



Koloid Karbon Aktif untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Minyak Atsiri Bunga Lavender sebagai Material Terapiaroma: Studi Tekanan Uap, Kinetika, dan Termodinamika Adsorpsi

Jihan Rosyadah¹, Pratama Jujur Wibawa,^{2*} Eddy Fachriyah²

¹Pemerintah Desa Jekulo, Jln Raya Pati – Kudus No. 197, Kec. Jekulo, Kab. Kudus, Jawa Tengah.

²Laboratorium Kimia Organik, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, SH, No.1 Kompleks Kampus Undip Tembalang Semarang.

*Corresponding author: pratamajw@live.undip.ac.id

Received: 20 Mei 2025 / Accepted: 11 Juni 2025

Available online: 17 Juni 2025

Abstrak

Minyak atsiri bunga lavender merupakan salah satu bahan penting terapi aroma, pengharum ruangan, dan bahan prekursor obat. Untuk meningkatkan efisiensi daya gunanya, perlu diberi tambahan bahan penjerap/adsorben yang unggul, yakni karbon aktif mikro-partikel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rasio volum (v/v) optimal campuran minyak atsiri–koloid karbon aktif yang memberikan efisiensi adsorpsi tertinggi, menentukan model kinetika, dan besaran-besarn termodinamikanya. Untuk itu, penelitian dilakukan dengan membuat variasi perbandingan volume campuran minyak atsiri–koloid karbon aktif adalah 1:1, 1:2, 2:1, 1:3 dan 3:1; variasi suhu termodinamika dan tekanan uap adalah 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, dan 39°C; variasi suhu adsorpsi adalah 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, dan 15 °C; variasi waktu studi kinetika adalah setiap interval waktu 15 menit sampai didapat hasil konstan; dan variasi waktu laju penguapan adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 20 hari. Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan spektroskopi *Fourier-transformed infrared* (FTIR). Hasilnya, campuran minyak atsiri–koloid karbon aktif 2:1 v/v merupakan kondisi optimal yang dapat meningkatkan efisiensi kegunaan minyak atsiri hingga 500 % atau 5 kali lebih efisien. Proses adsorpsi berlangsung melalui kinetika orde dua semu (pseudo order dua), secara eksotermis dan bersifat fisisorpsi dengan nilai ΔH , ΔG , dan ΔS secara berurutan sebesar $-1,805 \text{ kJ mol}^{-1}$, $6,15 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1}$, dan $-3,63 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Kata Kunci: Karbon aktif nano-mikro-partikel; Koloid karbon aktif; Minyak atsiri; Bunga lavender; *Lavandula angustifolia*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki berbagai jenis minyak atsiri. Minyak atsiri merupakan cairan mudah menguap (*volatile*) yang diperoleh dengan cara distilasi uap bunga, biji, daun, batang, kulit batang dan akar suatu tanaman [1]. Minyak atsiri dari bunga lavender (minyak lavender) memiliki metabolit sekunder utama *linalool* yang dilaporkan memiliki efek sedatif sehingga dapat menurunkan risiko insomnia. *Linalool*, *lavandulol*, *linalyl acetate* dan *lavandulyl acetate* bertanggung jawab atas aroma segar-minyak atsiri bunga lavender. Kualitas minyak tergantung pada kandungan *linalool* dan *linalyl acetate* yang tinggi [2]. Selain itu, minyak lavender juga memiliki berbagai aktivitas lain seperti antioksidan, anti bakteri, anti jamur, aktivitas penurun kolesterol, antitumor, anti

inflamasi, aktivitas *analgesic*, aktivitas anestesi lokal, dan aktivitas *anxiolytic* [3]. Minyak lavender secara tradisional digunakan dan disetujui oleh *European Medicines Agency* (EMA) sebagai obat herbal untuk menghilangkan stress dan kecemasan [4]. Banyaknya aktivitas, khasiat, dan wanginya yang sedap menjadikan minyak lavender salah satu minyak yang banyak diminati dalam dunia terapi aroma (aroma terapi) [5]. Lavender (*Lavandula angustifolia*) termasuk salah satu jenis tanaman yang digunakan dalam dunia medis, industri wewangian, termasuk sabun, cat minyak, parfum, losion kulit, pengharum ruangan dan tujuan kosmetik lainnya [6].

Doi:

Pada umumnya minyak atsiri digunakan dengan cara inhalasi/dihirup. Salah satu sifat minyak atsiri adalah aromanya yang menyegarkan ruangan. Minyak atsiri yang digunakan sebagai pengharum ruangan akan cepat habis karena ia bersifat muda menguap pada suhu ruang. Pada pengharum ruangan sering ditambahkan bahan fiksatif (pengikat) agar bau wangi di dalam ruangan bertahan lama. Selama ini bahan fiksatif yang digunakan juga berupa minyak atsiri yang memiliki tekanan uap parsial (tekanan uap mandiri) lebih rendah dibanding minyak atsiri utamanya. Hal ini dinilai masih belum dapat menurunkan kecepatan penguapan minyak atsiri secara signifikan sehingga tujuan untuk memperpanjang manfaat/kegunaan minyak atsiri tidak dapat dicapai. Oleh karena itu maka digunakan alternatif lain yang dinilai lebih baik untuk memperlambat kecepatan penguapan minyak atsiri, yakni dengan menjerab atau mengadsorpsi senyawa-senyawa *volatile* minyak atsiri menggunakan koloid karbon aktif [7].

Karbon aktif sendiri merupakan material berporositas dan luas permukaan yang tinggi, yang dapat dibuat secara mudah dari biomass limbah-limbah pertanian, perkebunan, dan perhutanan. Pori-pori karbon aktif sangat mudah menyerap/mengadsorpsi senyawa-senyawa *volatile* pemberi aroma minyak lavender. Dengan demikian, penambahan karbon aktif pada bahan dasar pewangi ruangan akan dapat menghambat atau mengurangi kecepatan penguapan dari senyawa-senyawa *volatile* minyak lavender. Karbon aktif merupakan salah satu material berpori yang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi [7–8]. Adsorpsi berlangsung apabila permukaan padatan dan molekul gas atau cair saling berkontak [9]. Penggunaan koloid karbon aktif dalam proses adsorpsi minyak atsiri mempunyai keuntungan tersendiri karena murah, mudah cara penggunaannya, dan efisiensi penjerapan tinggi [10].

Pada penelitian ini, rasio volum (v/v) optimal antara minyak lavender dan koloid karbon aktif telah ditemukan. Perilaku adsorpsi dievaluasi melalui studi kinetik dan termodinamika adsorpsi-desorpsi, terutama terkait dengan peran koloid karbon aktif dalam menghambat laju penguapan minyak atsiri.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, Magnetic stirrer (Corning PC-420D, Corning, Amerika Serikat); Magnetic stirrer bar (diameter 6 mm, panjang 20 mm, Vitlab, Jerman); Spektrofotometer Fourier-Transform Infrared (FTIR) (tipe Frontier Perkin Elmer Spectrum Version 10.4.00, Perkin Elmer, Inc., USA), Hot plate (Maspion S-302, PT. Maspion, Indonesia), Gelas ukur (50 Cm^3 , PT. Iwaki Glass Indonesia, Indonesia), Pemanas air (*waterbath*) stainless steel (diameter 18 cm, tinggi 6 cm, Best Master Ware, Indonesia), Pipet ukur (Pyrex, 10 Cm^3 , PT. Iwaki Glass Indonesia); Termometer alkohol skala -10 –

+110, (CV. Indrasari, Indonesia); Erlenmeyer 250 Cm^3 (Mauza Glass Lab, Indonesia), Selang plastik (diameter 15 mm, panjang 1 m, produk lokal); Piknometer (volum 50 Cm^3 , CV. Kit Equipment, Indonesia); Erlenmeyer (Pyrex, 250 Cm^3 , PT. Iwaki Glass Indonesia, Indonesia); Erlenmeyer pipa samping (Pyrex, 250 Cm^3 , PT. Iwaki Glass Indonesia, Indonesia); dan Manometer Pipa U (U – Glass Manometer model 150, Messgeräte, Indonesia).

Bahan: Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel yang berupa minyak atsiri bunga lavender yang diperoleh dari PT Darjeeling Sembrani Aroma (Burgas, Bulgaria); koloid karbon aktif teraktivasi NaOH nanopartikel (ukuran partikel 100-1000 nm berdasarkan PSA, 10-100 nm berdasarkan TEM; produk Lab. Kimia Organik FSM Undip), tween-20 (Merck Schuchardt OHG, Jerman), aquades (produk Lab Terpadu Undip), dan zat warna metil jingga (Merck, India).

2.2. Rangkaian Alat Percobaan

Alat untuk mengukur tekanan uap sampel, yakni campuran minyak lavender- koloid karbon aktif, minyak lavender, dan koloid karbon aktif dirangkai seperti pada Gambar 1. Manometer Pipa U yang digunakan dilengkapi dengan selang penghubung ke sampel, termometer, erlenmeyer sampel, baskom stainless (*waterbath*), dan plat pemanas (*hot plate*).



Legenda:

- 1: Manometer pipa U
- 2: Sampel
- 3: Waterbath
- 4: Plat pemanas
- 5: Termometer
- 6: Slang penghubung sampel ke manometer
- 7: Stative dan klem

Gambar 1: Rangkaian alat manometer pipa U [11]

2.3. Cara Kerja

2.3.1 Pembuatan Koloid Karbon Aktif dan Campuran Minyak Atsiri-Koloid Karbon Aktif

Koloid karbon aktif mikropartikel dibuat berdasarkan prosedur Wibawa, dkk (2024)[12]. Prinsip metode ini adalah sebagai berikut, karbon aktif mikropartikel sebanyak 10 gram ditambah dengan 245 Cm^3 akuades dan 5 Cm^3 tween-20 kemudian di stirrer selama 35 menit. Campuran didiamkan semalam hingga tidak membentuk endapan. Selanjutnya, campuran diagitasi ultrasonik selama 30 menit pada suhu 50 °C, lalu didimkan satu malam pada suhu kamar.

Sementara itu, campuran minyak

Doi:

atsiri-koloid karbon aktif dibuat dengan cara sebagai berikut. Sebanyak 30 Cm³ minyak atsiri bunga lavender dicampur dengan sekitar 30 Cm³ koloid karbon aktif sehingga volume total campuran menjadi 60 Cm³. Dengan cara yang sama, komposisi campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif dibuat dengan berbagai perbandingan volume dari 1:1, 1:2, 2:1, 1:3, dan 3:1 dengan volume total masing-masing 60 Cm³. Proses pencampuran dilakukan di dalam Erlenmeyer 250 Cm³ dengan penambahan tween-20 tetes demi tetes sebanyak 20 Cm³ sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet (*magnetic stirrer*) selama 90 menit hingga diperoleh campuran yang benar-benar homogen.

2.3.2 Pengukuran Densitas Sampel

Sampel yang berupa campuran minyak atsiri bunga lavender-koloid karbon aktif dengan berbagai variasi perbandingan volum diukur densitasnya pada suhu kamar dan tekanan atmosfer menggunakan piknometer berukuran 50 cm³. Langkah awal yang dilakukan adalah membersihkan piknometer dan dilakukan penimbangan pada keadaan piknometer kosong, dan dicatat sebagai massa piknometer awal. Tahap selanjutnya adalah pengisian piknometer kosong dengan sampel hingga penuh. Dalam tahap ini tidak boleh ada gelembung udara di dalam piknometer. Piknometer yang telah tersisi sampel ditutup rapat, jika ada sampel yang meluber membasahi dinding piknometer bagian luar dikeringkan dengan tisu, kemudian ditimbang, dan dicatat sebagai massa akhir piknometer. Setelah diketahui massa piknometer kosong dan massa piknometer ketika berisi sampel maka dengan menggunakan persamaan 1 nilai densitas sampel dapat dihitung [13].

$$\rho = \frac{m1 - m0}{Vp} \quad (1)$$

dimana ρ , $m1$, $m0$, dan Vp adalah secara berurutan adalah densitas atau massa jenis sampel, massa piknometer akhir (terisi sampel), massa piknometer awal (kosong), dan volum sampel yang tentunya sama dengan volum piknometer yang bersangkutan.

2.3.3 Analisis Interaksi Molekuler Minyak Atsiri-Koloid Karbon Aktif

Analisis ini dilakukan menggunakan alat *Spektrofotometer* FTIR. Preparasi sampel diawali dengan pengolesan sampel pada NaCl *window*, kemudian tekan kedua NaCl *window* sehingga tidak ada gelembung udara diantara keduanya. Sampel berbentuk cairan ditempatkan pada bagian sel sebagai film yang tipis diantara dua lapisan NaCl yang transparan terhadap inframerah. Selanjutnya sampel tersebut dimasukkan kedalam ruang scanning sampel didalam alat FTIR.

2.3.4 Pengukuran Tekanan Uap

Tekanan uap sampel diukur menggunakan manometer pipa U yang berisi fluida air raksa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pertama-tama permukaan fluida pada kedua sisi pipa U disetel sama tinggi. Setelah itu, salah satu ujung pipa U dihubungkan dengan erlenmeyer yang sudah terisi sampel, sementara ujung pipa U yang

lain berhubungan dengan udara luar (atmosfer) dengan tekanan 1 atm. Perbedaan tinggi permukaan fluida didalam pipa U menunjukkan besarnya tekanan uap sampel, yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [14].

$$P = P_0 + \rho gh \quad (2)$$

dimana P , P_0 , g , dan h adalah secara berurutan tekanan uap sampel, tekanan uap pada permukaan sampel, konstanta gravitasi bumi, dan perbedaan tinggi fluida antara dua ujung manometer, nilai ρgh merupakan tekanan hidrostatik sampel pada berbagai titik ketinggian fluida. Pengukuran tekanan ini dilakukan dengan cara memvariasi suhu sampel dari 30°C hingga 39°C, pada setiap kenaikan suhu 1°C dilakukan pencatatan perbedaan tinggi permukaan fluida.

Pengukuran tekanan uap untuk studi kinetika adsorpsi dilakukan untuk sampel koloid karbon aktif, minyak atsiri bunga lavender, dan campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif pada rasio (v/v) optimal. Pengukuran tekanan uap dilakukan pada suhu ruang 24°C. Perbedaan tinggi permukaan fluida diamati setiap 15 menit sampai di dapatkan nilai yang konstan. Tekanan uap minyak lavender digunakan sebagai kontrol positif, sedangkan tekanan uap koloid karbon aktif digunakan sebagai kontrol negatif. Studi termodinamika dan penentuan tekanan uap digunakan untuk menentukan rasio volum optimal campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif.

2.3.5 Pengukuran Laju Penguapan

Laju penguapan campuran minyak atsiri bunga lavender-koloid karbon aktif diukur pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Sebanyak 48 cm³ sampel dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 cm³ secara terbuka dengan luas permukaan gelas beaker sebesar 70,37 cm². Pengurangan volum sampel karena penguapan dilakukan setiap hari selama 20 hari, menggunakan gelas ukur 50 cm³. Sebagai kontrol positif laju penguapan digunakan minyak atsiri bunga lavender, dan sebagai kontrol negatif laju penguapan digunakan koloid karbon aktif.

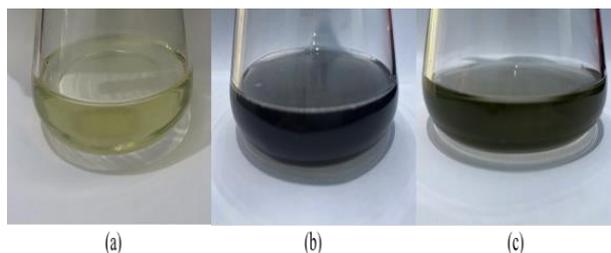
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Campuran dan Densitas Sampel

Hasil pencampuran minyak atsiri bunga lavender dengan koloid karbon aktif dalam berbagai perbandingan volum 1:1, 1:2, 2:1, 1:3, dan 3:1, secara visual sama, yakni berwarna hitam, meski tidak sehitam warna koloid karbon aktif aslinya, sementara minyak atsiri tersebut berwarna kuning pucat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(a).

Dalam bentuk aslinya, minyak atsiri bunga lavender berwarna kuning pucat [15], dan sesuai ISO 3515:2002 [16]. Namun demikian warna ini tergantung pula pada jenis dan tingkat kematangan bunga lavender, yang juga dapat berubah selama penyimpanan, paparan cahaya, dan suhu ruang [17].

Doi:



Gambar 2: (a) Minyak atsiri bunga lavender, (b) Koloid karbon aktif, (c) Campuran minyak atsiri lavender-koloid karbon aktif

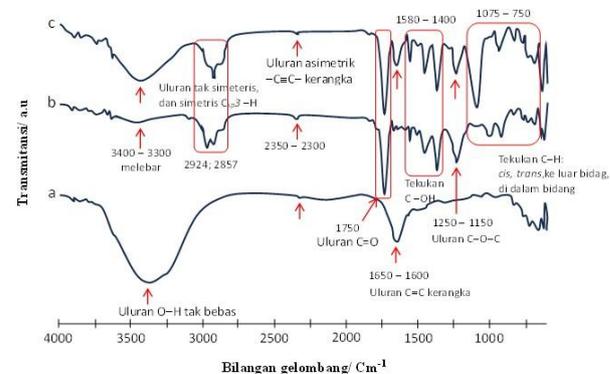
Sementara itu, koloid karbon aktif tampak berwarna hitam seperti tampak pada Gambar 2(b). Hal ini menunjukkan bahwa partikel-partikel koloid karbon aktif menjerap hampir seluruh spektrum panjang gelombang tampak (*visible*) elektromagnetik dan memantulkan sangat sedikit foton-foton panjang gelombang elektromagnetik/cahaya tampak. Ketika minyak atsiri dicampur dengan koloid karbon aktif, campurannya memberikan warna kuning-kehitaman seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2(c). Hal ini mengkonfirmasi bahwa molekul-molekul atsiri terjerap pada pori-pori partikel karbon aktif secara sempurna, dimana jumlah molekul minyak atsiri setara dengan jumlah pori total dari semua partikel koloid karbon aktif. Di samping itu juga mengkonfirmasi bahwa ukuran molekul-molekul minyak atsiri tersebut rata-rata atau bahkan sebagian besar lebih kecil dari pada ukuran pori rata-rata partikel karbon aktif total.

Selanjutnya, terkait dengan densitas minyak atsiri bunga lavender, tercatat sekitar 0,882 gram Cm^{-3} . Nilai densitas ini sesuai dengan ISO 3515:2002 [16] yang mencatat sekitar 0,879 – 0,888 gram Cm^{-3} pada suhu 20°C. Sementara itu, densitas koloid karbon aktif tercatat sekitar 1,006 gram Cm^{-3} . Berdasarkan nilai densitas ini, secara teoritis, jika minyak atsiri dicampurkan ke dalam koloid karbon aktif maka akan terbentuk dua lapisan, yakni lapisan atas dan lapisan bawah. Lapisan atas akan didominasi oleh minyak atsiri, sedangkan lapisan bawah akan didominasi oleh koloid karbon aktif. Namun, faktanya tidak demikian. Berdasarkan pengukuran densitas campuran minyak atsiri bunga lavender-koloid karbon aktif dengan perbandingan volum 1:1; 1:2, 2:1, 1:3, dan 3:1 tercatat secara berurutan sebesar 1,028; 1,044; 1,019; 1,046; dan 1,012 gram Cm^{-3} . Fakta ini secara meyakinkan mengkonfirmasi bahwa kedua larutan tersebut dapat bercampur secara sempurna atau homogen dalam semua perbandingan volum. Terungkap pula di sini bahwa kehadiran molekul-molekul minyak atsiri di dalam campuran terkonfirmasi dapat menambah massa koloid karbon aktif dari semula 1,006 gram menjadi rata-rata 1,030 gram, artinya terjadi peningkatan massa koloid sebesar 0,024 gram untuk setiap 1 Cm^3 volum campuran. Jika molekul *linalyl acetat* ($\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2$, berat molekul 196 gram mol^{-1}) yang merupakan salah satu komponen molekul minyak atsiri lavender [2,18] dipilih sebagai perwakilan molekul penyusun minyak atsiri lavender, maka

dapat dihitung jumlah individu molekul *linalyl acetat* di dalam setiap 1 cm^3 volum campuran tersebut, yakni sekitar $7,3 \times 10^{19}$ molekul. Sejumlah molekul, yakni 73 milyar milyar atau 73 juta triliun molekul *linalyl acetat* inilah yang memberikan kontribusi aroma wangi secara kolektif untuk setiap 1 cm^3 volum campuran koloid tersebut, sekaligus juga berkontribusi memberikan warna kuning. Aroma wangi tentu akan berkurang, demikian juga intensitas warna kuning, sejalan dengan berkurangnya individu molekul *linalyl acetat* maupun molekul lain penyusun minyak atsiri di dalam campuran, karena terlepas dari pori-pori partikel koloid karbon aktif.

3.2. Analisis Gugus Fungsi

Hasil analisis gugus fungsi campuran minyak atsiri bunga lavender-koloid karbon aktif ditampilkan dalam bentuk spektra FTIR pada Gambar 3.



Gambar 3: Spektra FTIR (a) Koloid karbon aktif, (b) Minyak atsiri lavender, (c) Campuran minyak atsiri lavender-koloid karbon aktif 2 : 1 (v/v)

Terlihat pada Gambar 3(a) bahwa spektra FTIR koloid karbon aktif memunculkan puncak-puncak bilangan gelombang yang spesifik-informatif pada tiga posisi, yakni 3400–3300; 2350–2300; dan 1650–1600 cm^{-1} . Sementara Gambar 3(b), dan 3(c) yang secara berurutan merupakan spektra FTIR minyak atsiri lavender, dan spektra FTIR campuran minyak atsiri lavender-koloid karbon aktif, dua-duanya memunculkan puncak-puncak pita bilangan gelombang yang spesifik-informatif pada tujuh posisi yang persis sama, yakni 3400–3300; 2924–2857; 2350–2300; 1750; 1580–1400; 1250–1150; 1075–750 cm^{-1} . Dengan membandingkan kemunculan puncak-puncak pita belangan gelombang tersebut, tampak ada dua puncak bilangan gelombang, yakni 3400–3300 Cm^{-1} dan 2350–2300 cm^{-1} yang muncul di ketiga spektra tersebut. Pita lebar dengan puncak bilangan gelombang 3400–3300 cm^{-1} merepresentasikan vibrasi ulur ikatan O-H bebas dari alkohol dan fenol [19] sedangkan puncak bilangan gelombang pada 2350–2300 cm^{-1} merepresentasikan vibrasi ulur ikatan asimetrik kerangka alkuna, $\text{C}\equiv\text{C}$ yang bukan ujung rantai [20]. Hal ini artinya, struktur kerangka karbon dari partikel-partikel karbon aktif

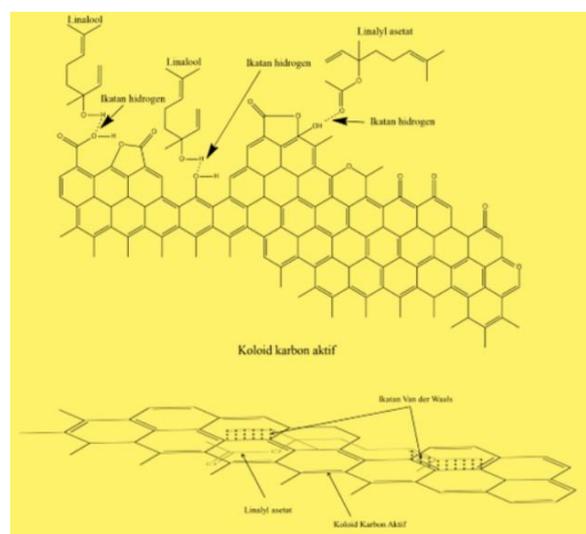
Doi:

pembentuk koloid maupun kerangka karbon molekul-molekul tertentu penyusun minyak atsiri memiliki ikatan rangkap tiga karbon-karbon ($C\equiv C$) yang bebas, dan gugus fungsi alkohol atau fenol yang terikat dengan sesamanya membentuk ikatan hidrogen antar molekul. Intesitas puncak bilangan gelombang yang sangat rendah namun tajam (tidak melebar) menunjukkan bahwa vibrasi ulur ikatan $C\equiv C$ tersebut tidak memberikan perubahan momen dipol ikatan secara signifikan. Ini selaras dengan polaritas ikatan $C\equiv C$ yang sangat rendah. Sebaliknya, intensitas puncak bilangan gelombang yang tinggi dan melebar tersebut menunjukkan bahwa vibrasi ulur ikatan O-H alkohol atau fenol yang bersangkutan memberikan perubahan momen dipol ikatan yang sangat signifikan, dan ia berikatan dengan sesamanya membentuk ikatan hidrogen antar molekul. Adanya gugus hidroksil (-OH) yang bersifat polar pada kerangka karbon partikel-partikel karbon aktif secara meyakinkan dapat memfasilitasi terjadinya ikatan hidrogen dengan gugus yang sama dari molekul-molekul penyusun minyak atsiri lavender. Ikatan hidrogen ini sangat bermanfaat dan memberikan kontribusi besar bagi keberhasilan pembentukan campuran homogen antara koloid karbon aktif dan minyak atsiri lavender dalam semua perbandingan volum.

Homogenitas campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri lavender terkonfirmasi dengan sangat jelas oleh spektra FTIR Gambar 3(c). Terlihat pada Gambar 3(c), intensitas puncak bilangan gelombang $3400-3300\text{ cm}^{-1}$ (vibrasi ulur ikatan O-H bebas) relatif lebih rendah dari pada spektra FTIR koloid karbon aktif, Gambar 3(a), namun relatif lebih tinggi dari pada spektra FTIR minyak atsiri lavender, Gambar 3(b). Selain itu, puncak-puncak spektra FTIR 1750 cm^{-1} hingga 750 cm^{-1} dari minyak atsiri secara persis muncul kembali pada campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri. Hal ini berarti vibrasi ulur, tekuk, goyang, gantung ikatan C=O, C=C, C-OH, C-O-C, dan C-H yang memberikan perubahan momen dipol ikatan masing-masing dari molekul-molekul penyusun minyak atsiri tetap berlangsung secara sempurna pada campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri lavender. Hanya ada satu puncak bilangan gelombang pada $1650-1600\text{ cm}^{-1}$ dari spektra FTIR koloid karbon aktif, yang sama sekali tidak muncul kembali pada FTIR campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri lavender (lihat Gambar 3(a) dan 3(c)). Puncak bilangan gelombang $1650-1600\text{ cm}^{-1}$ merupakan representasi dari vibrasi ulur ikatan C=C tak simetris dari kerangka karbon partikel karbon aktif [19-20], ketidakmunculan puncak ini pada campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri lavender mengindikasikan bahwa ikatan ini mungkin berubah menjadi ikatan rangkap C=C tak simetris semu karena ikatan π nya terabstraksi oleh asam Bronsted (proton, H^+) dari gugus hidroksi (OH alkohol, OH fenol) dari molekul-molekul penyusun minyak atsiri lavender. Molekul-molekul penyusun minyak atsiri lavender ini antara lain linalool, terpen-4-ol, lavandulol, dan α -terpineol [18].

Fakta-fakta tersebut di atas menunjukkan bahwa penambahan koloid karbon aktif pada

minyak atsiri lavender tidak mengubah identitas minyak atsiri yang bersangkutan. Hal ini diperkuat dengan pola spektra FTIR pada daerah sidik jari (bilangan gelombang $< 1200\text{ cm}^{-1}$) campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri persis sama dengan pola spektra FTIR minyak atsiri lavender murni. Diketahui, pola spektra FTIR yang demikian itu merupakan pola spektra molekul-molekul penyusun utama minyak atsiri keluarga *lamiaceae* [21]. Di samping itu, di luar daerah sidik jari, yakni bilangan gelombang 1750 cm^{-1} (vibrasi ulur ikatan C=O) juga muncul pada spektra FTIR minyak atsiri lavender maupun spektra FTIR campuran koloid karbon aktif-minyak atsiri lavender. Dipastikan ikatan C=O tersebut berasal dari gugus karboksil, aldehyd, atau ester molekul-molekul penyusun minyak atsiri lavender, salah satunya *linalyl acetate* [22]. Interaksi antara molekul-molekul minyak atsiri lavender dan kerangka karbon penyusun partikel karbon aktif dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.



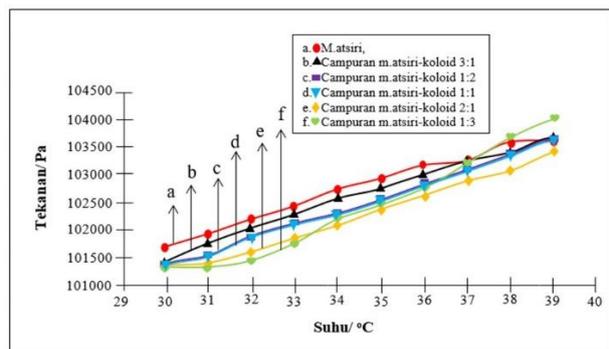
Gambar 4: Interaksi molekuler minyak atsiri teradsorpsi pada permukaan koloid karbon aktif

3.3. Pengukuran Tekanan Uap

Hasil Hasil pengukuran tekanan uap sampel ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5. Terlihat pada Gambar 5(a) bahwa secara umum tekanan uap minyak atsiri relatif lebih tinggi dibanding tekanan uap campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif dalam semua perbandingan volum, terutama pada rentang suhu $30-37^{\circ}\text{C}$ (lihat kurva b, c, d, e, dan f).

Hal ini mengindikasikan minyak atsiri akan lebih cepat menguap dan lebih cepat habis dari wadah penyimpanannya dibanding campurannya dengan koloid karbon aktif. Suhu juga sangat berpengaruh terhadap kenaikan tekanan uap. Terlihat pada Gambar 5, tekanan uap minyak atsiri maupun campurannya dengan koloid karbon aktif terus bertambah secara linear dengan kenaikan suhu dari 30°C hingga 39°C , bahkan cenderung terus bertambah hingga suhu lebih dari 40°C .

Doi:



Gambar 5: Grafik hubungan tekanan uap dalam satuan pascal (a) Minyak atsiri bunga lavender, dan campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif (b) 3:1, (c) 1:2, (d) 1:1, (e) 2:1, dan (f) 1:3 v/v terhadap kenaikan suhu

Diantara fakta-fakta tersebut, yang paling menarik adalah tekanan uap campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif dengan perbandingan volum 2:1 v/v (kurva e) dan 1:3 v/v (kurva f). Terlihat secara jelas pada Gambar 5, bahwa tekanan uap campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v bernilai paling rendah pada rentang suhu 34–39°C. Sementara tekanan uap campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 1:3 v/v bernilai paling rendah pada rentang suhu 30–33°C. Fakta ini mengindikasikan bahwa penambahan koloid karbon aktif pada minyak atsiri bunga lavender dapat mengurangi kecepatan penguapan minyak atsiri bunga lavender secara signifikan, sehingga memperlama daya gunanya sebagai terapi aroma pada kedua rentang suhu tersebut.

3.4. Model Kinetika dan Termodinamika

Dengan mempertimbangkan sifat molekul minyak atsiri yang mudah menguap (*volatile*) maka model kinetika adsorpsinya pada permukaan partikel koloid karbon aktif dapat dianalogikan secara pendekatan seperti adsorpsi gas pada permukaan padatan. Kinetika adsorpsi gas pada permukaan padatan pada umumnya mengikuti kinetika orde satu semu atau orde dua semu [23–24]. Model kinetika adsorpsi orde satu semu dan orde dua semu secara berturutan diungkapkan seperti pada persamaan 3, dan persamaan 4 [25]. Dengan menggunakan dua persamaan ini kinetika adsorpsi molekul-molekul minyak atsiri pada permukaan partikel koloid karbon aktif diselidiki.

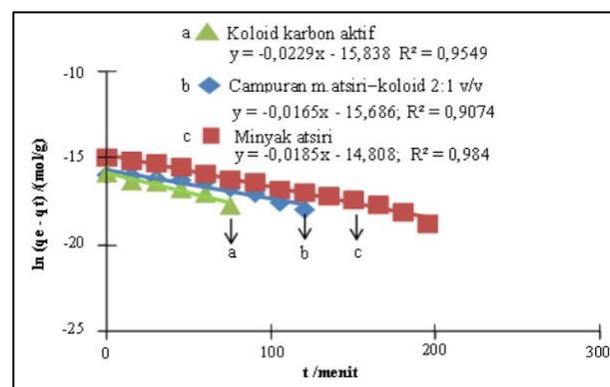
$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

dimana q_e , q_t , k_1 , k_2 , dan t secara berurutan adalah jumlah adsorbat molekul minyak atsiri yang terserap pada permukaan partikel karbon aktif pada keadaan setimbang adsorpsi-desorpsi, pada waktu t tertentu, konstanta laju adsorpsi orde satu semu, orde dua semu, dan lama waktu terjadinya adsorpsi.

Berdasarkan persamaan 3, hasil penyelidikan kinetika adsorpsi minyak atsiri pada permukaan

partikel koloid karbon aktif campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 ditampikan pada Gambar 6. Terlihat pada Gambar 6 bahwa kurva $\ln(q_e - q_t)$ lawan t (waktu dalam menit) semua sampel memenuhi kualifikasi kurva linear dengan koefisien regresi linear, R^2 lebih dari 0,90, dan kurang dari 0,99. Hal ini berarti kinetika adsorpsi minyak atsiri pada partikel koloid karbon aktif mengikuti kinetika adsorpsi orde satu semu. Dengan kata lain, laju adsorpsi setara dengan berkurangnya konsentrasi molekul-molekul minyak atsiri yang terdapat di dalam campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v, dan juga setara dengan laju desorpsinya. Fakta ini menunjukkan bahwa ukuran maupun jumlah molekul minyak atsiri setara dengan ukuran pori maupun jumlah pori total partikel koloid karbon aktif.

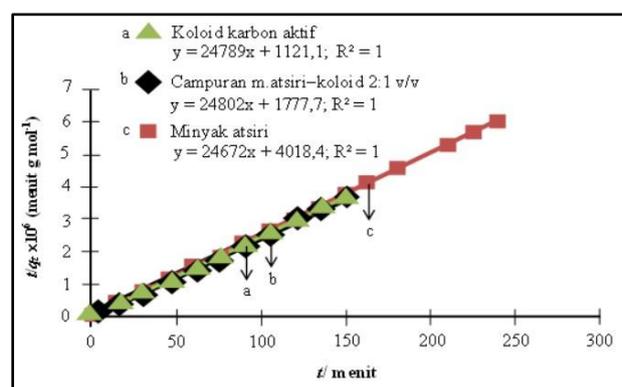


Gambar 6: Plot model kinetika orde satu semu, (a) Koloid karbon aktif, (b) Campuran minyak atsiri lavender-koloid karbon aktif 2:1 v/v, (c) Minyak atsiri

Secara spesifik persamaan linear kurva adsorpsi minyak atsiri pada permukaan partikel koloid karbon aktif dalam campuran 2:1v/v terlihat pada Gambar 6(b), yakni $y = -0,0165x - 15,686$ dan $R^2 = 0,9074$, dimana $y = \ln(q_e - q_t)$, dan $x = t$. Menyesuaikan dengan persamaan 3 diperoleh intersep = $-15,686 = \ln q_e$ atau $q_e = 64,9147 \times 10^5$ mol gram⁻¹, dan slope = $-0,016 = k_1$, dan $k_1 = 0,016$ menit⁻¹. Dengan menggunakan persamaan kurva linear masing-masing sampel, untuk koloid karbon aktif (Gambar 6 kurva a), dan minyak atsiri (Gambar 6 kurva c), nilai k_1 maupun q_e setiap sampel dapat dihitung, seperti yang ditampikan pada Tabel 1. Sementara, berdasarkan persamaan 4, hasil investigasi kinetika adsorpsi minyak atsiri pada permukaan partikel koloid karbon aktif ditampikan pada Gambar 7. Terlihat pada Gambar 7 bahwa kurva $1/q_t$ lawan t semua sampel memenuhi kualifikasi kurva linear dengan koefisien regresi linear, R^2 sempurna, yakni 1. Hal ini berarti kinetika adsorpsi minyak atsiri pada partikel koloid karbon aktif lebih cenderung mengikuti kinetika adsorpsi orde dua semu dibanding orde satu semu. Dengan kata lain, laju adsorpsi minyak atsiri pada permukaan partikel koloid karbon aktif relatif lebih cepat dibanding desorpsinya. Persamaan kurva linear adsorpsi minyak atsiri pada permukaan koloid karbon aktif di dalam

Doi:

campurannya 2:1v/v, Gambar 7(b) terlihat $y = 24.802x + 1777,7$ dan $R^2 = 1$, dimana dimana $y = t/(q_t \times 10^6)$, dan $x = t$. Menyesuaikan dengan persamaan 4 diperoleh slope = $24.802 = 1/q_e$, atau $q_e = 4,0319 \times 10^{-5}$ mol gram⁻¹, dan intersep = $1777,7 = 1/k_2 q_e^2$, berarti $k_2 = 34,6030 \times 10^4$ kg mmol⁻¹ menit⁻¹. Dengan menggunakan persamaan kurva linear masing-masing sampel, untuk koloid karbon aktif (Gambar 7 kurva a), dan minyak atsiri (Gambar 7 kurva c), nilai k_2 maupun q_e setiap sampel dapat dihitung, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 7: Plot model kinetika orde dua semu, (a) Koloid karbon aktif, (b) Campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v, (c) Minyak atsiri

Model kinetika adsorpsi orde dua semu ini jika dikaitkan dengan ikatan kimia, merupakan ciri dari proses kemisorpsi dimana gaya-gaya valensi dari berbagai elektron antara molekul minyak atsiri dengan permukaan koloid karbon aktif terlibat [26]. Sementara model kinetika adsorpsi orde satu semu juga merupakan ciri terjadinya proses fisisorpsi. Untuk mengkonfirmasi apakah proses kemisorpsi atau fisisorpsi yang lebih dominan maka perlu dilakukan analisis secara termodinamika.

Secara umum, besaran termodinamika yang dapat diamati pada proses adsorpsi adalah perubahan entalpi (ΔH), entropi (ΔS), dan energi

bebas Gibb's (ΔG). Dengan menggunakan persamaan Van't Hoff yang disederhanakan seperti yang ditampilkan pada persamaan 5 dan persamaan 6, maka nilai ketiga besaran termodinamika tersebut dapat dihitung [27–28]. Dari kurva $\ln(P/P_0)$ lawan $1/T$ persamaan 5, kita dapat memperoleh nilai ΔH dan ΔS , lalu dari persamaan 6 kita dapat memperoleh nilai ΔG . Hasil perhitungan ketiga besaran termodinamika untuk proses adsorpsi minyak atsiri pada permukaan partikel koloid karbon aktif dalam campurannya 2:1 v/v ditampilkan pada Tabel 2.

$$\ln \frac{P}{P_0} = \frac{\Delta H}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \quad (5)$$

$$\Delta G = -RT \ln K = \Delta H - T\Delta S \quad (6)$$

Terlihat pada Tabel 3, perubahan entalpi (ΔH) adsorpsi bernilai negatif sekitar $-1,805$ kJ mol⁻¹. Hal ini berarti proses adsorpsi berlangsung secara fisisorpsi-eksotermis karena $\Delta H < 80$ kJ mol⁻¹ dan bernilai negatif [29–30]. Nilai ΔH ini mengkonfirmasi bahwa ikatan antara molekul minyak atsiri dan permukaan partikel koloid karbon katif berlangsung secara fisika melalui atraksi dipol-dipol dan gaya-gaya van der Waals yang lemah. Akibat dari atraksi yang demikian ini adalah meningkatnya derajat kebebasan gerak translasi molekul-molekul di dalam campuran secara random, vibrasi dan rotasi ikatan-ikatan kovalen molekul penyusun minyak atsiri. Peningkatan kebebasan gerak seperti itu tentu akan meningkatkan derajat ketidakteraturan sistem campuran secara keseluruhan, yang dikonfirmasi dengan nilai ΔS positif, walau hanya kecil, yakni sekitar $6,05 \times 10^{-3}$ kJ mol⁻¹.

Selain itu, spontanitas terjadinya adsorpsi juga dikonfirmasi secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan nilai energy bebas Gibbs (ΔG) untuk semua suhu yang negatif, yakni sekitar $-3,63$ kJ mol⁻¹ lebih. Nilai ΔG ini ada dalam rentang $0-20$ kJ mol⁻¹ yang mengindikasikan adsorpsi berjalan secara fisisorpsi [31]. Tabel 3 juga memperlihatkan spontanitas adsorpsi meningkat selaras dengan kenaikan suhu, dan ini sesuai dengan data yang diperoleh Essandoh dkk., 2015 [32].

Tabel 1: Rekapitulasi perhitungan nilai k_1 , k_2 , dan q_e kinetika adsorpsi koloid karbon aktif, minyak atsiri, dan campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v

Model Kinetika	Parameter	Koloid karbon aktif	Mimiyak atsiri lavender	Campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v
Orde satu semu	• k_1 /(menit ⁻¹)	0,0229	0,0185	0,0165
	• q_e /(mol/g)	$75,5711 \times 10^5$	$26,9794 \times 10^5$	$64,9147 \times 10^5$
	• R^2	0,9549	0,9840	0,9074
Orde dua semu	• k_2 /(kg/mmo 1 menit)	$54,8117 \times 10^4$	$15,1480 \times 10^4$	$34,6030 \times 10^4$
	• q_e /(mol/g)	$4,0341 \times 10^{-5}$	$4,0532 \times 10^{-5}$	$4,0319 \times 10^{-5}$
	• R^2	1	1	1

Tabel 2: Rekapitulasi perhitungan besaran termodinamika adsorpsi minyak atsiri pada permukaan partikel

Doi:

koloid karbon aktif di dalam campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v

Suhu/ °C	P/(1×10 ⁻⁵)Pa*	P ⁰ / (1×10 ⁻⁵)**	ΔH/ (kJ mol ⁻¹)	ΔS/ (kJ/mol)	ΔG/ (kJ mol ⁻¹)
30	1,013749820	1			-3,639076044
31	1,014149675	1			-3,645130299
32	1,015749098	1			-3,651184554
33	1,018348159	1			-3,657238809
34	1,020747293	1	-1,80463684	0,006054255	-3,663293064
35	1,023546282	1			-3,669347318
36	1,025945415	1			-3,675401573
37	1,028544477	1			-3,681455828
38	1,030543755	1			-3,687510083
39	1,034142455	1			-3,693564338

*Tekanan sistem; **Tekanan awal

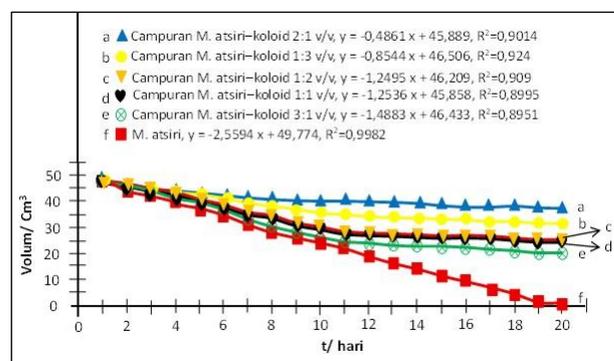
3.5 Pengukuran Laju Penguapan

Hasil Laju penguapan minyak atsiri yang teradsorpsi pada permukaan partikel koloid karbon aktif ditentukan berdasarkan berkurangnya volum campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif dalam semua perbandingan volum. Monitoring dilakukan untuk setiap 50 cm³ sampel yang dibiarkan menguap pada suhu kamar selama 20 hari. Hasil dari monitoring berkurangnya volum sampel itu ditampilkan pada Gambar 8. Gambar 8 ini memperlihatkan kurva a (warna biru) yang merupakan kurva linear berkurangnya volum campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v berada pada posisi paling atas. Hal ini berarti laju penguapan campuran tersebut paling lambat dibanding yang lain. Dapat dibaca pada Gambar 8(a), volum sekitar 50 cm³ campuran tersebut masih tersisa sekitar 40 cm³ selama 20 hari masa penguapan, yang berarti hanya teruapkan sekitar 10 cm³.

Sementara, kurva f (warna merah) yang merupakan kurva linear berkurangnya volum minyak atsiri berada pada posisi paling bawah. Hal ini berarti laju penguapan minyak atsiri tanpa koloid karbon aktif adalah paling cepat dibanding yang lain. Dapat dibaca pula pada Gambar 8(f), bahwa minyak atsiri tanpa koloid karbon aktif teruapkan semua, tanpa sisa, selama waktu 20 hari waktu penguapan.

Persamaan kurva linear berkurangnya volum campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1 v/v ini juga dapat dilihat, yaitu $y = -0,4861x + 45,889$ dengan koefisien regresi linear $R^2 = 0,9014$, dimana y dan x secara berurutan adalah volum sampel dalam Cm³ dan lama waktu penguapan dalam hari. Dengan demikian, laju berkurangnya volum campuran, r dapat ditentukan, yakni $r = dy/dx = 0,4861 \text{ Cm}^3 \text{ hari}^{-1}$. Sementara dalam waktu 20 hari itu, volume yang sama dari minyak atsiri tanpa koloid karbon aktif habis menguap, tanpa sisa. Persamaan kurva linear berkurangnya volum minyak atsiri ini seperti terlihat pada Gambar 8(f), yakni $y = -2,5594x + 49,774$, dengan $R^2 = 0,9982$.

Dengan formulasi yang sama, laju berkurangnya volum minyak atsiri ini adalah 2,5594 cm³ hari⁻¹.



Gambar 8: Grafik penurunan volum pada suhu kamar campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif dengan perbandingan volum (a) 2: 1, (b) 1:3, (c) 1:2, (d) 1:1, (e) 3:1, dan (f) Minyak atsiri

Dengan cara yang sama, laju berkurangnya volum campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 1:3 v/v (kurva b, warna kuning), 1:2 v/v (kurva c, warna krem), 1:1 v/v (kurva d, warna hitam), dan 3:1 v/v (kurva e, warna hijau), dapat ditentukan. Laju berkurangnya volum campuran tersebut secara berurutan adalah 0,8544, 1,2495, 1,2536, dan 1,4883 Cm³ hari⁻¹. Fakta ini membuktikan secara meyakinkan bahwa partikel-partikel koloid karbon aktif dapat menghambat laju penguapan minyak atsiri secara signifikan dalam semua perbandingan volum.

Selanjutnya, jika efisiensi daya guna atau penggunaan minyak atsiri sebagai bahan terapi aroma atau pengharum ruangan (ε) dinyatakan sebagai laju berkurangnya volum sampel, maka efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan 7,

$$\varepsilon = \frac{r_m}{r_c} \times 100 \% \quad (7)$$

dimana r_m dan r_c secara berurutan adalah laju pengurangan volum minyak atsiri tanpa koloid karbon aktif, dan laju pengurangan volum campuran minyak atsiri-koloid karbon aktif 2:1

Doi:

v/v. Berdasarkan persamaan 7 ini, efisiensi daya guna minyak atsiri meningkat hingga 526,5 % atau 5 kali ketika digunakan dalam bentuk campuran dengan koloid karbon aktif mikropartikel. Dengan kata lain, masa guna minyak atsiri menjadi 5 kali lebih lama jika digunakan dalam bentuk campuran dengan koloid karbon aktif dengan perbandingan volume 2:1 dibanding jika digunakan dalam bentuk murninya.

4. Kesimpulan

Koloid karbon aktif mikropartikel dapat meningkatkan efisiensi daya guna minyak atsiri secara signifikan sebagai bahan terapi aroma dan pengharum ruangan melalui proses perlambatan laju penguapan. Perlambatan laju penguapan molekul-molekul *volatile* penyusun minyak atsiri dapat terjadi karena mereka teradsorpsi pada permukaan partikel-partikel karbon aktif. Kinetika adsorpsi molekul-molekul minyak atsiri berlangsung melalui mekanisme order dua semu. Berdasarkan besaran-besaran termodinamika adsorpsi, terkonfirmasi secara meyakinkan bahwa adsorpsi berlangsung secara fisisorpsi, spontan, dan eksotermis. Perbandingan volum optimal antara minyak atsiri lavender dan koloid karbon aktif yang memberikan peningkatan efisiensi hingga 5 kali atau 500% adalah 2 : 1.

Daftar Pustaka

- [1] Dorcas, O. M., Usman, Z. F., Oludoyin, A. A., & Clement, O. A. (2017). Essential oil compositions of leaf, stem-bark, stem, root, flower, and fruit with seed of *Blighia unijugata* Baker (Sapindaceae). *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **11(7)**:108–119. DOI: [10.5897/ajpp2016.4721](https://doi.org/10.5897/ajpp2016.4721).
- [2] Wesolowska, A., Jadczyk, P., Kulpa, D., & Przewodowski, W. (2019). Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Analysis of Essential Oils from AgNPs and AuNPs Elicited *Lavandula angustifolia* In Vitro Cultures. *Molecules*, **24(606)**:1–13. DOI: [10.3390/molecules24030606](https://doi.org/10.3390/molecules24030606).
- [3] Soulimani, R., & Kumar Joshi, R. (2020). Toxicological aspects and pharmacotherapeutic properties of linalool, a natural terpene derivative of essential oils: Literature studies. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, **8(4)**: 24–34. Retrieved from www.essencejournal.com
- [4] López, V., Nielsen, B., Solas, M., Ramírez, M. J., & Jäger, A. K. (2017). Exploring pharmacological mechanisms of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil on central nervous system targets. *Frontiers in Pharmacology*, **8**: 1–8. DOI: [10.3389/fphar.2017.00280](https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00280).
- [5] Sa'adah, A. A. P. (2020). Pengaruh Pelarut, Surfaktan, dan Gas Propelan terhadap Kualitas Aerosol Minyak Lavender Sebagai Pengharum Ruangan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, **53(9)**.
- [6] Singh, N., Yadav, M., Khanna, S., & Sahu, O. (2017). Sustainable fragrance cum antimicrobial finishing on cotton: Indigenous essential oil. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, **5**: 22–29. DOI: [10.1016/j.scp.2017.01.003](https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.01.003)
- [7] Ao, W., Fu, J., Mao, X., Kang, Q., Ran, C., Liu, Y., Dai, J. (2018). Microwave-assisted preparation of activated carbon from biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **92**: 958–979. DOI: [10.1016/j.rser.2018.04.051](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.051).
- [8] R. Y. Nurcahyo, and P. J. Wibawa, "Fabrikasi Ramah Lingkungan Komposit Nano Karbon Aktif-Partikel Perak dan Uji Aktifitas Antibakterinya," *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 1, pp. 31-37, May, 2022. <https://doi.org/10.14710/giec.2022.14827>
- [9] Berger, A. H., & Bhowan, A. S. (2011). Comparing physisorption and chemisorption solid sorbents for use in separating CO₂ from flue gas using temperature swing adsorption. *Energy Procedia*, **4**: 562–567. DOI: [10.1016/j.egypro.2011.01.089](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.01.089).
- [10] Bhatnagar, A., Kumar, E., & Sillanpää, M. (2011). Fluoride removal from water by adsorption review. *Chemical Engineering Journal*, **171(3)**: 811–840. DOI: [10.1016/j.cej.2011.05.028](https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.028).
- [11] Rosyadah, J. (2021). Pembuatan Campuran Minyak Atsiri Bunga Lavender (*Lavandula Angustifolia*)-Koloid Karbon Aktif Nanopartikel: Studi Tekanan Uap, Kinetika-Termodinamika dan Laju Desorpsi, Skripsi S1 Kimia, Departemen Kimia Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.
- [12] Wibawa, P. J., Fatimah, M., Latifah, N., Nurcahyo, R. Y., Norazizi, R. W., & Aini, R. N. (2024). *Pembuatan Koloidal Karbon Aktif Nanopartikel Menggunakan Penstabil Minyak Kelapa Murni*. Paten No. IDS000007572, 22 Februari 2024.
- [13] Ariani, T. (2017). Pengaruh Absorben terhadap Kualitas Fisik Minyak. *Science and Physics Education Journal (SPEJ)*, **1(1)**: 1–6. DOI: [10.31539/spej.v1i1.74](https://doi.org/10.31539/spej.v1i1.74).
- [14] Sholeh, A., Sunyoto, & Al-Janan, D. H. (2012). *Komposisi Gas Yang Terdapat Dalam Biogas*. I(1). Retrieved from <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jmel/article/view/1916/1720>.
- [15] Gavahian, M., & Chu, Y. (2018). Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam distillation. *Innovative Food Science and Emerging*

Doi:

- Technologies*,
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.006>.
- [16] ISO. (2002). *International Standard Iso Oil of lavender (Lavandula angustifolia Mill.) Huile*. 1987(3515).
- [17] Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2020). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications* (Third). Retrieved from <https://lccn.loc.gov/2020014781>.
- [18] Dong, G., Bai, X., Aimila, A., Aisa, H. A., & Maiwulanjiang, M. (2020). Study on lavender essential oil chemical compositions by GC-MS and improved pGC. *Molecules*, **25(14)**:1–8. DOI: [10.3390/molecules25143166](https://doi.org/10.3390/molecules25143166).
- [19] Mistry, B. D. (2009). *A Handbook of Spectroscopy Data Chemistry*, 2009 Edition, Oxford Book Company, India, pages: 28–32.
- [20] Parikh, V. M. (1974). *Absorption Spectroscopy of Organic Molecules*, Copyright 1974, Addison-Wesley Publishing Company, Philippines, pages: 50–85.
- [21] Agatonovic-Kustrin, S., Ristivojevic, P., Gegechkori, V., Litvinova, T. M., & Morton, D. W. (2020). Essential oil quality and purity evaluation via ft-ir spectroscopy and pattern recognition techniques. *Applied Sciences (Switzerland)*, **10(20)**:1–12. DOI: [10.3390/app10207294](https://doi.org/10.3390/app10207294).
- [22] Sousa, S., Gaiolas, C., Costa, A. P., Baptista, C., & Amaral, M. E. (2016). Cold plasma treatment of cotton and viscose fabrics impregnated with essential oils of *Lavandula angustifolia* and *Melaleuca alternifolia*. *Cellulose Chemistry and Technology*, **50(5-6)**: 711–719.
- [23] Hoppen, M. I., Carvalho, K. Q., Ferreira, R. C., Passig, F. H., Pereira, I. C., Rizzo-Domingues, R. C. P., Bottini, R. C. R. (2019). Adsorption and desorption of acetylsalicylic acid onto activated carbon of babassu coconut mesocarp. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **7(1)**:102862. DOI: [10.1016/j.jece.2018.10.2862](https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.2862).
- [24] Ji, F., Li, C., Tang, B., Xu, J., Lu, G., & Liu, P. (2012). Preparation of cellulose acetate/zeolite composite fiber and its adsorption behavior for heavy metal ions in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, **209**: 325–333. DOI: [10.1016/j.cej.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.014).
- [25] Tseng, R., Wu, P., Wu, F., & Juang, R. (2014). A convenient method to determine kinetic parameters of adsorption processes by nonlinear regression of the pseudo-nth-order equation. *Chemical Engineering Journal*, **237**:153–161. DOI: [10.1016/j.cej.2013.10.013](https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.013).
- [26] Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). A rapid regeneration of methylene blue dye-loaded activated carbons with microwave heating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **98**: 123–128. DOI: [10.1016/j.jaap.2012.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.07.006).
- [27] Zhang, Y., Mancke, R. G., Sabelfeld, M., & Geißen, S. U. (2014). Adsorption of trichlorophenol on zeolite and adsorbent regeneration with ozone. *Journal of Hazardous Materials*, **271**: 178–184. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2014.02.020](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.02.020).
- [28] Svilović, S., Rušić, D., & Žanetić, R. (2008). Thermodynamics and adsorption isotherms of copper ions removal from solutions using synthetic zeolite X. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, **22(3)**: 299–305.
- [29] Rodriguez, E. S., Stefani, P. M., & Vazquez, A. (2007). Effects of fibers' alkali treatment on the resin transfer molding processing and mechanical properties of Jute-Vinylester composites. *Journal of Composite Materials*, **1(14)**: 1729–1741. DOI: [10.1177/0021998306069889](https://doi.org/10.1177/0021998306069889).
- [30] Cinke, M., Li, J., Bauschlicher, C. W., Ricca, A., & Meyyappan, M. (2003). CO₂ adsorption in single-walled carbon nanotubes. *Chemical Physics Letters*, **376(5-6)**:761–766. DOI: [10.1016/S0009-2614\(03\)01124-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(03)01124-2).
- [31] Żółtowska-Aksamitowska, S., Bartczak, P., Zembrzuska, J., & Jesionowski, T. (2018). Removal of hazardous non-steroidal anti-inflammatory drugs from aqueous solutions by biosorbent based on chitin and lignin. *Science of the Total Environment*, **612**:1223–1233. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.09.037](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.037).
- [32] Essandoh, M., Kunwar, B., Pittman, C. U., Mohan, D., & Mlsna, T. (2015). Sorptive removal of salicylic acid and ibuprofen from aqueous solutions using pine wood fast pyrolysis biochar. *Chemical Engineering Journal*, **265**: 219–227. DOI: [10.1016/j.cej.2014.12.006](https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.006).