

## FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI LAJU PEMBEKUAN VAKUM BAHAN PANGAN CAIR

### *Factors Influencing the Vacuum Freezing Rate of Liquid Food*

Armansyah H. Tambunan<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

*Many freezing methods, mechanical as well as cryogenic, have been in wide application in food industries. Each method has its own advantage, but in regard with the food quality, freezing rate can be accomplished by the method is one of the most important factors. Nowadays, many researchers are conducting experiment in order to enhance the freezing rate. This paper deals with the advantage of vacuum freezing method in enhancing the freezing rate and its applicability for liquid food.*

*Experiment was carried out for distilled water, milk, and fruit juice using multi-purpose vacuum equipment. As easily predicted, minimum pressure of the freezing chamber determine temperature of the product. Variation on the fruit juice concentration shows that faster freezing rate can be achieved if the product is more dilute. The experiment also showed that freezing rate obtained by vacuum freezing was significantly faster than contact plate freezing method.*

*Key words: vacuum freezing, liquid food, freezing rate*

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB, PO Box 220, Bogor 16002; e-mail: [ahtambun@indo.net.id](mailto:ahtambun@indo.net.id)

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Secara umum, metoda pembekuan dapat dikelompokkan menjadi pembekuan mekanik dan pembekuan kriogen (*cryogenic*). Pembekuan kriogen biasanya dilakukan dengan menggunakan zat CO<sub>2</sub> atau N<sub>2</sub> cair, baik dengan cara penyemprotan (*spray*) ataupun pencelupan (*immersion*). Penerapan zat kriogen di industri pembekuan pangan mempunyai keunggulan, antara lain dapat menurunkan kehilangan kadar air dan rasa, mengurangi ukuran kristal pada saat pembekuan, mengurangi kerusakan sel, dll. Akan tetapi, disamping biaya operasi yang tinggi, pembekuan dengan zat kriogen memerlukan pengendalian yang baik untuk menghindari kerusakan bahan hasil pembekuan, karena suhu pembekuan yang sangat rendah.

Jenis-jenis mesin pembeku mekanik yang umum digunakan pada industri pembekuan pangan antara lain adalah, pembeku sembur udara (*air-blast freezer*), pembeku lempeng sentuh (*contact plate freezer*), dan pembeku bed fluidisasi. Runtunan diatas juga menunjukkan peningkatan laju pembekuan yang dapat diberikan oleh masing-masing mesin tersebut. Kebanyakan mesin pembeku mekanis menggunakan zat CFC sebagai media penyerap panas (*refrigeran*). Sejalan dengan protocol Montreal, yang membatasi penggunaan CFC dan HCFC dalam mesin pembeku, aktivitas penelitian lebih diarahkan

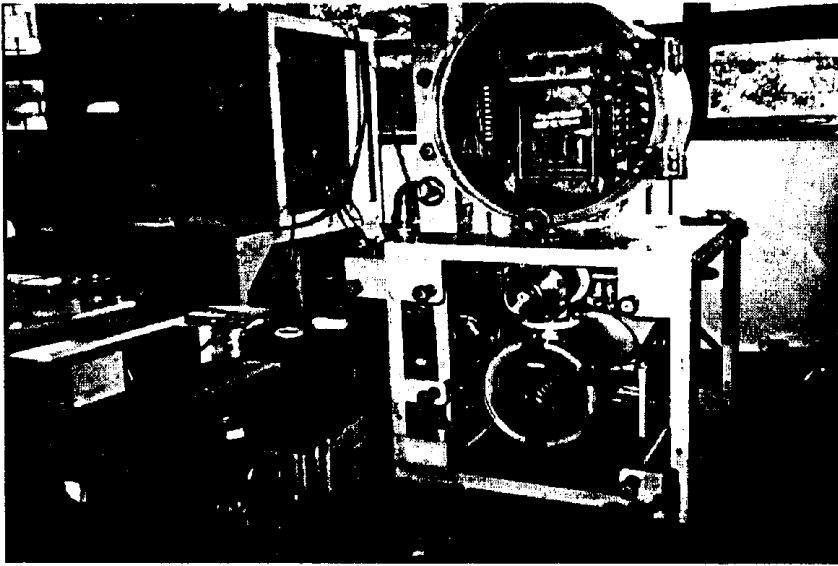
pada pengembangan system pembekuan, baik untuk peralihan jangka pendek maupun untuk menggantikan metoda lama ke metoda pembekuan yang sama sekali baru pada jangka panjang.

Salah satu metoda pembekuan baru, yang dapat menjadi alternatif, adalah metoda pembekuan vakum. Metoda pembekuan vakum didasarkan pada sifat termodinamika air, yaitu terjadinya penurunan titik didih dengan penurunan tekanan. Air murni dapat mendidih pada suhu di bawah 0 °C jika tekanan diturunkan hingga lebih rendah dari 600 Pa. Proses tersebut memerlukan panas laten penguapan/sublimasi, yang jika diambil dari bahan tertentu maka akan dapat menurunkan suhu bahkan kristalisasi es pada bahan tersebut.

Secara umum, laju pembekuan dengan metoda pembekuan vakum akan lebih cepat, karena mode pindah panas yang berlangsung adalah perubahan fase, dibandingkan dengan mode pindah panas konduksi/konveksi pada metoda pembekuan lainnya. Keuntungan lain dari metoda ini adalah berkurangnya kemungkinan penularan penyakit antar produk karena ketiadaan media, serta kemungkinan penggunaannya secara kombinasi dengan proses pengeringan beku.

### b. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap laju pembekuan vakum berbagai bahan pangan cair.



**Gambar 1.** *Multipurpose Vacuum Equipment* yang digunakan untuk pembekuan vakum

## METODOLOGI

Pembekuan vakum dilakukan dengan menggunakan peralatan multipurpose vacuum equipment (foto pada Gambar 1), yang dilengkapi dengan peralatan akuisisi data secara otomatis. Sistem akuisisi data yang digunakan memungkinkan pengukuran tekanan, suhu dan massa bahan secara kontinyu selama proses pembekuan. Pompa vakum yang digunakan adalah jenis rotary (kapasitas 500 l/mnt), dibantu dengan system perangkap uap air secara kondensasi untuk menghindari pemasukan uap air ke pompa.

Bahan pangan yang dibekukan adalah air murni (sebagai standar), susu (hasil pasteurisasi), jus jeruk (konsentrasi 20%, 50%, dan 80% basis berat), serta jus markisa. Untuk mendapatkan gambaran laju

pembekuan, dilakukan perbandingan terhadap metoda pembekuan lempeng sentuh.

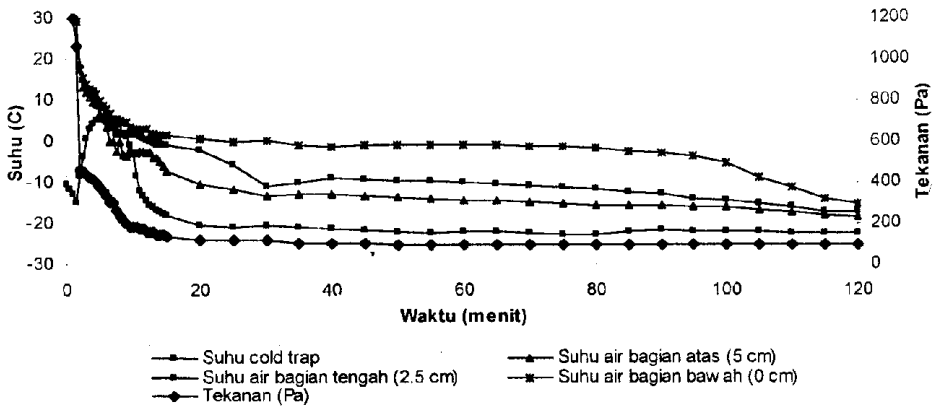
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4, masing-masing menunjukkan profil suhu selama proses pembekuan vakum air murni, susu pasteurisasi, dan jus markisa. Sebaran suhu pada bahan dinyatakan dalam tiga titik untuk pembekuan air dan susu pasteurisasi, yaitu suhu bagian bawah (0 cm), suhu bagian tengah (2,5 cm) dan suhu bagian atas (5 cm), sedangkan untuk pembekuan markisa dinyatakan dalam empat titik. Sebagai parameter operasi, pada gambar-gambar tersebut juga ditunjukkan profil perubahan suhu perangkap uap air (*coldtrap*) dan perubahan tekanan dalam ruang pembekuan.

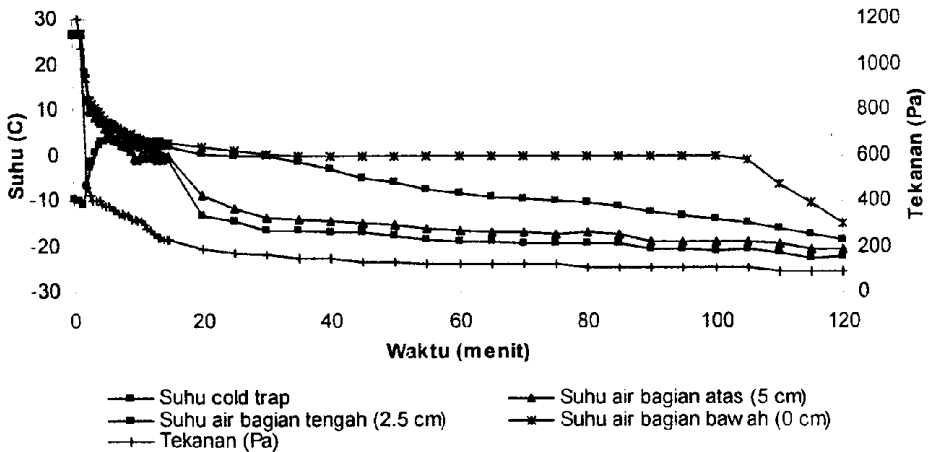
Operasi pembekuan vakum dimulai dengan pemompaan udara dari ruangan, pada mana terdapat bahan yang akan dibekukan, untuk menurunkan tekanan dalam ruang tersebut. Penurunan tekanan dengan menggunakan pompa rotari memerlukan bantuan sistem perangkat uap air untuk menghindari masuknya uap air tersebut ke dalam pompa. Volume jenis uap air pada tekanan rendah sekitar 200 kali lebih besar dari

volume jenis uap air pada tekanan normal, sehingga tanpa penggunaan perangkat uap air beban pompa vakum akan terlalu besar dan bahkan tidak mungkin untuk menurunkan tekanan ruang pembeku hingga tingkat yang diinginkan. Dalam penelitian ini, pemeringkapan uap air dilakukan dengan cara kondensasi, sehingga disebut sebagai perangkat dingin (coldtrap).

Pada gambar-gambar tersebut



Gambar 3. Profil suhu dan tekanan selama pembekuan vakum susu pasteurisasi

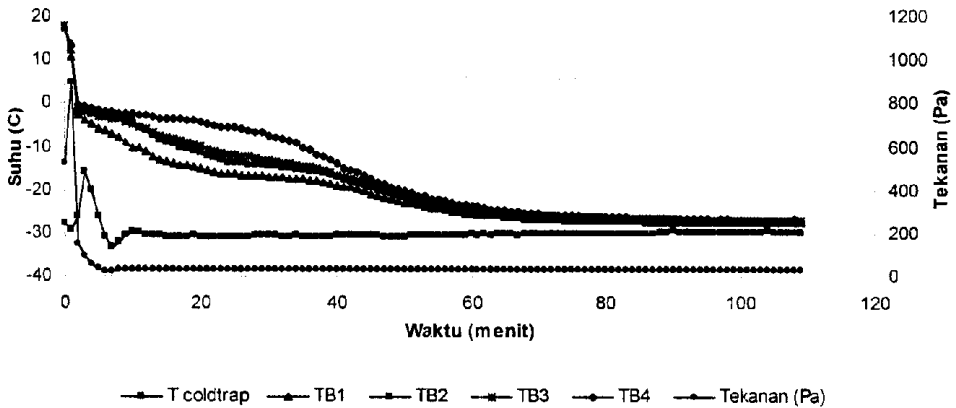


Gambar 2. Profil suhu dan tekanan selama pembekuan vakum air

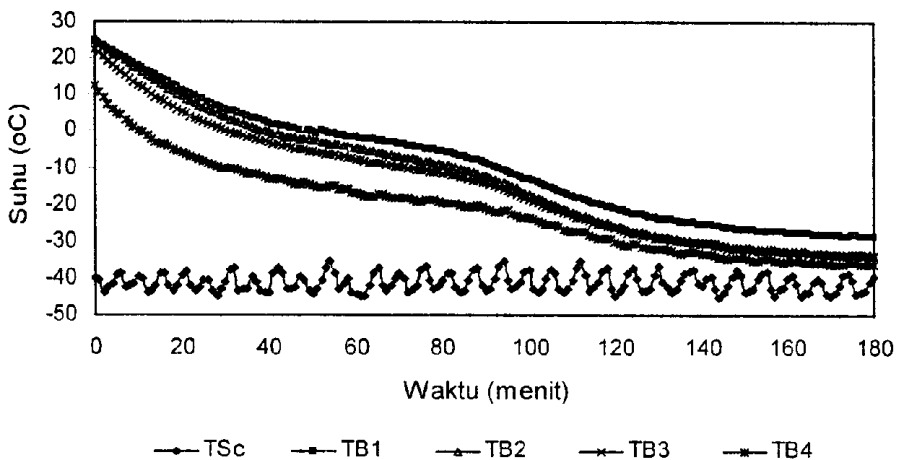
tampak bahwa pada tahap awal pembekuan terjadi peningkatan suhu coldtrap, yang menunjukkan terjadinya semburan (*flash*). Titik sembur adalah titik dimana mulai terjadinya pendidihan air dalam bahan, sebagai akibat dari tekanan ruang pembeku yang telah mencapai tekanan jenuh dalam bahan (sesuai dengan suhu awal bahan). Sejumlah uap air yang dilepaskan dari bahan pada saat semburan tersebut mengalami

kondensasi sehingga meningkatkan suhu coldtrap.

Dari sebaran suhu bahan tampak bahwa suhu bagian atas (permukaan) turun lebih dulu dan lebih cepat dari pada bagian bawah (ke arah pusat panas bahan). Hal ini terjadi karena permukaan bahan bersentuhan langsung dengan ruang vakum. Pengamatan percobaan serta data pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahan pada bagian



Gambar 4. Profil suhu dan tekanan selama pembekuan vakum jus markisa



Gambar 5. Profil suhu jus markisa selama pembekuan dengan lempeng sentuh

permukaan telah mengalami pembekuan sebelum bagian lainnya mencapai suhu yang memungkinkan terjadinya kristalisasi es. Lapisan es di permukaan ini menyebabkan terhambatnya penguapan air dari bagian dalam bahan. Pembekuan vakum air dan susu pasteurisasi menunjukkan bahwa bagian bawah bahan baru mulai mengalami pembekuan setelah proses berlangsung selama 100 menit, dan waktu yang diperlukan untuk menurunkan suhu bahan rata-rata ke  $-20^{\circ}\text{C}$  adalah sekitar 120 menit. Kondisi operasi untuk proses pembekuan air dan susu pasteurisasi adalah tekanan ruang pembeku sekitar 93 – 107 Pa dan suhu coldtrap  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Setelah terbentuknya lapisan es di permukaan, proses pembekuan tampaknya berlangsung melalui kombinasi antara sublimasi es pada bagian permukaan dan perpindahan panas dari bagian dalam ke bagian permukaan bahan. Hal ini mengakibatkan laju pembekuan yang lebih lambat. Berdasarkan hasil ini, kemungkinan pengadukan bahan selama proses pembekuan untuk menghindarkan terjadinya lapisan es di permukaan perlu dipelajari lebih lanjut.

Perbandingan parameter operasi pembekuan vakum berbagai bahan pangan cair ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 2.** Perbandingan parameter pembekuan berbagai bahan dengan pembekuan lempeng sentuh

Bahan	P	TC	TB	WP
Air	93	-22.3	-18.1	110
	107	-20.5	-19.3	120
	93	-19.3	-16.2	120
Jus jeruk (C:20%)	93	-22.3	-18.0	120
	93	-22.6	-19.0	120
Jus jeruk (C:50%)	93	-20.7	-16.9	180
	74	-23.9	-18.4	210
Jus jeruk (C-80%)	107	-20.2	-12.0	250
	133	-16.6	-6.7	210
Susu	93	-22.3	-16.9	120
	74	-24.6	-18.6	120
	93	-22.5	-16.3	120
Jus mar- kisa	13.3	-36.4	-30.0	136
	23.6	-32.0	-27.7	120
	40.0	-29.7	-27.1	109
Jus mar- kisa*	-	-45.6	-32.1	200
	-	-43.3	-32.9	207
	-	-39.8	-30.1	180

Catatan:

P: tekanan (Pa)

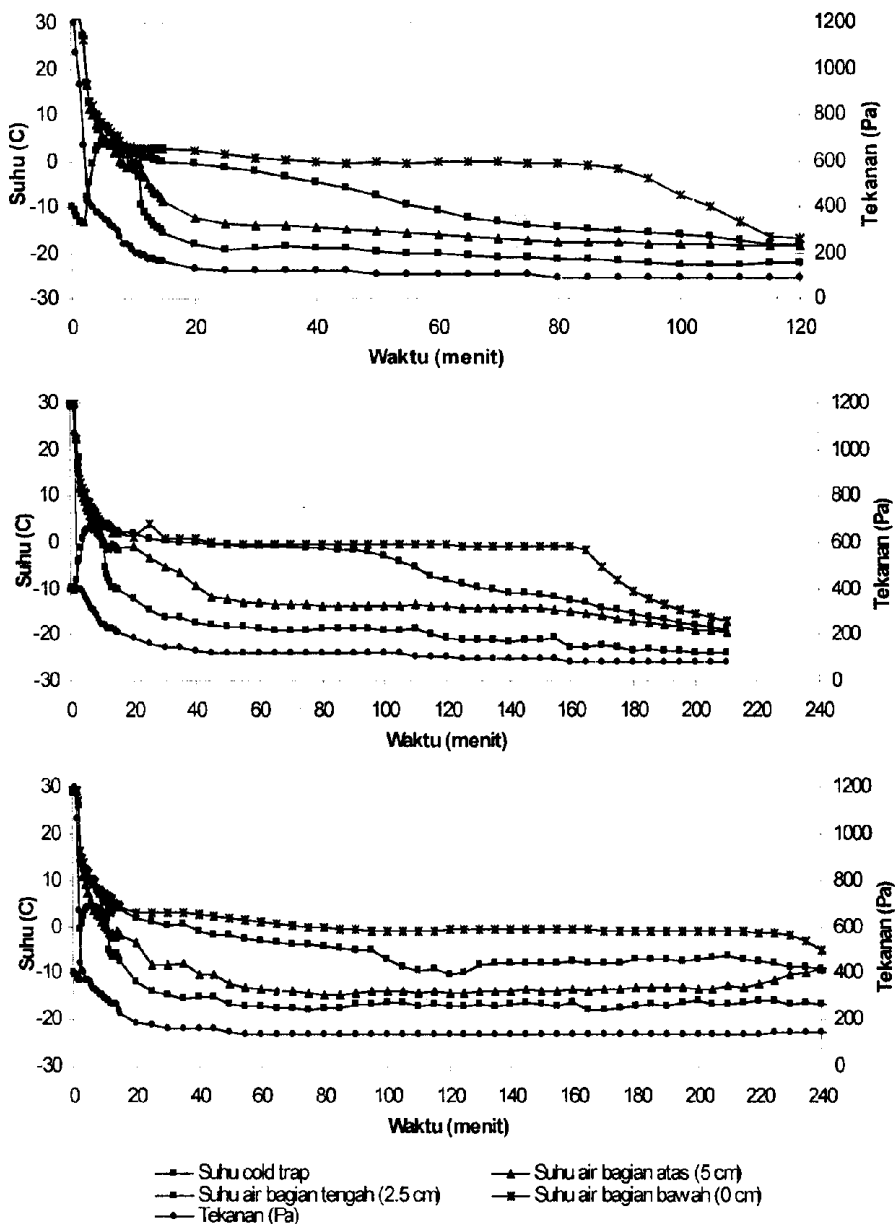
TC: suhu coldtrap atau lempeng ( $^{\circ}\text{C}$ )

TB: suhu akhir bahan (rata-rata:  $^{\circ}\text{C}$ )

WP: waktu pembekuan (menit)

\* pembekuan dengan lempeng sentuh

Merujuk pada Gambar 4, tampak bahwa tekanan ruang pembeku yang lebih rendah (sekitar 13 – 40 Pa) dan kemampuan coldtrap yang lebih baik



Gambar 6. Perbandingan profil suhu jus jeruk pada berbagai konsentrasi (dari atas ke bawah: 20%, 50% dan 80% basis berat) selama pembekuan vakum

(suhu koil kondensasi berkisar pada  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dapat meningkatkan laju pembekuan. Disamping itu, suhu akhir bahan tampak sangat dipengaruhi oleh tekanan ruang pembeku dan suhu coldtrap. Dalam hal ini, suhu bahan bagian bawah sudah mulai mengalami pembekuan pada menit ke 20, dan waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu rata-rata bahan sebesar  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  adalah sekitar 50 menit.

Sebagai perbandingan, pada Gambar 5 ditunjukkan profil suhu jus markisa selama pembekuan dengan metoda lempeng sentuh. Perbedaan yang cukup jelas antara pembekuan vakum dengan pembekuan lempeng sentuh terjadi pada tahap penurunan suhu awal suhu perubahan fase (sekitar  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 jelas bahwa pembentukan lapisan es pada permukaan bahan merupakan factor yang sangat mempengaruhi laju pembekuan vakum.

Pada Gambar 5, TSc adalah suhu lempeng pembeku, yang mana pada metoda pembekuan vakum diharapkan dapat sebanding dengan suhu jenuh air yang setara dengan tekanan ruang pembekuan. Pada metoda pembekuan lain suhu media pembeku (seperti suhu lempeng pada metoda pembekuan lempeng sentuh) merupakan factor yang berpengaruh penting terhadap laju pembekuan. Dengan demikian, tekanan ruang pembeku yang dapat dikonversi menjadi suhu jenuh air yang sebanding dengan tekanan tersebut dapat dianggap sebagai suhu media

pembekuan pada metoda pembekuan mekanis atau kriogen.

Pada Gambar 6 ditunjukkan perbandingan profil suhu jus jeruk yang dibekukan pada konsentrasi awal yang berbeda. Dari gambar tersebut jelas bahwa peningkatan konsentrasi bahan sangat berpengaruh terhadap laju pembekuan vakum. Semakin tinggi konsentrasi menunjukkan semakin rendah kadar air, sehingga tingkat ketersediaan air untuk diuapkan semakin rendah. Hal ini menyebabkan menurunnya laju penguapan dan pada gilirannya menurunkan laju pembekuan vakum. Pada dasarnya metoda pembekuan vakum dapat dianggap lebih sesuai untuk bahan yang bersifat cair, karena metoda ini memerlukan penguapan air untuk mendapatkan efek pembekuan yang dikehendaki.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian seperti diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembentukan lapisan es pada bagian permukaan bahan merupakan penghambat penguapan air dari bagian bawah bahan dan pada akhirnya menurunkan laju pembekuan vakum
2. Tekanan ruang pembeku, suhu perangkat dingin (coldtrap) dan konsentrasi bahan merupakan factor penting yang mempengaruhi laju pembekuan vakum.
3. Tekanan dan suhu coldtrap dapat dianggap setara dengan suhu media pembeku pada metoda pembekuan lain.



4. Semakin tinggi konsentrasi bahan menyebabkan semakin rendah laju pembekuan vakum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Keenan, J.H., F.G. Keyes, P.G. Hill, and J.G. Moore, 1978, Steam Tables. Thermodynamic properties of water including vapor, liquid and solid phases, John Wiley & Sons, New York, pp.134-138
- Markus Widyoko, 1998, Mempelajari karakteristik pembekuan vakum, Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB
- Reid, D.S., 1997, Overview of Physical/Chemical Aspects of Freezing, di dalam Quality in Food Freezing (Erickson, M.C., and Hung, Y., ed.), Chapman & Hall, New York, USA, pp. 10-28
- Tambunan, A.H., 1995, Karakteristik pendinginan vakum sayuran berdaun, J. Teknik Pertanian, Vol. 4(1), pp. 1-6
- Tambunan, A.H., 2000, Pembekuan vakum bahan pangan berkadar air tinggi, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Pertanian, Bogor, 11-12 Juli 2000, Vol. 2, pp. 18-24
- Wallens, COB., and J. Venetucci, 1995, Emerging Freezing Technology, di dalam Food Processing: Recent Development (A.G. Gaonkar, ed.), Elsevier Science, pp.227-240