibandingkan dengan kondisi bahan segar. Jadi kondisi dan perlakuan bahan tersebut bisa meningkatkan proses % rendemen minyak atsiri sesuai dengan literature yang menyatakan bahwa proses pelayuan bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam kelenjar bahan, sehingga proses ekstraksi lebih mudah dilakukan dan pencacahan merupakan usaha memperluas area penguapan dan kontak dengan air sehingga minyak serah wangi lebih mudah terekstraksi

Analisa Karakteristik minyak serai wangi

Analisa Densitas

Hasil pengujian densitas minyak serah wangi pada variasi waktu penyulingan diperlihatkan pada Gambar 6



Gambar 6. Densitas minyak serah wangi dengan variasi waktu penyulingan

Secara umum densitas minyak atsiri tidak melebihi nilai 1,000 gram/mL dan menurut Standar Nasional Indonesia minyak serah memiliki densitas antara (0,875-0,893) gram/mL.

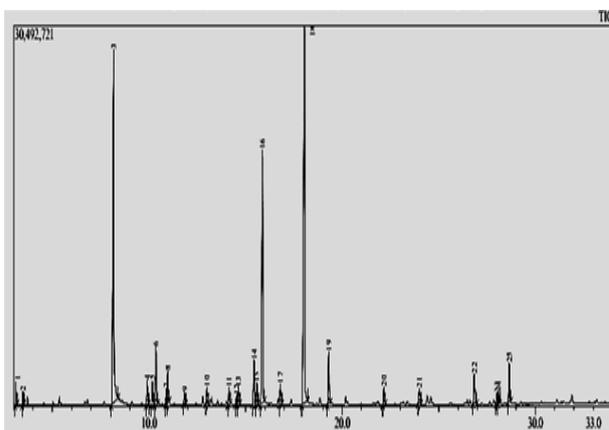
Dari Gambar 6 terlihat bahwa densitas minyak serah yang dihasilkan tidak melebihi

nilai range SNI yaitu (0,875 – 0,893) g/mL dan densitas diatas sangat dipengaruhi terhadap waktu operasi dan waktu penjemuran. Densitas minyak sereh wangi tertinggi yang didapatkan pada waktu penjemuran 1 hari dengan waktu operasi 6 jam yaitu 0,8869 g/mL. Sedangkan nilai densitas minyak sereh wangi terendah yang didapatkan pada waktu penjemuran 2 hari pada waktu operasi 4 jam yaitu 0,8755 g/mL.

Nilai densitas minyak sereh wangi berkisar antara 0,8869 g/mL. Pengaruh waktu penyulingan terhadap densitas minyak sereh menunjukkan bahwa pada ketiga waktu pemanasan bahan menunjukkan pengaruh yang nyata pada nilai densitas. Secara umum densitas minyak atsiri tidak melebihi nilai 1,000 gram/mL dan menurut Standar Nasional Indonesia minyak sereh memiliki densitas antara (0,850–0,892) gram/mL. Dari Gambar 6, densitas minyak sereh wangi yang dihasilkan berkisar antara 0,8465 hingga 0,8917 gram/mL.

Analisa Senyawa Menggunakan GC-MS

Identifikasi komponen-komponen ekstrak minyak atsiri menggunakan peralatan GC-MS dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik GC-MS minyak sereh wangi hasil penyulingan

Dari hasil analisa menggunakan GC-MS menunjukkan senyawa kimia yang teridentifikasi dalam sampel minyak atsiri

sereh wangi diantaranya Sitronella, Puncak dan waktu retensi dari data kromogram. hasil GC-MS dari dua komponen utama minyak atsiri sereh wangi, diperoleh kadar sitronella 15,75% pada waktu retensi 15.875 menit, kadar geraniol pada minyak atsiri diperoleh sebesar 28,70% waktu retensi 18.050 menit. Kadar geraniol pada minyak atsiri biasanya digunakan untuk pembuatan parfum. Kadar sitronelal yang diperoleh Peneliti hampir mendekati dengan nilai SNI dari kadar sitronelal pada sereh wangi. Adapun SNI dari kadar sitronelal yaitu 30–45 %. Namun untuk kadar geraniol memiliki nilai yang rendah jika dibandingkan dengan nilai SNI dari geraniol yang berkisar antara 65–90%. Hal ini disebabkan karena minyak yang dihasilkan pada awal proses masih bercampur antara citronella dengan zat impuritis dan juga kadar air yang terdapat masih tinggi. Sehingga kemurniaan dari minyak sereh wangi menjadi berkurang.

Pada sistem kromatografi gas, senyawa yang memiliki titik didih rendah akan keluar terlebih dahulu menuju detector karena titik didih yang lebih rendah mengakibatkan senyawa lebih mudah menguap sehingga waktu retensi masing-masing senyawa ditentukan oleh titik didih senyawa tersebut.

Perbedaan waktu retensi dari kedua senyawa tersebut dapat disebabkan interaksi senyawa dengan fase diam yang dalam hal ini adalah kolom yang digunakan pada system kromatografi gas. Kolom yang digunakan bersifat nonpolar sehingga senyawa yang bersifat polar yang keluar terlebih dahulu dan yang akan bersifat lebih nonpolar akan tertahan lebih lama berada di kolom. Kromatogram yang dihasilkan terbentuk dari masing-masing komponen senyawa kimia yang terkandung dalam suatu sampel. Semakin besar persentase suatu komponen dalam sampel tersebut maka puncak yang dihasilkan akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Sifat fisik dan kimiawi minyak sereh wangi yang dihasilkan dari proses penyulingan dengan

memanfaatkan sinar matahari menggunakan *photovoltaic*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Rancangan alat distilasi uap dengan menggunakan sumber energi dari sinar matahari menggunakan bantuan *solar cell* dapat diaplikasikan dengan baik.
2. Untuk kapasitas pemanasan 25 kg air untuk proses distilasi minyak serai wangi energi yang dibutuhkan sebesar 57.559 kJ, dengan jumlah 4 panel surya berdaya 100 Wp, total energi yang dihasilkan selama proses penyulingan 6 jam yaitu 8.664 kJ.
3. Hasil analisa minyak serai wangi yang dihasilkan dengan variasi waktu penjemuran, % rendemen tertinggi adalah pada waktu penjemuran selama 1 hari dengan waktu penyulingan selama 6 jam.
4. Adapun hasil uji laboratorium serei wangi yang dihasilkan sudah memenuhi standar baku mutu Indonesia, dimana nilai uji densitas, dan GC-MS berada dalam range Standar Nasional Indonesia (SNI) 2385-2006. Nilai densitas minyak sereh wangi tertinggi yang didapatkan pada waktu penjemuran 1 hari dengan waktu operasi 6 jam yaitu 0,8869.
5. Hasil GC-MS dua komponen utama minyak atsiri sereh wangi, diperoleh kadar sitronella 15,75% pada waktu retensi 15.875 menit dan kadar geraniol pada minyak atsiri diperoleh sebesar 28.70% waktu retensi 18.050 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kholiq, I., 2015. *Analisis pemanfaatan sumber daya energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung*

subtitusi BBM. Jurnal Iptek, Vol. 19, No. 2, pp. 75-91.

- [2] Ma'ruf, K., Fadlullah, Y. A., and Setiyawan, B. P., 2023. *Rancang bangun pembangkit listrik turbine mini hydro sebagai sumber energi ramah lingkungan*. Jurnal Multidisiplin West Science, Vol. 2, No. 05, pp. 314-323.
- [3] Arman, M. *et al.*, 2017. *Produksi bahan bakar alternatif briket dari hasil pirolisis batubara dan limbah biomassa tongkol jagung*. Journal Of Chemical Process Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 16-21.
- [4] Purwoto, B. H. *et al.*, 2018. *Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif*. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, Vol. 18, No. 1, pp. 10-14.
- [5] Artiningrum, T. and Havianto, J., 2020. *Meningkatkan peran energi bersih lewat pemanfaatan sinar matahari*. Geoplanart, Vol. 2, No. 2, pp. 100-115.
- [6] Yana, S. *et al.*, 2022. *Dampak ekspansi biomassa sebagai energi terbarukan: kasus energi terbarukan Indonesia*. Jurnal Serambi Engineering, Vol. 7, No. 4.
- [7] Affando, A. and Hendri, Z., 2020. *Perancangan alat ekstraksi esensial kulit jeruk berbasis tenaga surya*. in *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, Vol. 6, No. 1, pp. 65-71.
- [8] Kinanda, A., Nugroho, A. T., and Sugiharto, A., 2023. *Optimasi produksi minyak atsiri dari daun cengkeh dan gagang cengkeh (*syzgium aromaticum*) menggunakan metode destilasi uap*. Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri, pp. 1-7.
- [9] Sehwantoro, W., Hindarti, F., and Oktivina, M., 2021. *Rancang bangun dan uji kinerja destilator elektrik sebagai alat destilasi pada proses pembuatan bioethanol*. SAINSTECH:

Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi, Vol. 31, No. 2, pp. 1-9.

- [10] Afrida, Y., Fitriono, F., and Setiabudi, B., 2021. *Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya solar home system*. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Vol. 2, No. 1, pp. 23-27.