

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tanaman Nilam

Tanaman nilam (*Pogostemon patchouli* atau *Pogostemon cablin Benth*) merupakan tanaman perdu wangi berdaun halus dan berbatang segi empat. Daun kering tanaman ini disuling untuk mendapatkan minyak (*Patchouli oil*) yang banyak digunakan dalam berbagai kegiatan industri. Bentuk tanaman nilam dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tanaman Nilam Aceh (*Pogostemon cablin Benth*)
(Sumber: Budiarti, C.2017)

2.1.1 Klasifikasi Tanaman Nilam

Tanaman nilam termasuk suku Labiate yang memiliki sekitar 200 genus. Menurut Rukmana (2003) berdasarkan taksonominya, kedudukan tanaman nilam diklasifikasikan sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Ordo	: Labiales
Famili	: Labiatae
Genus	: Pogostemon
Spesies	: Pogostemon cablin Benth.

Tanaman nilam di Indonesia terdiri dari 3 jenis yaitu *Pogostemon cablin* Benth. (nilam Aceh), *Pogostemon hortensis* Backer (nilam Jawa), dan *Pogostemon heyneanus* Benth (nilam sabun). Nilam Aceh (*P. cablin* Benth) merupakan tanaman yang memiliki aroma khas dan rendemen minyak daun keringnya tinggi yaitu 2,5 -5% dibandingkan dengan nilam Jawa dan nilam sabun yang hanya memiliki rendemen minyak sebesar 0,5-1,5%. Berdasarkan sifat tumbuhnya, tanaman nilam adalah tanaman tahunan. Tanaman ini merupakan semak yang tumbuh tegak, memiliki banyak percabangan bertingkat-tingkat dan mempunyai aroma yang khas. Secara alami, tanaman nilam dapat mencapai ketinggian antara 0,5 m-1,0 m (Rukmana, 2003).

Tanaman nilam dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah (andosol, latosol, regosol, podsolik, dan grumusol) dengan tekstur lempung, liat berpasir dengan drainase yang baik dan pH tanah 5-7. Tanaman nilam membutuhkan curah hujan atau ketersediaan air yang cukup agar dapat tumbuh dengan baik. Penyebaran tanaman nilam di Indonesia terdapat di beberapa daerah, yaitu NAD (Nanggroe Aceh Darussalam), Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bengkulu, Jawa Tengah, dan Jawa Barat (Halimah, 2011).

2.1.2 Daun Nilam

Daun tanaman nilam berbentuk bulat telur sampai bulat panjang (lonjong). Secara visual, daun nilam mempunyai ukuran panjang antara 5 cm-11 cm, berwarna hijau, tipis, tidak kaku, dan berbulu pada permukaan bagian atas. Daun kering tanaman nilam disuling untuk mendapatkan minyak atsiri dan digunakan dalam berbagai kegiatan industri. Umumnya, kandungan minyak atsiri pada bagian akar, batang dan ranting tanaman Nilam lebih kecil (0,4-0,5%) dibandingkan kandungan minyak atsiri pada bagian daun (2,5-5,0%) (Kardian, 2005). Komponen utama yang dikandung minyak nilam adalah *patchouli alcohol* (PA, $C_{15}H_{26}$) yang berfungsi sebagai bahan baku pengikat (fiksatif) dan sebagai bahan pengendali penerbangan (eteris) dengan adanya bahan tambahan minyak nilam (eteris) pada parfum, bau yang dihasilkan lebih tahan lama. Penguapan minyak nilam paling lambat jika dibandingkan dengan minyak atsiri lainnya (Mangun, 2012).

2.2 Minyak Nilam

Minyak nilam adalah minyak atsiri yang diperoleh dari tanaman nilam (*Pogostemon cablin Benth*) dengan cara penyulingan. Pada tanaman nilam, minyak atsiri terdapat dalam semua bagian tanaman seperti akar, batang dan daun. Walaupun tidak banyak digunakan di dalam negeri, minyak nilam merupakan salah satu komoditi andalan Indonesia (Sudaryani dan Sugiharti, 1998). Minyak atsiri yang dikenal juga dengan nama minyak eteris atau minyak terbang (*essential oil, volatile oil*) dihasilkan oleh tanaman. Minyak tersebut mudah menguap pada suhu kamar tanpa mengalami dekomposisi, mempunyai rasa getir (*pungent taste*), berbau wangi sesuai dengan bau tanaman penghasilnya, umumnya larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air (Ketaren, 1985).

Minyak nilam merupakan salah satu jenis minyak atsiri yang mempunyai fungsi dan kegunaan sebagai bahan baku, bahan pencampur dan fiksatif (pengikat wangi – wangian) dalam industri parfum, farmasi dan kosmetik (Ketaren, 1985). Senyawa *patchouli alcohol* yang merupakan komponen yang paling banyak ditemukan dalam minyak nilam bersama dengan α -*patchoulene* diketahui potensial sebagai aktivitas antifungal. Senyawa, α -*bulnesene* diketahui mempunyai aktivitas anti inflamasi terhadap PAF (*Platelet Activating Factor*) sebuah phospholipid mediator yang dihasilkan berbagai sel pada saat terkena penyakit alergi, asma, inflamasi, dan lain-lain (Halimah, 2011).

2.3 Komposisi Minyak Nilam

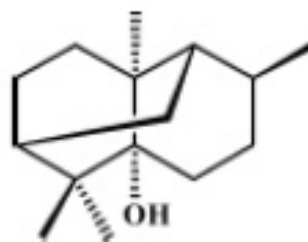
Senyawa organik yang menyusun minyak nilam terdiri dari golongan hidrokarbon yang disebut golongan terpen dan golongan hidrokarbon beroksigen (*oxygenated hydrocarbon*). Kandungan beberapa senyawa utama penyusun minyak nilam adalah patchouli alcohol (32,60%), δ -guaiene (23,07%), α -guaiene (15,91%), seychellene (6,95%), dan α -patchoulene (5,47%) (Aisyah, 2010).

Tabel 2.1 Senyawa Penyusun Minyak Nilam

Senyawa	Rumus Molekul	Berat Molekul (gr/mol)	Titik Didih pada 1 atm
α -Humulene	$C_{15}H_{24}$	204	166 – 168
α -Copaene	$C_{15}H_{24}$	204	246 – 251
Seychellene	$C_{15}H_{24}$	204	250 – 251
β -Elemene	$C_{15}H_{24}$	204	251 – 253
Trans-Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	204	254 – 257
Cis-Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	204	254 – 257
β -Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	204	256 – 259
β -Gurjunene	$C_{15}H_{24}$	204	257 – 258
Aromadendrene	$C_{15}H_{24}$	204	258,10
α -Patchoulene	$C_{15}H_{24}$	204	262 – 263
β -Patchoulene	$C_{15}H_{24}$	204	260 – 262
β -Selinene	$C_{15}H_{24}$	204	260 – 263
α -Gurjunene	$C_{15}H_{24}$	204	262 – 263
β -Chamigrene	$C_{15}H_{24}$	204	273 – 274
α -Guaiene	$C_{15}H_{24}$	204	281 – 282
δ -Guaiene	$C_{15}H_{24}$	204	281 – 282
Norpatchoulenol	$C_{14}H_{22}O$	206	275 – 276
β -Caryophyllene oxide	$C_{15}H_{24}O$	220	279,68
Patchouli Alcohol	$C_{15}H_{26}O$	222	287 – 288
Pogostol	$C_{15}H_{26}O$	222	303 – 304

(Sumber: Aisyah, 2010: www.thegoodscentscompany.com)

Patchouli alkohol ($C_{15}H_{26}O$) merupakan senyawa utama penyusun minyak nilam yang termasuk golongan sesquiterpen. Patchouli alkohol meleleh pada suhu 55-58°C, mendidih pada suhu 287°C, tidak larut dalam air, larut dalam alkohol, eter, dan pelarut organik lainnya. Senyawa yang memiliki nama IUPAC (1R,4S,4aS,6R,8aS)-Octahydro-4,8a,9,9-tetramethyl-1,6-methanonaphthalen-1(2H)-ol ini merupakan senyawa trisiklik tersier sesquiterpen alkohol (Bhatia dkk, 2008).



Gambar 2.2 Struktur *Patchouli Alcohol*
(Sumber: Berger dan Sicker, 2009)

Sedangkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah menetapkan standar mutu untuk mutu minyak nilam dengan kode SNI 06-2385-2006 dan sesuai ISO 3757:2002 (E) sebagai berikut :

Tabel 2.2 Standar Mutu Minyak Nilam Berdasarkan SNI dan ISO

Karakteristik	SNI 06-2385-2006	ISO 3757 : 2002 (E)
Warna	Kuning muda sampai coklat kemerahan	Cokelat kehijauan sampai coklat tua
Bobot jenis, 25°C/25°C	0,950 – 0,975 (25°C/25°C)	0,952 – 0,975 (25°C/25°C)
Putaran Optik	(-48°) – (-65 °)	(-40°) – (-60 °)
Indeks bias, 20°C	1,507 – 1,515	1,505 – 1,515
Kelarutan dalam etanol 90% pada suhu 25°C ± 3°C	Larutan jernih atau opalesensi ringan dalam perbandingan volume 1-10 bagian	Larutan Jernih dalam perbandingan 1-10
Bilangan asam	Maks 8	Maks 4
Bilangan ester	Maks 20	Maks 10
Minyak keruing	Negatif	Negatif
Zat – zat asing :		
a. Alkohol tambahan	Negatif	Negatif
b. Lemak	Negatif	Negatif
c. Minyak pelican	Negatif	Negatif

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2006)

2.4 Metode Distilasi Minyak Nilam

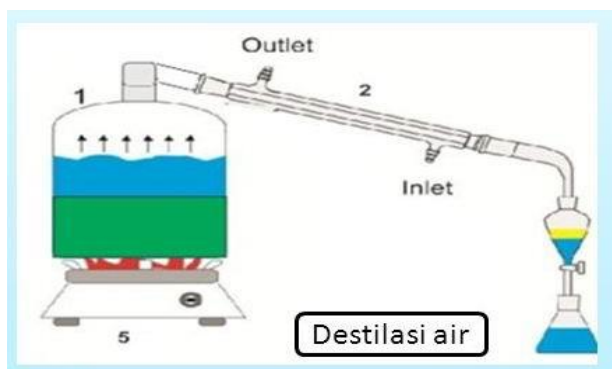
Distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan campuran bahan kimia berdasarkan perbedaan kemudahan menguap (volatilitas) bahan dengan titik didih yang berbeda. Distilasi menggunakan panas sebagai agen pemisah campuran, campuran zat dididihkan hingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

Pada proses pemisahan secara distilasi, fase uap akan segera terbentuk setelah sejumlah cairan dipanaskan pada kondisi tekanan dan suhu tertentu. Uap dipertahankan kontak dengan sisa cairannya (dalam waktu relatif cukup) dengan harapan pada suhu dan tekanan tertentu, antara uap dan sisa cairan akan berada dalam keseimbangan, sebelum campuran dipisahkan menjadi distilat dan residu. Pada pemansan yang terus menerus, komponen yang lebih volatil akan berubah menjadi fasa uap. Fasa uap yang terbentuk selanjutnya dikondensasi, kemudian akan diperoleh kondensat yang berupa komponen-komponen dalam keadaan yang relatif murni.

Distilasi merupakan cara yang paling umum digunakan dalam industri untuk memisahkan suatu campuran yang homogen dalam bentuk larutan. Dalam industri minyak atsiri dikenal 3 macam tipe penyulingan berdasarkan kontak antara uap dan bahan yang akan disuling, yaitu:

2.4.1 Penyulingan Dengan Air

Pada metode ini, bahan yang akan disuling dikontakkan langsung dengan air mendidih. Bahan tersebut mengapung di atas air atau terendam secara sempurna tergantung dari bobot jenis dan jumlah bahan yang disuling. Air dipanaskan dengan metode pemanasan yang biasa dilakukan, yaitu dengan panas langsung (*Guenther, 1987*).



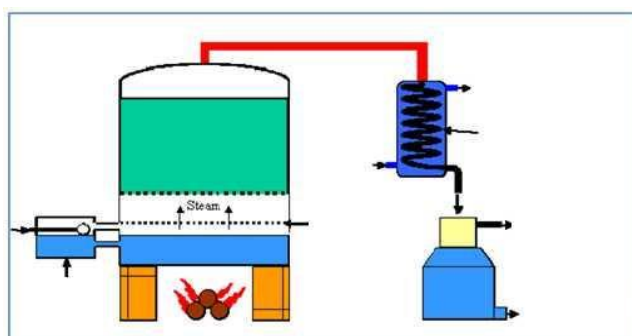
Gambar 2.3 Skema Peralatan Penyulingan Air
(*Parasandi, 2017*)

Prinsip kerja penyulingan dengan air adalah sebagai berikut: Ketel penyulingan diisi air sampai volumenya hampir separuh, lalu dipanaskan. Sebelum air mendidih, bahan baku dimasukkan ke dalam ketel penyulingan.

Dengan demikian penguapan air dan minyak atsiri berlangsung bersamaan. Cara penyulingan seperti ini disebut penyulingan langsung (*direct distillation*). Bahan baku yang digunakan biasanya dari bunga atau daun yang mudah bergerak di dalam air dan tidak mudah rusak oleh panas uap air. Penyulingan secara sederhana ini sangat mudah dilakukan, dan tidak perlu modal banyak. Namun kadar minyaknya sedikit.

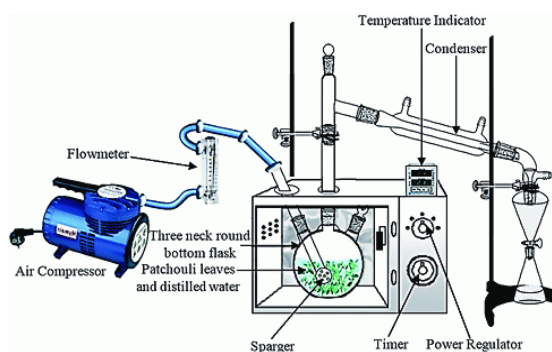
2.4.2 Penyulingan Dengan Uap

Penyulingan uap atau penyulingan uap langsung prinsipnya sama dengan yang penyulingan dengan air, tetapi air tidak diisikan dalam ketel. Uap yang digunakan adalah uap jenuh atau uap kelewat panas pada tekanan lebih dari 1 atm. Uap dialirkan melalui pipa yang terletak di bawah bahan, dan uap bergerak ke atas melalui bahan yang terletak di atas saringan (*Guenther, 1987*). Kualitas produk minyak atsiri yang dihasilkan jauh lebih sempurna dibandingkan dengan kedua cara lainnya, sehingga harga jualnya pun jauh lebih tinggi.



Gambar 2.4 Skema Peralatan Penyulingan Uap
(Parasandi, 2017)

2.4.3 Penyulingan dengan Microwave



Gambar 2.5 Skema Peralatan Microwave Distillation
(Parasandi, Defina dan Mahmud Efandi Syahputra, 2017)

Proses ini pada dasarnya merupakan kombinasi antara pemanfaatan radiasi gelombang mikro dengan sistem distilasi. Gelombang mikro merupakan hasil radiasi yang dapat ditransmisikan, dipantulkan atau diserap tergantung dari bahan yang berinteraksi dengannya. Gelombang mikro dihasilkan oleh magnetron, gelombang tersebut ditransmisikan ke dalam *waveguide* (sebuah komponen yang didesain untuk mengarahkan gelombang), lalu gelombang tersebut dipantulkan ke dinding dari ruangan di dalam oven, kemudian gelombang tersebut diserap oleh bahan tanaman. Bahan tanaman dimasukkan di dalam *distillation flash* yang terbuat dari gelas (agar dapat ditembus oleh radiasi *microwave*) akan menyerap radiasi *microwave* tersebut hingga mencapai kelenjar grandular dan sistem vascular bahan tanaman di dalam dinding sel. Peristiwa ini menimbulkan panas sehingga dinding sel akan pecah dan minyak atsiri di dalamnya dapat bebas keluar. Minyak atsiri dan air menguap bersamaan berdasarkan prinsip distilasi campuran tak saling larut lalu dikondensasikan.

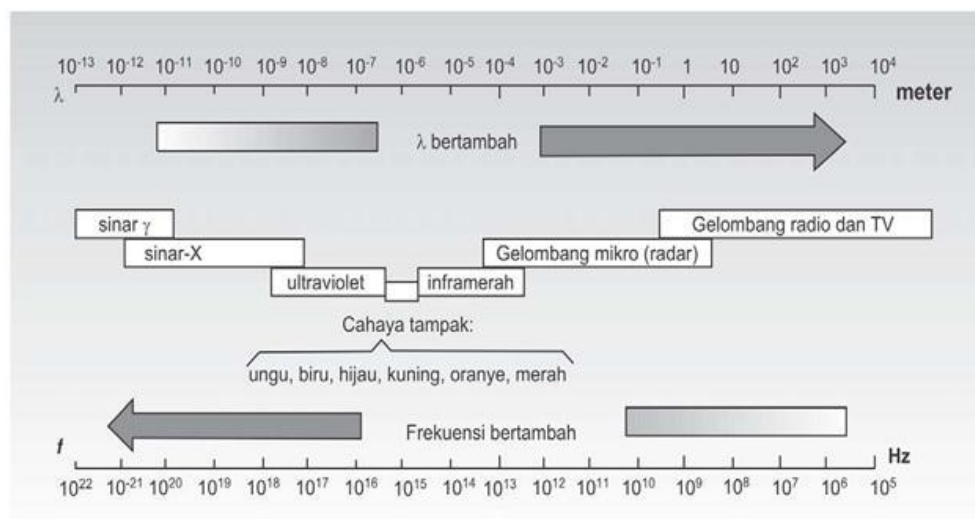
2.5 Gelombang Microwave

Daerah gelombang mikro pada spektrum elektromagnetik terletak di antara radiasi infra merah dan frekuensi radio dengan panjang gelombang 1 cm - 1 m dan frekuensi 30 GHz – 300 MHz yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada oven microwave komersial biasanya digunakan frekuensi 2450 MHz dengan panjang gelombang 12 cm. Meskipun pada oven microwave terdapat lubang-lubang berdiameter kecil di sisinya, gelombang mikro tersebut tidak akan mampu melewatinya selama diameter lubang tersebut masih jauh di bawah panjang gelombangnya. Oleh sebab itu kemungkinan lolosnya energi ke lingkungan menjadi sangat kecil. Gelombang mikro dihasilkan dari dua medan perpendicullar yang bersilasi misalnya medan listrik dan medan magnet (Kurniasari et al., 2008).

Menurut Kurniasari et al. (2008), pada dasarnya microwave terbagi menjadi empat komponen dasar, yakni:

1. Generator microwave: magnetron, komponen yang menghasilkan energi gelombang mikro

2. Pengarah gelombang (wave guide), komponen ini akan mempropagasi gelombang mikro dari sumbernya ke *cavity microwave*
3. Aplikator, merupakan ruangan bagi umpan
4. Sirkulator, komponen ini akan menyebabkan gelombang mikro akan bergerak hanya ke arah depan



Gambar 2.6 Spektrum Gelombang
(Alam dkk, 2017)

2.5.1 Prinsip Pemanasan Gelomban Mikro

Prinsip pemanasan menggunakan gelombang mikro adalah berdasarkan tumbukan langsung dengan material polar atau solvent dan diatur oleh dua fenomena yaitu konduksi ionik dan rotasi dipol. Dalam sebagian besar kasus, kedua fenomena tersebut berjalan secara simultan. Konduksi ionik mengacu pada migrasi elektrophoretik ion dalam pengaruh perubahan medan listrik. Resistansi yang ditimbulkan oleh larutan terhadap proses migrasi ion menghasilkan friksi yang akan memanaskan larutan. Rotasi dipol merupakan pengaturan kembali dipol-dipol molekul akibat medan listrik yang terus berubah dengan cepat. Proses pemanasan hanya akan terpengaruh pada frekuensi 2450 MHz. Komponen elektrik gelombang berubah 4-9 10^4 kali per detik (Kurniasari et al., 2008).

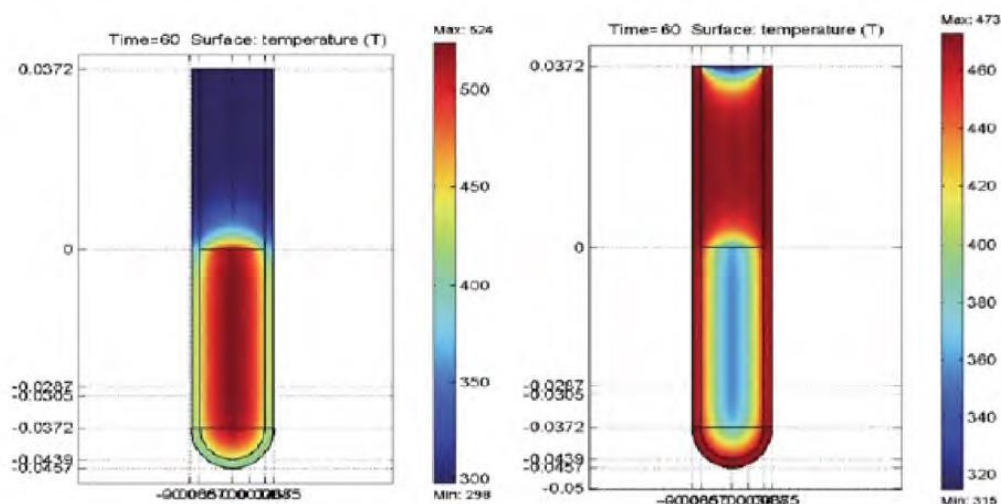
Salah satu sumber yang dapat menghasilkan panas dalam waktu cepat dan memiliki fungsi kontrol suhu yang sangat baik adalah penggunaan gelombang mikro (*microwave*). Penggunaan gelombang mikro sebagai sumber energi alternatif ini merupakan terobosan baru yang dapat membuat waktu distilasi

menjadi jauh lebih cepat. Molekul-molekul ini akan menyerap energi elektromagnetik tersebut. Proses penyerapan energi ini disebut sebagai pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul-molekul pada makanan bersifat elektrik dipol (*electric dipoles*), artinya molekul tersebut memiliki muatan negatif pada satu sisi dan muatan positif pada sisi yang lain. Akibatnya, dengan kehadiran medan elektrik yang berubah-ubah yang diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling mensejajarkan diri satu sama lain. Pergerakan molekul ini akan menciptakan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya. Energi panas yang dihasilkan oleh peristiwa inilah yang berfungsi sebagai agen pemanasan di dalam microwave (Kurniasari et al., 2008).

Dari penjelasan di atas, pemanasan menggunakan microwave melibatkan tiga kali konversi energi, yaitu konversi energi listrik menjadi energi elektromagnetik, konversi energi elektromagnetik menjadi energi kinetik, dan konversi energi kinetik menjadi energi panas. Proses pemanasan menggunakan microwave berlangsung mulai dari luar permukaan bahan. Selanjutnya pemanasan akan berlangsung secara konduksi sehingga bagian dalam bahanpun akan turut terpanaskan (Kurniasari et al., 2008).

2.5.2 Keuntungan Penggunaan *Microwave*

Energi gelombang mikro menjadi alternatif yang efisien untuk menggantikan proses pemanasan konvensional karena pada proses pemanasan konvensional, proses pemanasan terjadi melalui gradien panas, sedangkan pada pemanasan menggunakan gelombang mikro (*microwave*), pemanasan terjadi melalui interaksi langsung antara material dengan gelombang mikro. Perbedaan profil temperatur pada pemanasan konvensional dan pemanasan menggunakan gelombang mikro disajikan pada Gambar 2.7. Hal tersebut mengakibatkan transfer energi berlangsung lebih cepat, dan berpotensi meningkatkan kualitas produk (Kurniasari et al., 2008).



Gambar 2.7. Profil suhu pemanasan dengan *microwave* (a) dan profil pemanasan konvensional (b)
(Hapsari dkk, 2015)

Radiasi *microwave* terbukti sebagai sumber pemanasan yang efektif dalam reaksi kimia, *Microwave* dapat mempercepat kecepatan reaksi, menghasilkan yield produk yang lebih baik karena pemanasan *microwave* bersifat volumetrik dan selektif.

1. Pemanasan Volumetrik

Salah satu sifat pemanasan *microwave* yang membedakan dengan pemanasan konvensional adalah pemanasan volumetrik di mana pemanasan langsung terjadi pada keseluruhan volume sampel sehingga pemanasan yang terjadi bisa seragam dan berlangsung cepat karena terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi (Golmakani *et.al.*, 2007).

2. Pemanasan Selektif

Pemanasan selektif berkaitan dengan respon material terhadap gelombang mikro. Untuk mendapatkan pemanasan yang efektif dan efisien maka pelarut, katalis, maupun reaktan dipilih yang mempunyai sifat menyerap gelombang mikro. Sedangkan untuk reaktor dipilih yang transparan (tidak menyerap) radiasi gelombang mikro.

2.6 Parameter Kualitas Minyak Atsiri

Beberapa parameter yang biasanya dijadikan standar untuk mengenali kualitas minyak atsiri yaitu:

1. Berat Jenis

Berat jenis merupakan salah satu kriteria penting dalam menentukan mutu dan kemurnian minyak atsiri. Nilai berat jenis minyak atsiri didefinisikan sebagai perbandingan antara berat minyak dengan berat air pada volume air yang sama dengan volume minyak. Berat jenis sering dihubungkan dengan fraksi berat komponen-komponen yang terkandung di dalamnya. Semakin besar fraksi berat yang terkandung dalam minyak, maka semakin besar pula nilai densitasnya (Sastrohamidjojo, 2004). Persamaan untuk menghitung berat jenis dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Bobot jenis} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \dots\dots\dots(1)$$

)

(Sumber: SNI 06-2385-2006)

Keterangan:

m = Massa piknometer kosong (gr)

m₁ = Massa pikno + air (gr)

m₂ = Massa pikno + contoh (ml)

2. Indeks Bias.

Indeks bias merupakan perbandingan antara kecepatan cahaya di dalam udara dengan kecepatan cahaya di dalam zat tersebut pada suhu tertentu. Indeks bias minyak atsiri berhubungan erat dengan komponen-komponen yang tersusun dalam minyak atsiri yang dihasilkan. Sama halnya dengan berat jenis dimana komponen penyusun minyak atsiri dapat mempengaruhi nilai indeks biasnya. Semakin banyak komponen berantai panjang seperti sesquiterpen atau komponen bergugus oksigen ikut tersuling, maka kerapatan medium minyak atsiri akan bertambah sehingga cahaya yang datang akan lebih sukar untuk dibiaskan. Hal ini menyebabkan indeks bias minyak lebih besar. Menurut *Guenther*, nilai indeks bias juga dipengaruhi salah satunya dengan adanya air dalam kandungan minyak tersebut. Semakin banyak kandungan airnya, maka semakin kecil nilai indeks biasnya. Ini karena sifat dari air yang mudah untuk membiaskan cahaya yang datang. sehingga minyak atsiri dengan nilai indeks bias yang besar

lebih bagus dibandingkan dengan minyak atsiri dengan nilai indeks bias yang kecil (Sastrohamidjojo, 2004).

3. Kelarutan Dalam Alkohol

Sesuai dengan pernyataan Guenther bahwa kelarutan minyak dalam alcohol ditentukan oleh jenis komponen kimia yang terkandung dalam minyak. Pada umumnya minyak atsiri yang mengandung persenyawaan terpen teroksigenasi lebih mudah larut daripada yang mengandung terpen tak teroksigenasi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil kelarutan minyak atsiri pada alcohol (biasanya alcohol 90%) maka kualitas minyak atsirinya semakin baik (Sastrohamidjojo, 2004).

4. Bilangan Asam

Bilangan asam adalah jumlah milligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam-asam lemak bebas dari satu gram minyak atau lemak. Bilangan asam digunakan untuk mengukur jumlah asam lemak bebas yang terdapat dalam satu gram minyak atau lemak. Caranya adalah dengan jalan melarutkan sejumlah minyak atau lemak dalam alcohol eter kemudian diberi indikator phenolphthalein, kemudian dititrasi dengan larutan KOH sampai terjadi perubahan warna merah jambu yang tetap. Besarnya bilangan asam tergantung dari kemurnian dan umur minyak atau lemak tadi (Kataren, 1986). Persamaan untuk menghitung bilangan asam dapat dilihat pada rumus di bawah ini:

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{\text{ml KOH} \times \text{N KOH} \times 56,1}{\text{gram contoh}} \dots\dots\dots(2)$$

(Sumber: SNI 06-2385-2006)

2.7 Analisis Teknis

Analisis teknis merupakan analisis yang dilakukan untuk menghitung kemampuan alat untuk bekerja. Analisis teknis dapat meliputi kapasitas, perpindahan panas dan konsumsi energi.

1. *Specific Energy Concumption* (SEC)

Specific Energy Concumption adalah jumlah energi yang digunakan terhadap produk yang dihasilkan. SEC dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$SEC = \frac{\text{Konsumsi Energi}}{\text{Jumlah Produksi}} \dots\dots\dots(3)$$

(Sumber: Raharjo, Budi A. dkk. *Studi Analisis dan Penghematan Energi di PT. P.G. Krebet Baru I.*)

2. Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik dapat dinyatakan dengan rumus:

$$E = P \times t \dots\dots\dots(4)$$

Dimana E adalah konsumsi energi listrik (kWh), P adalah daya yang digunakan (Watt) dan t adalah waktu (s).