

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian telah dilakukan dengan tujuan utama memaksimalkan proses distilasi daun nilam dengan berbagai cara, beberapa diantaranya adalah dengan peningkatan temperatur distilasi, berbagai komposisi daun dan batang daun nilam, temperatur vakum yang dilakukan pada ketel dan variasi yang dilakukan pada macam daun nilam yang digunakan untuk proses distilasi.

Penelitian distilasi daun nilam yang dilakukan Novita,dkk pada tahun 2012 dengan metode *microwave* atau gelombang mikro yang digunakan untuk memanaskan daun nilam pada waktu pengamatan 20 hingga 140 menit dengan temperatur 105°C hingga 120°C. Hasil dari penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave distillation* mampu meningkatkan rendemen dengan waktu yang lebih singkat daripada metode konvensional, hasil rendemen minyak yang dihasilkan dengan menggunakan pelarut berupa air lebih besar daripada menggunakan uap sebagai media yang digunakan dalam *microwave*. Selain itu juga dapat diketahui presentase *Patchouli Alcohol* pada daun nilam cacah lebih besar dibandingkan dengan daun nilam utuh.

Penelitian tentang peningkatan mutu minyak nilam dengan ekstraksi dan distilasi pada berbagai komposisi pelarut dilakukan oleh Bambang pada tahun 2010 dengan memvariasikan berat antara batang dan daun, waktu ekstraksi serta perbandingan volume *n*-heksana dan benzena dengan bantuan pompa vakum. Hasil dari penelitian tersebut adalah dari distilasi batang dan daun minyak nilam tersebut hasil paling optimal dari waktu distilasi antara 60 hingga 240 menit adalah ketika distilasi berlangsung pada waktu ke 150 menit. Sedangkan perbandingan berat batang dan daun yang paling optimal didapatkan pada komposisi 2 : 1 dan perbandingan volume heksana dan benzena 3 : 1. Rendemen minyak yang dihasilkan sebesar 4,3% dan mempunyai kualitas SNI minyak nilam dengan berat jenis sebesar 0,9773 dan kandungan *Patchouli Alcohol* sebesar 32%.

Sundaesan dari *Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants* pada tahun 2008 juga meneliti tentang komposisi dari minyak essensial yang dihasilkan oleh *Pogostemon Cablin* (Blanco) *Benth* (*Patchouli*) dan *Pogostemon Travancorius Bedd* yang merupakan varietas dari *travancortus* yang berasal dari genus *Lamiaceae*, pada penelitian ini digunakan oven dengan temperatur 50°C hingga 150°C dengan kecepatan

pemanasan 3°C/menit dan pada 150°C hingga 215°C pada kecepatan pemanasan 5°C/menit dengan menggunakan helium sebagai gas kerja dengan masa alir 2 mL/menit dengan rasio penambahan gas 1:20. Hasil dari penelitian tersebut adalah kedua spesimen sama mengandung  $\alpha$  dan  $\beta$  patchoulene, Patchouli Alcohol,  $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ -guaiene, seychellene dan selinene, hasil rendemen yang dihasilkan masih yang paling banyak dihasilkan oleh *Pogostemon Cablin (Blanco) Benth (Patchouli)* dengan kadar Patchouli Alcohol sekitar 23,2% sedangkan *Pogostemon Travancorius Bedd* hasil rendemen yang dihasilkan lebih sedikit dengan kadar Patchouli Alcohol sekitar 2,7%.

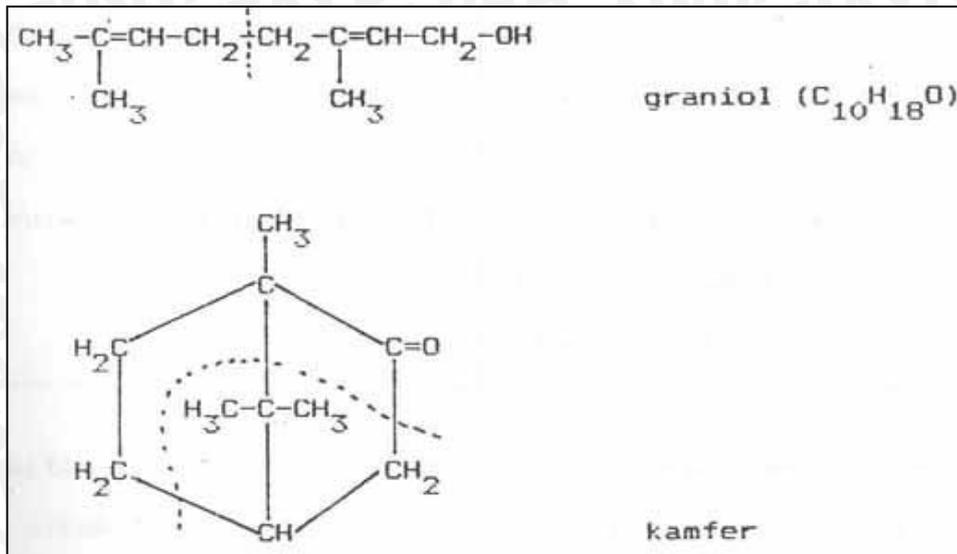
Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis menggunakan berbagai variasi perlakuan daun nilam dan temperatur proses distilasi, kemudian menganalisa hasil rendemen serta waktu distilasi.

## 2.2 Minyak Atsiri

Minyak atsiri didefinisikan sebagai produk hasil penyulingan menggunakan uap yang bisa didapatkan dari berbagai jenis tumbuhan. Minyak atsiri mengandung puluhan atau bahkan ratusan jenis bahan campuran yang mudah menguap (*volatile*) dan bahan campuran yang tidak mudah menguap (*non-volatile*) yang merupakan karakteristik dari aromanya yang wangi dan rasanya. *Volatile* atau yang lebih sering diartikan sebagai minyak terbang atau minyak yang menguap, sehingga dapat dilepaskan dari bahan dengan bantuan air yang mendidih.

Minyak atsiri sendiri biasanya digunakan sebagai salah satu campuran pada bahan baku industri kosmetik, sabun dan deterjen, farmasi, produk makanan dan minuman. Secara umum penggunaan minyak atsiri hanya sebagai bahan tambahan pada suatu produk dengan tambahan beberapa bahan yang lainnya sebagai bahan baku produk, dengan tujuan untuk mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan. Kebanyakan produk kosmetik, minyak atsiri digunakan untuk mengikat aroma dari produk kosmetik sendiri.

Proses pembentukan minyak atsiri berasal dari proses distilasi atau yang lebih umum dikenal dengan penyulingan yang memanfaatkan perubahan dari fase cair ke fase uap. Beberapa minyak yang termasuk jenis minyak atsiri antara lain minyak cendana (*sandalwood oil*), minyak kayu putih (*cajuput oil*), minyak bunga kenanga (*ylang-ylang oil*), minyak nilam dan minyak serai. Struktur molekul pada minyak atsiri ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Molekul pada Minyak Atsiri

Sumber : Bulan (2004)

### 2.3 Minyak Nilam

Nilam (*Pogostemon Cablin Benth*) merupakan salah satu jenis tanaman yang dapat menghasilkan, minyak atsiri dan sudah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia yaitu sebagai pengharum pakaian. Di setiap daerah, nilai mempunyai nama berbeda-beda, di Purwokerto disebut dengan "dilem wangi", di Tapanuli Selatan disebut "singgolom", sedangkan untuk nilam yang berbunga di Jawa sering disebut "dilem kembang" dan di Aceh dikenal dengan nama "nilam bukit" (*Pogostemon hevneanus benth*) seperti yang terdapat pada Gambar 2.2 adalah contoh tumbuhan nilam yang berasal dari Aceh. Nilam selain dapat dijual dalam bentuk daun kering juga dapat berupa minyak. Minyak nilam merupakan salah satu komoditas non migas yang penting bagi Indonesia. Di pasaran dunia, minyak nilam memiliki potensi ekspor yang sangat menjanjikan. Pasar dari ekspor minyak nilam di Indonesia hampir mencapai 90% dari kebutuhan minyak nilam dunia.



Gambar 2.2 Daun Nilam Aceh  
Sumber : Harvis (2013)

Minyak nilam juga dapat diperoleh dari distilasi, hampir sama seperti proses untuk menghasilkan minyak atsiri yang memanfaatkan distilasi. Aroma minyak nilam dikenal sangat kuat dan telah berabad-abad sebagai wangi-wangian. Nilam sendiri tumbuh bagus di daerah beriklim tropis, dengan udara yang panas, namun tidak secara langsung terkena sinar matahari. Minyak nilam yang baik umumnya memiliki wangi yang sulit dihilangkan dan cukup khas, serta berwarna kuning jernih. Kadar *Patchouli Alcohol* dengan mutu yang baik sekitar 30% yang terdiri dari campuran persenyawaan *alcohol*, *aldehid* dan ester - ester, komponen yang terkandung dalam minyak nilam adalah *benzaldehyd*,  *$\alpha$ -patchoulena*, *bulnesen* dan *Patchouli alcohol* (Hernani dan Tangendjaja. Budi, 1988). Mutu minyak nilam dapat dipengaruhi oleh proses ketika pra panen maupun pasca panen, meliputi waktu panen, faktor lingkungan, bahan baku, peralatan penyulingan, waktu penyimpanan dan lain-lain.

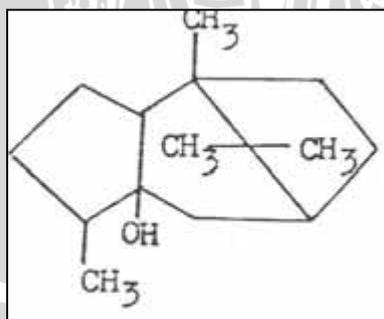
Lahan dan iklim yang digunakan untuk pembudidayaan minyak nilam sangat mempengaruhi kualitas dan hasil produksi minyak nilam, terutama ketinggian tempat dan ketersediaan air. Nilam yang tumbuh di dataran tinggi (> 700 m dpl) maka akan semakin rendah kadar minyaknya, namun nilam yang tumbuh di dataran rendah (0 – 700 m dpl) kadar minyaknya semakin tinggi. Nilam adalah tipe tumbuhan yang sangat peka terhadap ketersediaan air dan cahaya matahari, semakin banyak air dan juga cahaya matahari yang dapat masuk maka kualitas dan hasil produksi minyak nilam akan semakin baik (Nuryani, dkk. 2007). Kualitas minyak nilam secara SNI kualifikasinya ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar Mutu Minyak Nilam Indonesia berdasarkan SNI- 06-2385-2006

No	Jenis Uji	Satuan	Syarat
1	Warna	-	Kuning muda – coklat tua
2	Bobot Jenis 25°C/25 °C	-	0,943 – 0,983
3.	Indeks bias (nD20)	-	1,507 – 1,515
4.	Kelarutan dalam etanol 90 % pada suhu 20°C ± 3°C	-	Larutan jernih atau opalesensi ringan dalam perbandingan volume 1 :10
5	Bilangan asam	-	Maks. 8
6	Bilangan ester	-	Maks. 20
7.	Putaran optic	-	(-)48° – (-)65°
8.	<i>Patchouli Alcohol</i> (C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O)	%	Min. 30
9	Alpha copaene (C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> )	%	Maximum 0,5
10	Kandungan besi (Fe)	mg/kg	Maxsimum 25

Sumber : Balitro, (2003:18)

Beberapa sumber menyebutkan bahwa kualitas minyak yang bagus diproduksi dari daun yang segar ketika proses distilasi, dan juga fermentasi dari daun nilam kering. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya juga menunjukkan bahwa pada penggunaan bahan bakar padat mengurangi produktivitas dan kualitas hasil penyulingan, hal ini dikarenakan transfer panas yang fluktuatif dan tidak merata dari pemanas sepanjang proses distilasi sehingga temperatur dalam boiler cenderung fluktuatif (Sugiarto dan Erwin, 2010). Struktur *Patchouli alcohol* menurut Kemal (2010) seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Struktur rantai molekul *Patchouli alcohol*

Sumber : Kemal dan Gerhard (2010:139)

## 2.4 Distilasi

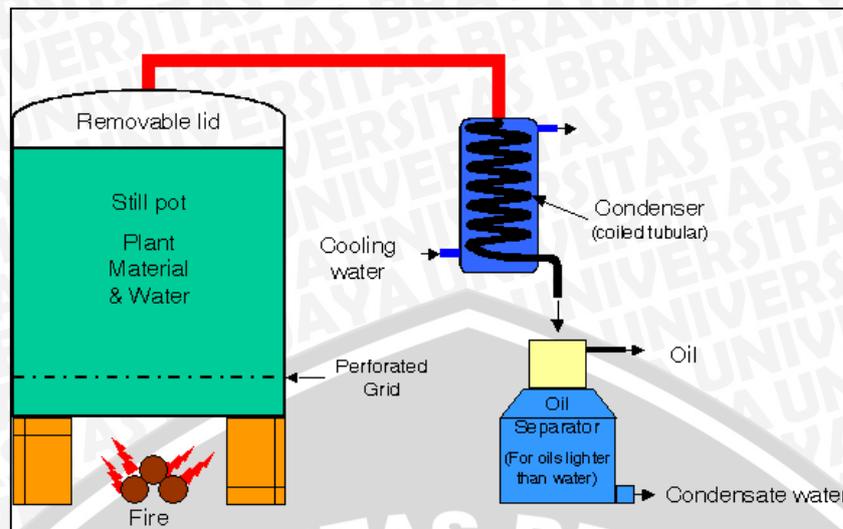
Distilasi atau penyulingan adalah proses pemisahan komponen yang berupa cairan atau padatan dari 2 macam campuran atau lebih berdasarkan perbedaan titik

uapnya, dan proses ini dilakukan terhadap minyak nilam yang tidak larut dalam air. Jumlah minyak nilam yang menguap bersama-sama dengan uap air ditentukan oleh 3 faktor, yaitu besarnya temperatur atau tekanan uap yang digunakan, berat molekul dari masing-masing komponen dalam minyak, dan kemudahan minyak keluar dari sel. Unit operasi distilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa air. Fasa uap terbentuk dari fasa cair melalui penguapan (evaporasi) pada titik didihnya (Geankoplis, 1983).

Belum optimalnya proses distilasi juga disebabkan kandungan minyak nilam dalam daun dan batang nilam yang tidak bisa keluar dikarenakan terperangkap dalam sel-sel yang masih cenderung utuh. Dari pengamatan dilapangan, ketika proses distilasi sudah menunjukkan hasil yang optimal, nilam sisa proses masih harum yang menandakan masih adanya sisa dari minyak yang masih terkandung didalam sel-sel daun. Sehingga untuk mengeluarkan kandungan minyak dari dalam sel tersebut, perlu adanya usaha untuk memaksa minyak tersebut berdifusi keluar dari sel. Cara yang sudah sering dilakukan untuk merusak sel-sel daun adalah dengan mencacah dan mengeringkan daun sebelum proses distilasi, namun cara ini hanya merusak sel secara makro. Menurut penelitian, pengeringan secara konvensional dapat mengakibatkan penyusutan jaringan terluar yang mengakibatkan permeabilitasnya menurun, sehingga cairan dalam sel sulit untuk menguap atau berdifusi keluar (Tsuruta dan Hayashi, 2006). Berkenaan dengan hal tersebut, perlu adanya upaya untuk merusak jaringan/sel sebelum dilakukan proses penyulingan agar dapat mengeluarkan kandungan minyak atsiri yang tersimpan di dalam sel daun maupun batang secara maksimal.

#### a) Penyulingan dengan Air (*Water distillation*)

Pada sistem penyulingan dengan air, bahan yang akan disuling langsung kontak dengan air mendidih. Kelebihan dari sistem penyulingan seperti pada Gambar 2.4 ini adalah cocok digunakan untuk menyuling bahan yang berbentuk tepung dan bunga-bunga yang mudah membentuk gumpalan jika terkena panas. Kelemahannya adalah tidak cocok digunakan untuk bahan-bahan yang berfraksi sabun, bahan yang larut dalam air dan bahannya mudah hangus jika suhu terlalu tinggi.



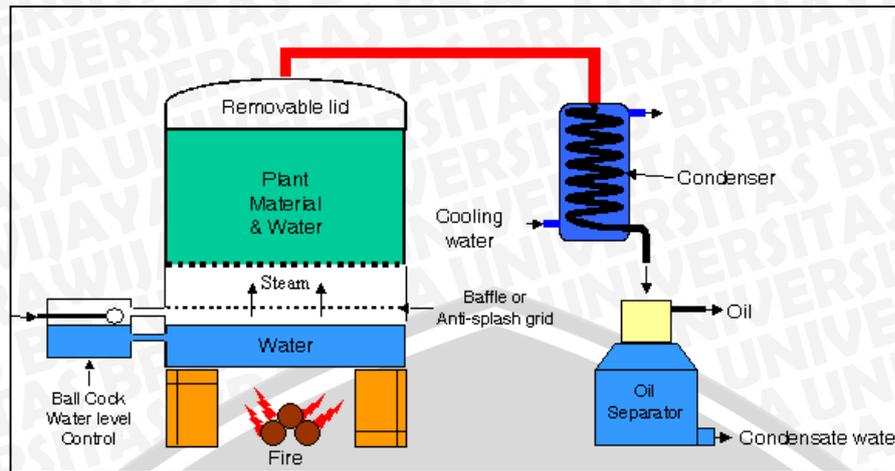
Gambar 2.4 Water Distillation  
Sumber : Goldman (2013)

b) Penyulingan dengan Air dan Uap (*Water and Steam Distillation*)

Pada sistem ini, seperti yang nampak pada Gambar 2.5 bahan diletakkan di atas plat berlubang menyerupai ayakan yang terletak beberapa centimeter di atas air dalam ketel penyuling. Menurut Guenther(1987), kecepatan difusi uap melalui bahan baku dan keluarnya minyak dari sel kelenjar minyak ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu :

- Kepadatan bahan dalam ketel penyulingan
- Temperatur dan tekanan uap
- Berat jenis dan kadar air bahan
- Berat molekul dari komponen kimia dalam minyak.

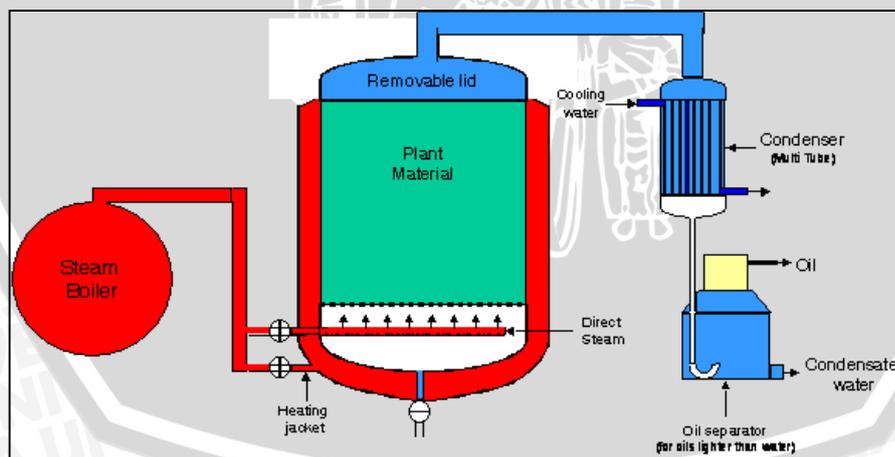
Keuntungan dengan menggunakan sistem penyulingan tersebut adalah karena uap berpenetrasi secara merata kedalam jaringan bahan dapat dipertahankan sampai 100°C. Lama penyulingan relatif lebih singkat, rendemen minyak lebih besar dan mutunya lebih baik jika dibandingkan dengan minyak hasil dari sistem penyulingan dengan air (dimasak).



Gambar 2.5 Water and Steam Distillation  
 Sumber : Goldman (2013)

c) Penyulingan dengan Uap (*Steam Distillation*)

Pada sistem ini, air sebagai sumber uap panas terdapat dalam “boiler” yang letaknya terpisah dari ketel penyulingan. Uap yang dihasilkan seperti pada Gambar 2.6 mempunyai tekanan lebih tinggi dari tekanan udara luar. Jika permulaan penyulingan dilakukan pada tekanan tinggi, maka komponen kimia dalam minyak akan mengalami dekomposisi. Jika minyak dalam bahan dianggap sudah habis tersuling, maka tekanan uap perlu diperbesar dengan tujuan untuk menyuling komponen kimia yang bertitik didih tinggi.



Gambar 2.6 Steam Distillation  
 Sumber : Goldman (2013)

Sistem penyulingan ini baik digunakan untuk mengekstraksi minyak dari biji-bijian, akar dan kayu-kayuan yang pada umumnya mengandung komponen minyak yang bertitik didih tinggi, misalnya minyak cengkeh, kayu manis, akar wangi, “coriander”, sereh, dan minyak “boise de rose”, “sassafras”, “cumin”, “cedar wood”,

kamfer, nilam, kayu putih, “*pimento*”, “*eucalyptus*” dan jenis minyak lainnya yang bertitik didih tinggi.

Bagian-bagian yang pada umumnya terdapat pada alat distilasi :

a. Ketel Destilator

Ketel Destilator berfungsi sebagai tempat air dan bahan untuk menghasilkan uap yang nantinya bercampur dengan minyak, yang berasal dari material distilasi.

b. Kondensor

Kondenser berfungsi merubah fase uap dari aliran menjadi fase cair yang berasal dari ketel penyulingan.

c. Pemanas (*heater*)

Pemanas berfungsi memanaskan ketel penyulingan, bisa berupa uap maupun pemanas berupa kompor yang berasal dari bahan bakar gas, cair maupun padat.

d. Penampung Minyak

Penampung minyak berfungsi menampung minyak hasil distilasi.

Dari destilasi bisa didapatkan rendemen minyak atsiri yang dalam pengolahannya dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2-1) :

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Dimana :

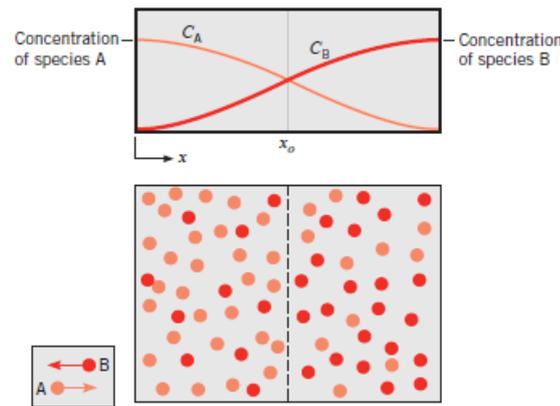
*Output* : Jumlah bahan atau produk yang dihasilkan (gram)

*Input* : Jumlah bahan yang dibutuhkan untuk produksi (gram)

Rendemen : Hasil destilasi yang dinyatakan dalam persentase (%)

## 2.5 Perpindahan Massa

Fenomena yang terjadi pada peristiwa destilasi hampir sama dengan peristiwa yang terjadi pada perpindahan panas, dimana perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Pada destilasi juga terjadi perpindahan massa dimana terdapat perbedaan konsentrasi molekul pada ketel penyulingan, konsentrasi molekul pada bahan lebih tinggi daripada konsentrasi uap air sehingga terjadi difusi massa pada saat proses distilasi diilustrasikan pada Gambar 2.7 yang menyebabkan minyak ikut menguap bersama dengan uap air. Terjadinya difusi dipengaruhi oleh gradien temperatur, gradien tekanan dan gaya luar (*external force*). (Incropera dan Dewitt, 1996)



Gambar 2.7 Perpindahan Massa pada Campuran Gas  
Sumber : Incropera dan Dewitt (1996:935)

Perpindahan massa mengarah kepada perbedaan konsentrasi, konsentrasi yang lebih tinggi berarti lebih banyak molekul per unit volume yang sama, sehingga menyebabkan berpindahnya molekul A ke daerah molekul B dan sebaliknya, seiring dengan menurunnya konsentrasi molekul A. Sebuah campuran dapat berupa dua jenis atau lebih massa jenis  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) atau konsentrasi molar  $C$  ( $\text{kmol/m}^3$ ). Massa jenis dan konsentrasi molar berbanding lurus dengan berat molekul  $M$  ( $\text{kg/mol}$ )

$$\rho_i = M_i \cdot C_i \quad (2-2)$$

Dimana  $\rho_i$  mewakili massa jenis dari molekul  $i$  per unit volume dalam sebuah campuran. Gradien dari fraksi mol jenis sehingga dapat didefinisikan dengan :

$$x_i = \frac{C_i}{C} \quad (2-3)$$

Hubungan dasar dari difusi molekul didefinisikan aliran molar terhadap kecepatan rata-rata molar  $J_A$ . Untuk difusi pada sumbu Z, persamaan Fick Rate nya:

$$J_{A,z} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \quad (2-4)$$

$D_{c_A/dz}$  adalah gradien konsentrasi pada sumbu z dan  $D_{AB}$  adalah koefisien difusi untuk komponen A yang berdifusi dengan komponen B dimana nilai  $D_{AB} = D_{BA}$

Sehingga seiring dengan semakin tingginya konsentrasi molar total  $C$  dengan konsentrasi molar jenis  $i$  konstan, gradien fraksi mol  $i$  akan semakin menurun.

## 2.6 Pembekuan

Air merupakan komponen penting dari material biologi termasuk tumbuh-tumbuhan. Rata-rata kandungan air dalam makhluk hidup mencapai 60-90% massa. Apabila material tersebut dibekukan, maka kandungan air bebas akan berubah menjadi

kristal es. Pembekuan adalah proses perubahan fase dari cair menjadi padat melalui pembuangan panas sensibel dan laten dari suatu material. Selama pembekuan ada tiga tahap : tahap *precooling*, tahap perubahan fase (cair menjadi padat) dan tahap *subcooling* (Sun dan Zheng , 2006). Dalam tahapan *precooling*, hanya panas sensibel dari material yang dibuang, temperatur material menjadi lebih rendah dari temperatur awal sampai mencapai kondisi dimana air mulai berubah menjadi kristal es. Jika temperaturnya terus diturunkan maka kandungan air dalam material akan berubah menjadi kristal es. Pada tahapan transisi ini, pembentukan es terjadi dengan melepas/ membuang panas laten. Pada temperatur ini, dimana kristalisasi air terjadi, proses pembuangan panas sensibel masih terjadi dari komponen-komponen yang lainnya (Kalichevsky, dkk. 1995). Selain air, material biologi umumnya mengandung komponen-komponen lain seperti protein, minyak, lemak, karbohidrat, dll. Dengan adanya komponen lain selain air inilah maka ketika dibekukan, kurva pendinginannya akan berbeda dengan kurva untuk zat-zat murni.

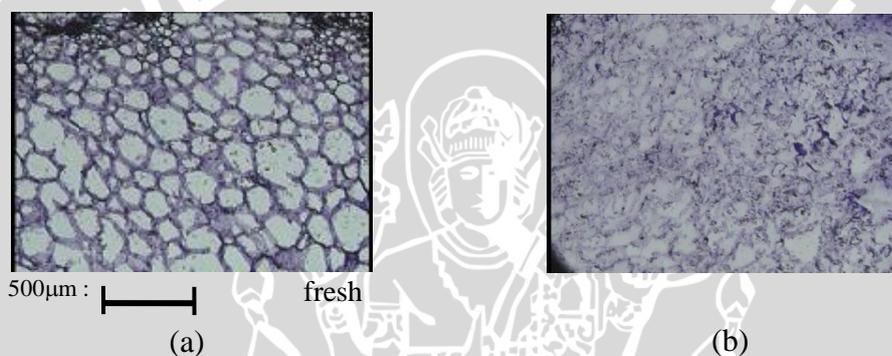
## 2.7 Perusakan Jaringan Sel

Berbagai usaha yang dilakukan untuk memperbaiki kapasitas produksi minyak nilam, metode yang banyak digunakan dalam perusakan sel secara mekanis konvensional dengan mengeringkan daun sebelum dilakukan proses dan juga dengan mencacah daun nilam menjadi bagian-bagian kecil sehingga minyak yang terdapat dalam daun dan batang menjadi lebih mudah untuk keluar. Pengerinan merupakan salah satu metode perusakan jaringan sel dengan cara pengurangan kadar air yang terdapat pada suatu material biologi. Pengerinan sudah banyak diaplikasikan sebagai salah satu cara pengawetan dengan berbagai metode, pengerinan dengan matahari (konvensional), dengan *solar cell*, *cabinet drying*, *tunel drying*, *spray drying*, *vacuum drying*, *drum drying*, dan sebagainya.

Beberapa pengembangan telah menemukan perusakan sel dari material biologi selain dengan menggunakan metode konvensional juga dapat dilakukan dengan metode pembekuan yakni *freezing damage*, kerusakan pada fisik serta jaringan sel dapat terjadi selama proses pembekuan diakibatkan oleh kristal es yang berasal dari air yang terdapat pada daun. Kristal es diawali dengan pembentukan inti es di sekitar sel sehingga terjadi penyusutan pada sel. Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa semakin berkurangnya kadar air pada material maka akan mengurangi terjadinya *freezing damage* yang diakibatkan oleh semakin kecilnya ukuran dari kristal es dan berkurangnya tetesan

air. Selain semakin berkurangnya *freezing damage*, semakin rendah kadar air juga berdampak pada semakin rendahnya *freezing point temperature* dan waktu pembekuan yang semakin singkat (Nurkholis, 2008). Diharapkan dengan kadar air pada material biologi (tumbuhan) yang mencapai 60-80% maka akan terjadi kerusakan pada sel secara maksimal.

Dalam pembekuan suatu jaringan atau sel dari material biologi, pembentukan kristal es dapat terjadi mulai dari luar sel (*extracellular ice*) sampai ke dalam sel (*intracellular ice*). Pada umumnya, kristalisasi es diawali dari pembentukan inti es pada fluida yang berada di luar sel (Fennema, 1973). Kristalisasi es kemudian berlanjut pada fluida (air) yang berada di dalam sel, dimana air murni akan mulai membentuk kristal es pada temperatur 0°C. (Sun dan Zheng, 2006)

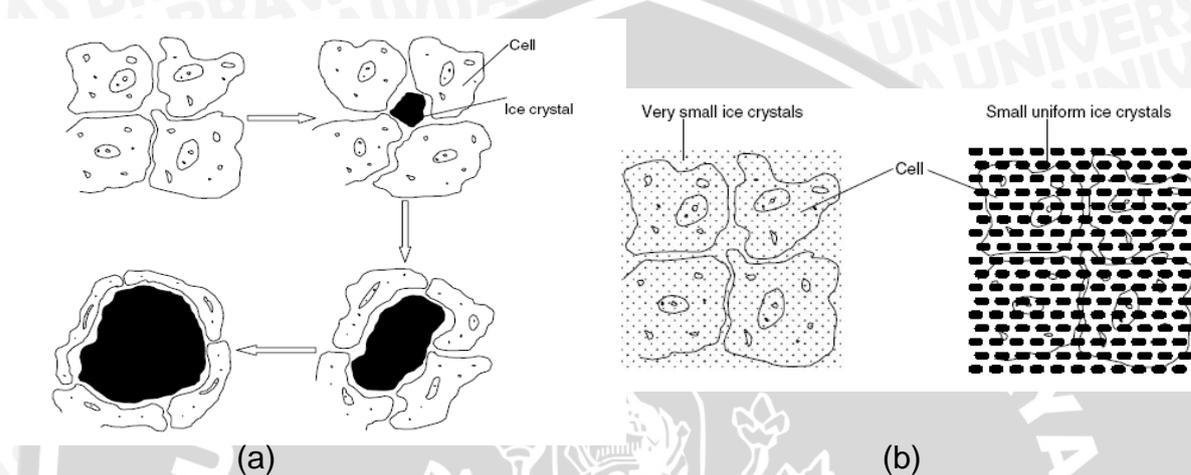


Gambar.2.8 *Photomicrographs* Struktur Mikro Stroberi; (a) Stroberi Segar Dan (b) Stroberi yang Telah Dibekukan dan Dicairkan Kembali.  
Sumber : Nurkholis dan Tsuruta (2008)

Proses pembekuan jaringan dan sel tanaman ataupun hewan dengan laju rendah (kurang dari 1°C/min) akan mengakibatkan terbentuknya *ekstracellular ice* secara eksklusif (Fennema, 1973). Ketika Kristal es mulai terbentuk di luar sel, cairan yang berada di dalam sel akan berdifusi keluar sehingga *extracellular ice* yang terbentuk semakin besar dan sel akan mengalami dehidrasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 (a). Pembekuan yang berlangsung lambat dapat mengakibatkan penyusutan sel akibat dehidrasi. Terbentuknya *extracellular ice* dengan ukuran yang cukup besar dapat menekan sel bahkan dapat mengakibatkan kerusan sel secara permanen yang menurunkan kualitas produk, seperti yang di ilustrasikan dalam Gambar 2.8 (a) dan (b).

Pembekuan jaringan atau sel yang dilakukan pada laju yang cepat (*rapid freezing*), kristal es dapat terbentuk di dalam sel (*intracellular ice*) (Meryman, 1963; Nurkholis, 2006). *Rapid Freezing* akan menghasilkan kristal es dengan ukuran yang kecil dengan jumlah yang banyak. Gambar 2.9 (b) mengilustrasikan pembentukan

kristal es dengan laju yang cepat. Terbentuknya kristal es di dalam sel (*intracellular ice formation*) sering kali mengakibatkan kerusakan struktur sel. Menurut Mazur, 1984, kerusakan sel akibat *intracellular ice formation*, terjadi karena ekspansi air yang membeku di dalam sel. Dari penelitian yang dilakukan oleh Nurkholis Hamidi (2006), jaringan sel bawang yang di bekukan tetap mengalami kerusakan meskipun dilakukan pada kecepatan yang tinggi, mendekati  $70^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .



Gambar 2.9 Pembentukan kristal es (a) laju pembekuan lambat dan (b) laju pembekuan cepat  
Sumber : Meryman (1963:81)

Dari hasil studi diatas menunjukkan bahwa proses pembekuan sangat berpotensi untuk merusak sel, baik itu dilakukan dengan laju yang lambat maupun laju yang cepat. Pada satu sisi hal ini kurang baik untuk proses penyimpanan makanan, jaringan, dan sel yang dibekukan karena kesegaran ataupun tingkat kehidupan sel sangat diperlukan.

## 2.8 Hipotesis

Jadi pembekuan pada suhu yang semakin rendah, menyebabkan kerusakan yang terjadi pada jaringan sel akan semakin meningkat dikarenakan kristal es yang terbentuk semakin banyak, sehingga minyak lebih mudah keluar dari sel, akibatnya volume rendemen meningkat.