

**PENGEMBANGAN PRODUK ANGEL FOOD CAKE DENGAN  
*WHIPPING PROTEIN* ALTERNATIF PENGGANTI PUTIH TELUR**

**SUBARNA  
ARUM RANANDHYTA**



**DEPARTEMEN ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2022**

# **PENGEMBANGAN PRODUK ANGEL FOOD CAKE DENGAN WHIPPING PROTEIN ALTERNATIF PENGGANTI PUTIH TELUR**

## **ABSTRAK**

*Angel food cake* merupakan produk bakeri dengan struktur yang berongga rongga dan tekstur yang halus. Struktur tersebut terbentuk dari busa yang dihasilkan dari putih telur sebagai *whipping protein*. Zat allergen berupa ovomukoid pada putih telur menyebabkan tingginya persentase alergi terhadap telur. Hal itu melatarbelakangi adanya penelitian mengenai pengembangan produk menggunakan beberapa protein lain sebagai *whipping protein*. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik pembentukan busa dari *whipping protein* putih telur dan *whipping protein* alternatif, serta merancang formula dan proses pembuatan produk *angel food cake* dengan menggunakan *whipping protein* alternatif.

Studi literatur pengembangan produk *angel food cake* dengan *whipping protein* alternatif dilakukan dengan mengkaji 45 literatur. Percobaan pembuatan *angel food cake* dilakukan dengan menggunakan isolat protein kedelai 0, 50 dan 100% untuk menggantikan putih telur sebagai *whipping protein* dan penambahan asam (tanpa asam, asam sitrat, cream of tartar) untuk memperbaiki karakteristik busa.

Hasil kajian pustaka dan penelitian lab menunjukkan adanya potensi besar dalam penggantian putih telur dengan protein alternatif pada produk *angel food cake* yang didasari kemampuan protein alternatif berupa isolat protein kedelai dan isolat protein whey dalam membentuk busa dengan kapasitas dan stabilitas yang baik. Faktor sumber atau jenis protein, konsentrasi, taraf penambahan gula, jenis asam, preheating dan lama pengocokkan berpengaruh pada karakteristik fisik, kapasitas dan stabilitas busa. Karakteristik busa sangat menentukan mutu fisik produk *angel food cake* yang dihasilkan. Produk *angel food cake* yang dibuat dengan menggunakan protein alternatif volumenya lebih kecil dibandingkan dengan volume produk menggunakan putih telur dan rongga produk yang lebih besar. Produk *angel food cake* yang dibuat dengan isolate protein kedelai dan asam cream of tartar volumenya 20% lebih rendah dibandingkan dengan volume produk standar (menggunakan putih telur).

Kata kunci: *angel food cake*, bakeri, *whipping protein*, putih telur, busa

## **KATA PENGANTAR**

Innalhamdalillah. Segala puji bagi Allah. Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan menyusun laporan yang berjudul “Kajian Pengembangan Produk *Angel Food Cake* dengan *Whipping Protein* Alternatif Pengganti Putih Telur”. Terima kasih kepada semua yang mendukung. laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Bogor, Desember 2022

SUBARNA

# DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
II. METODE	2
2.1 Alat dan Bahan	2
2.2 Prosedur	2
III HASIL DAN PEMBAHASAN	5
3.1 Klasifikasi Literatur	5
3.2 Pembentukan Busa pada Whipping Protein	11
3.3 Potensi Aplikasi Whipping Protein pada Angel Food Cake	17
IV SIMPULAN DAN SARAN	38
4.1 Simpulan	38
4.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39

## DAFTAR TABEL

1	Jumlah literatur yang digunakan pada kajian literatur	5
2	Skripsi, tesis, dan disertasi yang digunakan pada kajian literatur	5
3	Jurnal ilmiah terpublikasi yang digunakan pada kajian literatur	6
4	Buku elektronik yang digunakan pada kajian literatur	10
5	Jenis cake berdasarkan metode mixing yang digunakan	19
6	Penelitian yang menggunakan protein alternatif sebagai whipping protein pengganti putih telur pada <i>angel food cake</i>	26
7	Data hasil percobaan dengan tiga perbandingan protein yang berbeda sebagai whipping protein dan tiga jenis perlakuan asam yang berbeda	38
8	Foto bentuk dan struktur <i>angel food cake</i> daritiga perbandingan protein yang berbeda sebagai whipping protein dan tiga jenis perlakuan asam yang berbeda	39

## DAFTAR GAMBAR

1	Struktur busa (A), Struktur gelembung udara (B) yang terbentuk dari protein dan membentuk busa (Blasco et al 2011)	12
2	Perubahan struktur protein setelah denaturasi	13
3	Busa dari berbagai bahan setelah pengocokan 10 menit dan 20 menit (Abu Ghous et al. 2010)	15
4	Busa dari protein putih telur (A) dan beberapa protein alternatif yaitu kasein (B), isolat protein whey (C), konsentrat protein whey (D), dan isolat protein whey 90% (E) (Abu Ghous et al. 2010)	16
5	Grafik pengaruh konsentrasi protein dan jenis protein terhadap pengembangan busa	17
6	Tahapan pembuatan <i>angel food cake</i>	21
7	Pengaruh perlakuan suhu tinggi dan waktu perlakuan preheating terhadap <i>foam capacity</i> (ml) dan <i>foam stability</i> (%) dari isolat protein kedelai	29
8	Mikrostruktur adonan <i>angel food cake</i> menggunakan busa dari protein putih	29
9	Perbedaan hasil <i>angel food cake</i> dengan penggunaan tiga whipping protein yang berbeda (Abu-Ghous et al. 2010)	30
10	Perbedaan struktur <i>angel food cake</i> menggunakan busa protein putih telur dan menggunakan busa isolat protein whey (Berry et al. 2009)	30
11	Perbedaan struktur <i>angel food cake</i> menggunakan busa protein putih telur (kiri) dan menggunakan busa isolat protein whey (kanan) dengan perbedaan persentase penggunaan gula (Yang dan Foegeding 2010)	31

# I. PENDAHULUAN

## 1. Latar Belakang

Cake dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yaitu: batter type, foam type dan chiffon type. *Batter type cake* biasanya mengandung lemak dalam jumlah banyak, adonannya cair sehingga kemampuannya menahan gas tidak besar, sedangkan *foam type cake* biasanya sedikit sekali atau tidak menggunakan lemak tetapi melalui pengocokan *whipping protein* (putih telur) menghasilkan busa yang sangat ringan karena memerangkap udara dalam jumlah banyak. Chiffon type cake merupakan kombinasi antara *batter type* dan *foam type* dalam resep dan teknik pembuatannya.

*Foam type cake* terdiri dari angel food cake dan sponge cake. Angel food cake dibuat melalui pembentukan busa dari putih telur yang dikocok sedangkan sponge cake dibuat dari campuran putih dan kuning telur. Busa dari putih telur sangat ringan dan kokoh, sehingga dapat menghasilkan struktur produk berongga-rongga yang lembut serta tekstur yang halus dan elastis mirip dengan tekstur roti. Tidak seperti pound cake yang terkesan padat, lembab dan berlemak, produk Angel food cake terkesan ringan dan kering karena kadar lemaknya sangat rendah. Produk jenis ini disukai konsumen karena struktur produk yang berongga-rongga, lembut serta tekstur yang halus dan elastis. Pembentukan struktur produk yang berongga-rongga, lembut serta tekstur yang halus dan elastis pada *foam type cake* tidak mengandalkan pada jaringan gluten, tetapi mengandalkan kemampuan putih telur membentuk busa ketika pengocokan (*whipping*).

Ovomukoid pada putih telur menyebabkan sebagian konsumen alergi terhadap telur, oleh karena itu pada penelitian ini dipelajari sumber protein lain pengganti putih telur yang dapat membentuk busa sebagai *whipping protein*. Cake jenis busa dengan bahan *whipping protein* alternatif pengganti putih telur akan menghasilkan produk bebas telur (*eggless*) yang dicari konsumen yang alergi terhadap telur. Protein dari sumber non telur mungkin memiliki sifat fungsional fisik yang mirip dengan protein putih telur tetapi tidak sama kemampuannya membentuk busa yang besar dan stabil. Oleh karena itu diperlukan kajian karakteristik pembentukan busa dan perlakuan preparasi *whipping protein* alternatif pengganti putih telur untuk bisa menghasilkan produk yang mirip standar tanpa menggunakan putih telur.

## 2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik fungsional fisik busa dari *whipping protein* putih telur dan *whipping protein* alternatif, serta merancang formula dan proses pembuatan produk angel food cake dengan menggunakan *whipping protein* alternatif pengganti putih telur.

## II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian pustaka dan percobaan pembuatan produk di laboratorium. Kajian pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai pustaka yang telah dipublikasi. Percobaan pembuatan angel food cake dengan menggunakan isolat protein kedelai untuk menggantikan putih telur sebagai whipping protein dan asam untuk memperbaiki karakteristi busa. Data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian kajian pustaka ini diperoleh melalui data sekunder. Data sekunder diperoleh dari jurnal ilmiah, skripsi, tesis, disertasi, karya tulis ilmiah, dan sumber literatur lain dari internet yang sumber informasinya dapat dipertanggungjawabkan, yang berkenaan dengan topik dan bahasan dari kajian pustaka.

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penulisan kajian literatur meliputi laptop, jaringan internet, dan berbagai jenis perangkat lunak seperti Microsoft Word 2010 sebagai perangkat lunak pengolah kata, Microsoft Excel 2010 sebagai perangkat lunak pengolah data, Mozilla Firefox dan Google Chrome sebagai perangkat lunak browser, dan Mendeley Desktop sebagai perangkat lunak manajemen referensi, serta beberapa situs web seperti Google sebagai mesin pencari, Google Translate sebagai mesin penerjemah, serta berbagai situs penyedia berkala ilmiah seperti Google Scholar, Science Direct, Repository IPB, Research Gate, Elsevier, Online Wiley Library, dan situs lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penulisan kajian literatur ini adalah literatur terpublikasi seperti skripsi, tesis, disertasi, artikel terpublikasi di jurnal nasional maupun internasional, buku elektronik terbitan dalam negeri atau luar negeri, buletin ilmiah, dokumen lembaga resmi, prosiding konferensi, dan situs web penyedia informasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Alat yang digunakan dalam tahap verifikasi hasil kajian literatur adalah alat-alat yang digunakan dalam pengembangan whipping protein dan pembuatan angel food cake, meliputi wadah, baskom, gelas piala, batang pengaduk, sudip, timbangan, timbangan analitik, blender, spatula, pisau, aluminium foil, loyang tipe tube pan, bubble whisk, mixer, oven, waterbath, dan lain-lain. Bahan yang digunakan dalam tahap verifikasi hasil kajian literatur adalah bahan-bahan yang digunakan dalam pengembangan whipping protein dan pembuatan angel food cake meliputi isolat protein kedelai komersial (kadar protein > 90%), tepung terigu protein rendah, putih telur, air terdestilasi, cream of tartar, asam sitrat, gula halus, garam, xanthan gum, dan lain-lain.

### 2.2. Prosedur

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah studi berdasarkan kepustakaan, yang dilakukan dengan pengumpulan berbagai literatur yang telah dipublikasi. Data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian kajian literatur ini diperoleh melalui data sekunder, yaitu merupakan data yang diperoleh bukan dari pengamatan langsung, melainkan diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Hasil dari kajian pustaka kemudian dibuktikan dengan melakukan verifikasi. Tahap verifikasi dalam tugas akhir ini dilakukan dengan mengaplikasikan metode, proses, serta teori dari literatur yang telah dikaji.

#### 2.2.1. Kajian Literatur

Langkah dalam menulis kajian literatur meliputi pendeskrisian topik, pencarian dan pengumpulan literatur, seleksi literatur, analisis dan kajian literatur.

a. Pendeskripsian Topik

Beberapa hal yang dibahas dalam kajian literatur ini adalah: (1) Prinsip pembentukan busa pada protein; (2) Karakteristik busa yang terbentuk oleh protein yang meliputi kapasitas pembentukan busa dan stabilitas busa; (3) Faktor yang memengaruhi pembentukan busa pada protein; (4) Pembuatan produk angel food cake; serta (5) Potensi aplikasi whipping protein pada produk angel food cake.

b. Pencarian dan Pengumpulan Literatur

Pencarian literatur dilakukan dengan menuliskan kata kunci yang relevan dengan topik kajian literatur pada mesin pencari. Pengumpulan literatur dilakukan dengan mengunduh literatur dari internet melalui berbagai situs penyedia berkala ilmiah seperti Google Scholar, Science Direct, Repository IPB, Research Gate, Elsevier, Online Wiley Library, dan mesin pencarian lainnya dari hasil pencarian dengan kata kunci yang relevan dengan permasalahan yang dikaji.

c. Seleksi Literatur

Literatur yang digunakan harus memenuhi kriteria literatur sebagai berikut:

1. Literatur merupakan tulisan ilmiah seperti artikel ilmiah terpublikasi di jurnal nasional atau internasional terakreditasi yang mempunyai International Standard Serial Number (ISSN) atau buku yang memiliki nomor International Standard Book Number (ISBN) sebagai bukti legalitas
2. Literatur membahas tentang penelitian mengenai sifat fungsional pembentukan busa (foaming ability) dari protein, penelitian mengenai alternatif protein lain sebagai whipping protein untuk digunakan sebagaipengganti putih telur pada produk pangan, maupun sumber pustaka yang memaparkan proses dari protein sebagai whipping protein.
3. Literatur pendukung berupa dokumen resmi yang informasinya dapat dipertanggungjawabkan, seperti BPS, BPOM, CODEX, dan sumber lainnya.

d. Analisis dan Kajian Literatur

Literatur yang didapatkan kemudian dipelajari secara menyeluruh dengan cara membaca informasi yang dibutuhkan, menganalisis, mensintesis, membandingkan antar sumber pustaka yang satu dengan yang lainnya, serta mencari keterkaitan antar literatur. Dilakukan kompilasi dari hasil kajian analisis literatur menjadi suatu ringkasan agar dihasilkan informasi ilmiah yang komprehensif. Informasi yang dikaji pada kajian literatur ini meliputi teori, proses, hasil, simpulan serta informasi-informasi lain yang relevan dengan topik penulisan.

## 2.2.2 Percobaan Pembuatan Angel Food Cake

Pembuatan angel food cake menggunakan metode yang mengacu pada Pernell et al. (2002) dengan modifikasi. Modifikasi dilakukan dengan menggunakan tiga formulasi whipping protein yaitu 100% putih telur, 50% putih telur dan 50% isolat protein kedelai, dan 100% isolat protein kedelai, serta tiga perlakuan asam yang berbeda yaitu tanpa penambahan asam, asam sitrat 0,2%, dan cream of tartar 0,2%



a. Pembuatan Whipping Protein

Whipping protein yang menggunakan isolat protein kedelai komersial dibuat dengan prosedur sebagai berikut: isolat protein kedelai dilarutkan dengan air dengan persentase sebesar 5% (w/w), kemudian ditambahkan dengan gum xanthan dengan persentase 0,01% (w/w). Larutan protein dan gum xanthan kemudian dipanaskan dengan waterbath suhu 80 °C selama 10 menit. Selanjutnya dilakukan penambahan sukrosa bubuk dengan persentase 15% (w/w) dan penambahan asam. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan whipping protein dengan larutan sebanyak 200 gram. Pengocokan larutan whipping protein tersebut dilakukan menggunakan mesin pengocok selama 10-15 menit dengan menggunakan mode high speed dan medium.

b. Pembuatan Angel Food Cake

Angel food cake pada penelitian ini dibuat dengan melakukan pencampuran kering tepung terigu seberat 66 gram dan sukrosa bubuk seberat 50 gram dan dilakukan pengayakan. Campuran tepung dan sukrosa dicampurkan dengan busa whipping protein dengan metode adukan melipat (folding). Adonan cake kemudian dimasukkan ke dalam loyang bertipe tube pan dan dipanggang dalam oven dengan suhu 205 °C selama 35—45 menit. Angel food cake kemudian didinginkan di suhu ruang dengan posisi loyang yang diletakkan secara terbalik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Klasifikasi Literatur

Sebanyak 45 dari 103 literatur telah dipilih berdasarkan kriteria sumber pustaka yang digunakan. Literatur terdiri dari 2 skripsi, 33 jurnal ilmiah, 10 buku terbitan luar negeri atau dalam negeri, dan sumber lainnya seperti pada dapat dilihat pada Tabel 1. Dapat disimpulkan bahwa sumber literatur didominasi oleh jurnal ilmiah terpublikasi.

Tabel 1 Jumlah literatur yang digunakan pada kajian literatur

Jenis literatur	Jumlah jenis literatur
Skripsi	2
Tesis	-
Disertasi	-
Jurnal Ilmiah Nasional	2
Jurnal Ilmiah Internasional	31
Buku elektronik terbitan luar negeri	9
Buku elektronik terbitan dalam negeri	1
Situs web	-
Dokumen lembaga resmi	-

##### 3.1.1 Skripsi, Tesis, dan Disertasi

Kajian literatur ini menggunakan sumber dari tugas akhir meliputi 2 skripsi. Skripsi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Skripsi yang digunakan pada kajian literatur

Sumber	Jenis literatur	Hasil
Nelsiana H. 2007. Mutu fisik dan organoleptik angel food cake yang dibuat dari tepung putih telur ayam hasil lama desugarisasi yang berbeda [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor	Skripsi	Pada tahap <i>baking</i> dalam proses pembuatan <i>angel food cake</i> , terjadi gelatinisasi pati pada suhu sekitar 55—65 °C.
Sa'adah U. 2007. Daya dan kestabilan busa putih telur pada umur simpan dan level penambahan asam sitrat yang berbeda [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor	Skripsi	Tingkat denaturasi protein $\gamma$ meningkat karena adanya suhu tinggi, nilai pH yang ekstrim, digunakannya pelarut organik, dan adanya guncangan pada larutan. Telur yang telah disimpan lama mempunyai daya dan kestabilan yang lebih rendah dibandingkan dengan telur segar.

### 3.1.2 Jurnal Ilmiah Terpublikasi

Kajian literatur ini menggunakan 33 jurnal ilmiah terpublikasi. Jurnal ilmiah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Jurnal ilmiah terpublikasi yang digunakan pada kajian literatur

Sumber	Hasil
Caubet J C, Wang J. 2011. Current understanding of egg allergy. <i>Pediatr Clin N Am.</i> 58(2011): 427—443.	Reaksi alergi pada putih telur disebabkan karena adanya protein <i>ovomukoid</i> .
Martorell A, Alonso E, Bonè J, Echeverria L, Lopez M C, Martin F, Nevot S, Plaza A M, Food Allergy Committee of SEICAP. 2013. Position document: IgE-mediated allergy to egg protein. <i>Allergol Immunopathol.</i> 41(5): 320—336.	Reaksi alergi pada putih telur disebabkan karena adanya reaksi <i>igE</i> dan allergen. Protein <i>ovomukoid</i> dan <i>ovoalbumin</i> berpotensi menjadi allergen pada putih telur.
Likura et al.. 1999. Frequency of Immediate-Type Food Allergy in Children in Japan. <i>Int. Arch. Allergy Immunol.</i> 118(2-4):251-252.	Telur merupakan penyebab alergi makanan terbesar di Jepang dengan persentase sebesar 52,3%.
Kusum M, Verma R C, Renu M, Jain H K, Deepak S. 2018. A review: chemical composition and utilization of egg. <i>International Journal of Chemical Studies.</i> 6(3): 3086—3189.	Bagian putih telur mengandung protein sebesar 10,9 % dan tersusun dari beberapa protein meliputi <i>ovomucin</i> , <i>globulin</i> , <i>ovomukoid</i> , dan <i>ovoalbumin</i> .
Blasco L, Vinas M, Villa T. 2011. Protein influencing foam formation in wine and beer: the role of yeast. <i>International Microbiology.</i> 14(6): 61—71.	Struktur busa pada protein meliputi gelembung udara, cairan, dan lamella.
Alleoni A C C. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. <i>Sci Agric.</i> 63(3): 291—298.	Gugus hidrofobik protein yang terekspos pada permukaan menyebabkan penggabungan polipeptida sehingga terbentuk <i>film</i> kontinu yang kuat dan stabil untuk memerangkap busa.
Lomakina K, dan Mikova K. 2006. A study of the factors affecting the foaming properties of egg white- A review. <i>Czech Journal of Food Sciences.</i> 24(3): 110—118.	Penurunan stabilitas busa disebabkan karena adanya disproporsionasi, penggabungan gelembung udara, dan drainase.

Sumber	Hasil
Foegeding E A, Luck P J, Davis J P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. <i>Food Hydrocolloids</i> . 20(2006): 284—292.	Faktor yang memengaruhi <i>foaming ability</i> meliputi kemampuannya menurunkan tegangan permukaan, dan juga kemampuan adsorpsi protein sehingga dapat membentuk gelembung udara.
Arogundade L A, Tshay M, Shumey D, Manazie S. 2006. Effect of ionic strength and/or pH on extractability an physico-functional characterization of broad bean ( <i>Vicia faba</i> L.) protein concentrate. <i>Food Hydrocolloid</i> . 20(2016): 1124—1134.	Muatan protein yang difaktori dari pH lingkungan mendukung adanya interaksi elektrostatis protein dengan air.
Jiang L, Wang Z, Li Y, Meng X, Sui X, Qi B, dan Zhou L. 2015. Relationship between surface hydrophobicity and structure of soy protein isolate subjected to different ionic strength. <i>International Journal of Food Properties</i> . 18(5): 1059—1074.	Struktur protein yang berbentuk globular dengan gugus non-polar yang diselimuti oleh gugus polar.
Wang Z dan Narsimhan G. 2006. Model for plateau border drainage of power-law fluid with mobile interface and its application to foam drainage. <i>Journal of Colloid and Interface Science</i> . 300(2006): 327—337.	Pengaruh interaksi hidrofobik antar protein yang membentuk <i>film</i> yang bersifat viskoelastis dan mendukung terbentuknya gelembung udara yang stabil.
Li X, Li Y, Hau Y, Qiu A, Yang C, and Cui S. 2007. Effect of concentration, ionic strength and freeze-drying on heat-induced aggregation of soy proteins. <i>Food Chem</i> . 104. 1410—1417.	Suhu tinggi memengaruhi terjadinya denaturasi protein sehingga meningkatkan sifat hidrofobik permukaan.
Yang X, Berry T K, Foegeding E A. 2009. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 1. Physical, microstructural, and interfacial properties. <i>Food Engineering and Physical Properties</i> . 74(5): 259—268.	<i>Angel food cake</i> membutuhkan <i>whipping protein</i> dengan kemampuan pembentukan busa yang baik, dan bersifat stabil ketika pengolahan.
Wang Z dan Narsimhan G. 2006. Model for plateau border drainage of power-law fluid with mobile interface and its application to foam drainage. <i>Journal of Colloid and Interface Science</i> . 300(2006): 327—337.	Pengaruh interaksi hidrofobik antar protein yang membentuk <i>film</i> yang bersifat viskoelastis dan mendukung terbentuknya gelembung udara yang stabil.
Murray B S dan Ettelaie. 2004. Foam stability: proteins and nanoparticles. <i>Current opinion in colloid and interface science</i> . 9(2014): 314—320.	Pengaruh tingkat hidrofobisitas terhadap sifat busa. Tingkat hidrofobisitas yang cenderung membentuk lapisan <i>film</i> yang viskoelastis sehingga membentuk gelembung udara yang stabil.

Sumber	Hasil
Fitri E, Harun N, Johan V S. 2017. Konsentrasi gula dan sari buah terhadap kualitas sirup belimbing wuluh ( <i>Averrhoa bilimbi</i> L.). JOM Faperta UR. 4(1): 1—13.	Penambahan konsentrasi gula dapat menurunkan kandungan air pada produk pangan.
Li T, Wang C, Li T, Ma L, Sun D, Hou J, Jiang Z. 2018. Surface hydrophobicity and functional properties of citric acid cross-linked whey protein isolate: the impact of pH and concentration of citric acid. <i>Molecules</i> . 23: 1—12.	Pengaruh penambahan asam sitrat pada protein, yaitu meningkatkan sifat hidrofobik sehingga meningkatkan kestabilan busa pada protein.
Nahar M K, Zakaria Z, Hashim U, dan Bari M F. 2017. Effect of pH and salt concentration on protein solubility of slaughtered and non-slaughtered broiler chicken meat. <i>Sains Malaysiana</i> . 46(5): 719—724.	Penambahan garam dalam konsentrasi optimum menyebabkan meningkatnya kelarutan protein dalam air.
Herawati, H. 2018. Potensi hidrokoloid sebagai bahan tambahan pada produk pangan dan non pangan bermutu. <i>Jurnal Litbang Pertanian</i> . 37(1): 17-25	Hidrokoloid bereaksi dengan protein berupa interaksi non-kovalen sehingga meningkatkan daya ikat air.
Licciardello F, Frisullo P, Laverse J, Muratore G, Nobile M A D. 2012. Effect of sugar, citric acid, and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. <i>Journal of Food Engineering</i> . 108 (2012): 453—462.	Penambahan asam pada putih telur meningkatkan sifat busa.
Raikos V, Campbell L, Euston S R. 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. <i>Food Research International</i> . 40 (2007). 347—355.	Lama pengocokan memengaruhi sifat busa yang terbentuk. <i>Overbeating</i> dapat menurunkan stabilitas busa.
Wang Z, Zhang S, Vardhanabhuti B. 2015. Foaming properties of whey protein isolate and $\lambda$ -carragenan mixed system. <i>Journal of Food Science</i> . 80(8): 1893—1902.	Kompleks protein dengan polisakarida seperti xanthan gum yang diberi perlakuan pemanasan akan membentuk larutan yang lebih stabil.
Lau C K, Dickinson E. 2005. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. <i>Food Hydrocolloids</i> . 19(1): 111—121.	Penambahan sukrosa menyebabkan meningkatnya viskositas larutan sehingga meningkatkan stabilitas busa.

Sumber	Hasil
Srichamroen A. 2007. Influence of temperature and salt on viscosity property of gum guar. <i>Naresuan Journal</i> . 15(2): 55—62.	Perbedaan sifat antara gum guar dan gum xanthan ketika berinteraksi dengan air dan pH tertentu. Gum xanthan bersifat lebih stabil terhadap pH dan suhu.
Van Der Sman R G M dan Renzetti S. 2020. Review: understanding functionality of sucrose in cake reformulation process. <i>Critical Reviews in Food Science and Nutrition</i> .	Agregasi protein pada proses <i>baking</i> memengaruhi struktur <i>cake</i> , semakin banyak protein yang teragregasi semakin terbentuk struktur yang kokoh.
Wilderjans E, Pareyt B, Goesaert H, Brijs K, dan Delcour J A. 2008. The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. <i>Food Chemistry</i>	Viskositas tinggi pada adonan <i>cake</i> menyebabkan terbentuknya struktur yang lebih kokoh.
Godefroidt T, Ooms N, Pareyt B, Brijs K, Delcour J A. 2019. Ingredient functionality during foam-type cake making: a review. <i>Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety</i> . 0(2019): 1—13.	Terjadi retrogradasi pati pada tahap <i>cooling and storage</i> pembuatan <i>cake</i> yang menyebabkan terjadinya pepadatan.
Wilderjans E, Luyts A, Goesaert H, Brijs K, Delcour J A. 2010. A model approach to starch and protein functionality in a pound cake system. <i>Food Chemistry</i> . 20(2010): 44—51	Terdapat proses pelepasan gas akibat suhu tinggi akibat suhu tinggi pada proses <i>baking</i> .
Munzing K, Brack G. 1991. DSC-studies of flour confectionery. <i>Thermochim Acta</i> . 187:167–173.	Penambahan sukrosa memperlambat terjadinya gelatinisasi pati dan mendukung protein untuk mengembang dengan baik sebelum terjadi pepadatan struktur <i>cake</i> .
Berry T K, Yang X, Foegeding E A. 2009. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 2. Changes associated with angel food cake functionality. <i>Food Engineering and Physical Properties</i> . 74(5): 269—277	<i>Cake</i> dengan isolat protein <i>whey</i> mempunyai pori-pori yang besar karena terjadi destabilisasi pada saat <i>baking</i> .
Pernell C W, Luck P J, Foegeding E A, Daubert C R. 2002. Heat-induced changes in angel food cakes containing egg-white protein or whey protein isolate. <i>Food Chemistry and Toxicology</i> . 67(8): 1945—1951	Peningkatan viskositas dari adonan <i>cake</i> yang disebabkan penambahan gum xanthan menyebabkan volume produk hasil yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemanasan

Sumber	Hasil
Yang X, Foegeding A. 2010. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factor determining properties of wet and dry foams (cakes). <i>Food Hydrocolloids</i> . 24(2010): 227—238	Penggunaan gula meningkatkan pengembangan produk, namun dengan konsentrasi terlalu tinggi menyebabkan kerusakan struktur cake.
Abu-Ghoush M, Herald T J, Aramouni F M. 2010. Comparative study of egg white protein and egg alternatives used in an angel food cake system. <i>Journal of Food Processing and Preservation</i> . 34(2010): 411—425	Perbedaan sifat busa dan penurunan mutu <i>angel food cake</i> pada parameter volume dan struktur pada penggunaan protein alternatif

### 3.1.3 Buku Elektronik

Kajian literatur ini menggunakan 10 buku elektronik terbitan nasional maupun internasional. Buku-buku yang digunakan mempunyai nomor ISBN sebagai bukti legalitas. Buku elektronik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Buku elektronik yang digunakan pada kajian literatur

Sumber	ISBN	Hasil
Belitz H D, Grosch W, Schieberle P. 2009. <i>Food Chemistry: 4<sup>th</sup> Revised and Extended Ed.</i> New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg	978-3-540-69933-0	Pembentukan busa pada protein didasari oleh terjadinya adsorpsi protein dan diikuti oleh denaturasi permukaan sehingga membentuk <i>interface</i> baru.
Zayas J F. 1997. <i>Functionality of Protein in Food.</i> New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg	978-3-642-63856-5	Tiga tahapan pembentukan busa pada protein.
Langel U, Cravat B, Graslund A, Heijne G, Land T, Niessen, S, dan Zorko M. 2011. <i>Introduction to peptide and proteins.</i> Florida (USA): CRC Press.	978-1420064124	Muatan elektrik protein dalam suatu larutan dipengaruhi oleh pH lingkungannya.
Ghosh A K dan Bandyopadhyay P. 2012. <i>Polysaccharide-protein interaction and their relevance in food colloids dalam The Complex World of Polysaccharides.</i> Diedit oleh Karunaratne D N. Rijeka (HR): InTech.	978-953-51-4266-9	Ikatan non-kovalen hidrokoloid dan protein dapat meningkatkan kemampuan daya ikat air.

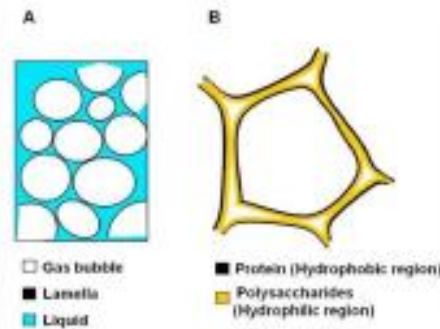
Sumber	ISBN	Hasil
Stadelman W J dan Cotteril O J. 1996. Egg Science and Technology. 4 <sup>th</sup> Ed. Food Product Press. An Imprint of The Hawort Press, Inc. New York	1-56022-855-5	Kapasitas pembentukan busa didefinisikan sebagai ukuran kemampuan protein untuk memerangkap udara dan membentuk busa saat dilakukan pengocokan.
Winarno F G. 1992. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Utama	9796860171	Gelatinisasi terjadi pada rentang suhu antara 55 °C hingga 65 °C.
Bennion M, Scheule B. 2004. Chapter 18. Cakes and cookies. In: Introductory Foods. Englewood Cliffs, NJ: Pearson, Prentice Hall.	9780132739276	<i>Cream of tartar</i> dapat menstabilkan busa sehingga menghasilkan <i>cake</i> dengan strktur yang tidak kasar.
Gisslen W. 2013. Professional Baking. Canada: John Wiley & Sons	978-1-118-08374-1	Tahap pembuatan <i>angel food cake</i> .
Lai H dan Lin T. 2006. Bakery Products dalam Handbook of Food Science, Technology, and Engineering Volume 4. Diedit oleh Hui Y H. USA: CRC Press	978-0-470-04964-8	Pembagian jenis <i>cake</i> , pembuatan <i>angel food cake</i> meliputi jenis loyang tipe <i>tube pan</i> , dan proses keluarnya uap air pada <i>cake</i> ketika proses <i>baking</i> .
Yang X. 2014. Optimizing textural properties of soft solid foods: replacing eggs dalam Food Texture Design and Optimization. Diedit oleh Light J M. Oxford (UK): IFT Press	978-0-470-67242-6	Pengembangan dan hasil <i>angel food cake</i> dengan protein alternatif

## 3.2 Pembentukan Busa pada Whipping Protein

### 3.2.1 Mekanisme Pembentukan Busa dari Whipping Protein

Salah satu sifat fungsional protein yang sangat penting pada sistem produk pangan adalah sifat pembentukan busa. Pengocokan putih telur membentuk busa yang memerangkap udara, karenanya bisa digunakan sebagai pengembang (leavening agent) pada beberapa produk pangan (Belitz 20090). Busa merupakan dispersi koloid dari fase gas yang terdispersi di dalam fase cair atau fase padat. Busa berbasis protein terbentuk dari gelembung udara, tersusun dari lapisan tipis dan kontinyu dari molekul protein yang menyelimuti udara dan tiap gelembung udaranya dipisahkan oleh lamella (Alleoni 2006). Struktur busa dapat dilihat pada Gambar 1.



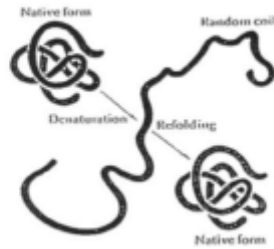


Gambar 1 (A) Struktur busa, (B) Struktur gelembung udara yang terbentuk dari protein dan membentuk busa (Blasco et al 2011)

Belitz (1999) menyatakan bahwa karena peningkatan luas area pada antar fase udara/cairan, protein mengalami denaturasi dan agregasi selama pengocokan. Terutama ovomisin membentuk lapisan tipis dari bahan yang tidak larut di antara lamella cair dan gelembung udara, karenanya busa menjadi stabil. Globulin telur berkontribusi dengan meningkatkan viskositas dan menurunkan tegangan permukaan pada tahap awal pengocokan.

Zayas (1997) melaporkan, pembentukan busa pada protein dalam proses whipping terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama, globula protein yang terlarut terdifusi pada lapisan pembatas (interface) udara-air, terkonsentrasi dan menurunkan tegangan permukaan (Foegeding et al. 2006). Kemudian, struktur protein menjadi terbuka pada lapisan pembatas (interface) sehingga terorientasi bagian hidrofilik pada bagian polar dan hidrofobik pada bagian nonpolar. Polipeptida mengalami interaksi berupa denaturasi dan koagulasi parsial. Protein membentuk lapisan film yang stabil dan bersifat kontinyu di sekeliling gelembung udara pada busa. Lapisan tersebut dapat memerangkap udara yang masuk ketika proses pengocokan dan mempertahankan udara di dalam busa sehingga busa menjadi stabil. Sedangkan menurut Alleoni (2006) tereksposnya gugus hidrofobik pada lapisan pembatas udara dan larutan mendukung penggabungan polipeptida melalui interaksi non-kovalen sehingga meningkatkan viskositas dan sifat elastis dari fase cair serta membentuk lapisan film kontinyu yang kuat dan stabil.

Adanya perubahan struktur protein dikenal sebagai denaturasi protein, yaitu merupakan terjadinya perubahan struktur molekul protein tanpa memutuskan ikatan kovalen sehingga struktur protein menjadi terbuka dan rantai polipeptida menjadi sejajar dengan lapisan pembatas. Tingkat denaturasi protein dapat meningkat karena adanya suhu tinggi, nilai pH yang ekstrim (terlalu asam atau terlalu basa), penggunaan beberapa pelarut tertentu seperti pelarut organik, atau karena adanya 15 gaya guncangan larutan protein (Sa'adah 2007). Perubahan struktur protein ketika terjadi denaturasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Perubahan struktur protein ketika terjadi denaturasi

### 3.2.2. Karakteristik Busa pada Whipping Protein

Sifat busa pada protein yang paling penting adalah kapasitas pembentukan busa dan stabilitas busa. Menurut Stadelman dan Cotteril (1995), kapasitas pembentukan busa didefinisikan sebagai ukuran kemampuan protein untuk memerangkap udara dan membentuk busa saat dilakukan pengocokan. Kapasitas pembentukan busa ditentukan dengan mengukur volume busa secara langsung setelah pengocokan, dan dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap volume cairan protein sebelum dilakukan pengocokan (overrun). Stabilitas busa merupakan ukuran kemampuan struktur busa dari protein untuk tetap kokoh atau tidak mencair dalam rentang waktu tertentu. Kestabilan busa protein dapat ditentukan dari indikator banyaknya tirsan busa yang ada setelah beberapa waktu tertentu dan dinyatakan dalam volume atau derajat pencairan busa. Penurunan stabilitas busa terjadi karena adanya disproporsionasi, penggabungan gelembung udara, dan drainase. Disproporsionasi merupakan berkurangnya ukuran gelembung udara akibat difusi gas antar gelembung udara pada busa. Drainase terjadi karena mengalirnya air di sekitar gelembung dan menyebabkan penipisan lapisan tipis yang menahan gelembung udara (Lomakina dan Mikova 2018)

### 3.2.3. Faktor Pembentukan Busa pada Whipping Protein

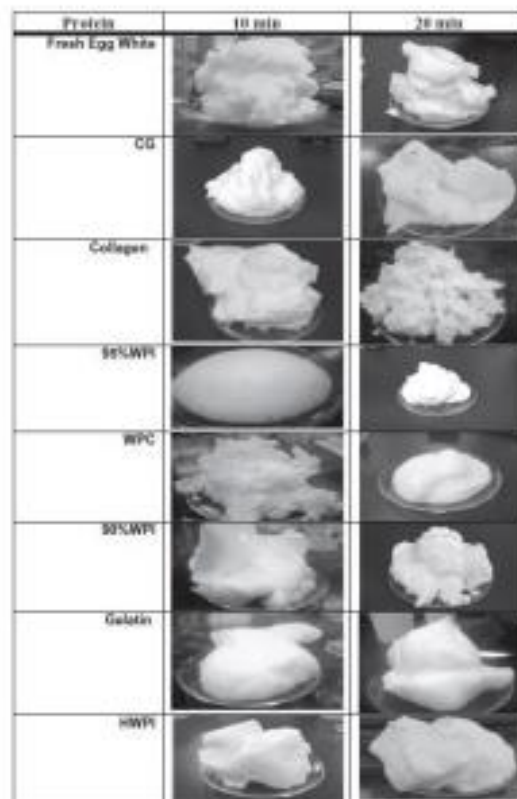
Beberapa faktor dapat memengaruhi kemampuan protein dalam pembentukan busa, yaitu faktor intrinsik dari protein tersebut yang meliputi struktur protein, ukuran molekul, sifat hidrofobik, dan interaksi elektrostatis pada protein. Pembentukan busa pada protein juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan ketika proses pengolahan yang meliputi pH, suhu, konsentrasi protein dalam larutan, dan waktu pengocokan. Menurut Alleoni (2006), sifat pembentukan busa pada protein didasari oleh kemampuannya membentuk film kontinyu yang kohesif, elastis, dan fleksibel untuk memerangkap udara yang masuk dan mempertahankan udara di dalam busa.

Zayas et al. (1997) melaporkan bahwa protein sebagai whipping agent harus dalam keadaan larut pada fase cair dan terkonsentrasi pada lapisan pembatas fase cair dan udara. Protein yang terkonsentrasi dengan baik dapat berinteraksi dan membentuk lapisan film sehingga membentuk gelembung udara yang stabil. Kelarutan protein pada fase cair dipengaruhi oleh komposisi asam amino penyusun, bobot molekul, dan konformasi protein. Protein dengan ukuran dan berat molekul yang kecil mempermudah dan mempercepat proses difusi molekul protein sehingga mempunyai sifat kelarutan yang baik (Belitz et al. 1997). Komposisi asam amino penyusun protein dengan sifat ionisasi yang berbeda menyebabkan adanya muatan elektrik pada protein. Muatan elektrik protein dalam suatu larutan dipengaruhi oleh pH lingkungannya. Protein dalam larutan dengan nilai pH di bawah titik isoelektrik mempunyai nilai muatan positif karena adanya protonasi dari asam amino asam,

sedangkan protein dalam larutan dengan nilai pH di atas titik isoelektrik akan bermuatan negatif karena adanya deprotonasi dari asam amino basa (Langel et al. 2011). Muatan protein yang dipengaruhi pH lingkungan menyebabkan gaya tolakan antar molekul protein menjadi tinggi dan mendukung adanya interaksi elektrostatis protein dengan air (Arogundade et al. 2006). Tingginya interaksi elektrostatis protein dengan air memudahkan terjadinya kelarutan dan difusi protein pada lapisan pembatas air-udara. Protein dalam larutan dengan nilai pH yang berada di titik isoelektrik tidak mempunyai muatan ionik, karena mempunyai muatan negatif dan muatan positif yang seimbang. Hal tersebut menyebabkan terjadinya interaksi antar protein sehingga terjadi presipitasi protein. Penambahan garam pada larutan protein dengan jumlah optimum dapat meningkatkan interaksi elektrostatis sehingga terjadi peningkatan interaksi protein dengan air (Zayas et al. 1997). Nahar et al. (2017) menyatakan bahwa penambahan garam dalam konsentrasi optimum pada larutan protein menyebabkan molekul-molekul protein terlindungi oleh ion-ion bermuatan dari garam dan mencegah interaksi antar protein sehingga protein larut dalam air. Fenomena larutnya protein dalam air akibat penambahan garam dalam jumlah optimum dikenal sebagai fenomena *salting in*. Penambahan garam dengan konsentrasi yang terlalu tinggi justru menyebabkan penurunan kelarutan dari protein, yang biasa dikenal dengan fenomena *salting out*. *Salting out* disebabkan karena adanya kompetisi antara muatan ion dari garam dan protein untuk bereaksi dengan molekul air sehingga terjadi penurunan interaksi protein dengan air. Konformasi protein berpengaruh pada kemampuan protein untuk larut dalam pelarut air. Protein dengan struktur tersier terbentuk dari ikatan hidrogen antar asam amino, interaksi hidrofobik, interaksi elektrostatis, dan ikatan sulfida. Salah satu jenis struktur tersier pada protein adalah struktur globular yang berbentuk bola, dengan gugus non-polar yang terselubungi oleh gugus polar (Jiang et al 2015). Gugus polar yang terekspos pada permukaan protein globular menyebabkan mudahnya protein untuk larut dalam air.

Protein dengan struktur tersier dapat terdenaturasi pada proses adsorpsi, sehingga dapat membuka struktur tersier protein berubah menjadi struktur primer atau sekunder. Terjadinya perubahan struktur tersebut menyebabkan gugus hidrofobik di dalam rangkaian protein menjadi terbuka dan meningkatkan interaksi hidrofobik antar protein pada permukaan. Interaksi hidrofobik antar protein tersebut menyebabkan agregasi dan presipitasi protein sehingga viskositas film meningkat. Film yang bersifat viskoelastis mendukung terbentuknya gelembung udara yang stabil (Wang dan Narsimhan 2006). Tingkat hidrofobisitas yang tepat mempunyai kecenderungan yang kuat untuk membentuk lapisan film yang viskoelastis dari partikel yang terkoagulasi (Murray dan Ettelaie 2004). Tingkat denaturasi protein dapat ditingkatkan dengan perlakuan suhu tinggi. Li et al. (2007) menyatakan suhu tinggi menyebabkan denaturasi dan terjadi perubahan konformasi pada protein sehingga struktur protein menjadi lebih fleksibel dan meningkatkan sifat hidrofobik permukaan. Selain meningkatnya ikatan hidrofobik, konsentrasi protein dalam larutan serta penambahan bahan lain sebagai pendukung dapat meningkatkan viskositas. Seiring dengan kenaikan konsentrasi protein, terjadi peningkatan viskositas dari fase cair dan terjadi penambahan ketebalan pada lapisan film yang terbentuk. Bahan pendukung yang dapat digunakan untuk meningkatkan viskositas film adalah sukrosa dan hidrokoloid. Lau dan Dickinson (2005) menyatakan, penambahan sukrosa menyebabkan peningkatan viskositas pada fase cair sehingga meningkatkan stabilitas busa. Hal tersebut disebabkan karena adanya sifat hidrofobik yang disebabkan adanya gugus hidroksil dalam struktur molekul sukrosa yang berikatan dengan molekul air melalui ikatan hydrogen. Keadaan tersebut

menyebabkan berkurangnya air yang terdapat di dalam bahan pangan (Fitri et al 2017). Tingkat penambahan sukrosa yang diperlukan untuk meningkatkan sifat pembentukan busa adalah 50 gram sukrosa per 100 gram air, karena penambahan sukrosa yang terlalu berlebihan menyebabkan viskositas menjadi terlalu tinggi sehingga membatasi udara yang terdifusi dan menghambat penggabungan gelembung udara ke dalam larutan (Zayas et al. 1997) Pengaruh penambahan hidrokoloid terhadap viskositas larutan dan stabilitas busa difaktori oleh interaksinya dengan protein berupa ikatan non-kovalen seperti interaksi elektrostatis, ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan ikatan sterik yang meningkatkan kemampuannya untuk meningkatkan daya ikat air (Ghosh dan Bandyopadhyay 2012, Herawati 2008). Hidrokoloid yang biasa digunakan adalah gum guar dan gum xanthan. Gum guar merupakan jenis hidrokoloid bermuatan netral dan sering digunakan sebagai bahan pengisi dan meningkatkan viskositas. Ketika gum guar terlarut dalam air, cabang unit galaktosa sebagai rantai utama dari molekul gum guar berinteraksi dengan molekul air, sehingga terjadi keterikatan rantai antar molekul dalam larutan sehingga viskositasnya meningkat. Sedangkan gum xanthan mempunyai muatan negatif (anionik) dan dapat meningkatkan viskositas dengan penambahan konsentrasi rendah. Gum xanthan membentuk larutan pseudoplastik yang stabil terhadap pH dan suhu apabila dibandingkan dengan hidrokoloid lainnya. Sifat pseudoplastik menyebabkan gum xanthan cocok digunakan sebagai penstabil larutan, emulsi, dan juga agen pembentuk busa (foaming agent) (Srichamroen 2007). Waktu pengocokan yang tepat memengaruhi pembentukan busa pada protein.



Gambar 3. Busa dari berbagai bahan setelah pengocokan 10 menit dan 20 menit (Abu Ghous et al. 2010)

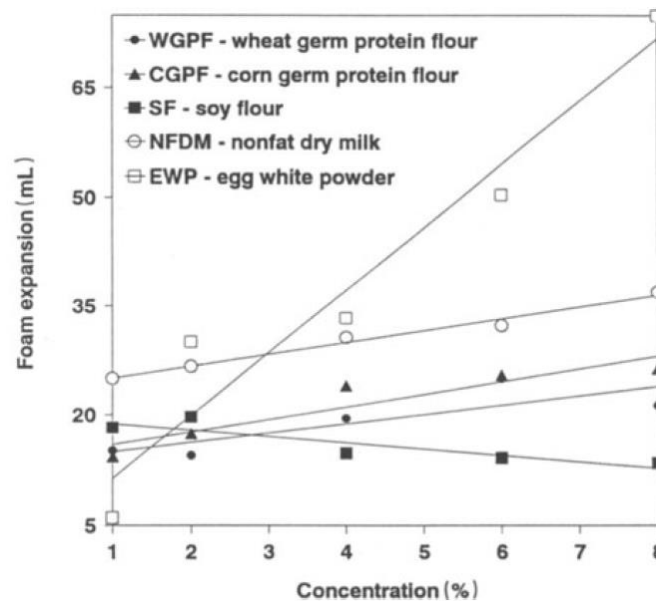


Gambar 4. Busa dari protein putih telur (A) dan beberapa protein alternatif yaitu kasein (B), isolat protein whey (C), konsentrat protein whey (D), dan isolat protein whey 90% (E) (Abu Ghous et al. 2010)

Gambar 3. dan Gambar 4. menunjukkan hasil percobaan Abu-Ghoush et al (2010) menggunakan putih telur segar, cryogell gelatin (CG), collagen, isolat protein whey 95%, konsentrat protein whey, isolat protein whey 90%, gelatin, dan isolat protein whey terhidrolisis yang membuktikan bahwa proses pengocokan larutan protein dengan waktu 10 menit dan 20 menit menghasilkan sifat fisik busa (bentuk, volume, keteguhan) yang berbeda. Sumber atau jenis protein yang berbeda memiliki sifat intrinsic yang berbeda, sehingga menghasilkan karakteristik busa yang berbeda. Gelatin dan isolate whey terhidrolisis dapat menghasilkan busa dengan kapasitas dan keteguhan yang mirip dengan busa dari putih telur. Pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas pembentukan protein tergantung jenis atau sumber protein seperti dapat dilihat pada Gambar5. Berdasarkan Bolnedi dan Zayas (1993) dalam Zayas *et al* (1997), *foam stability* pada beberapa jenis protein seperti *wheat germ protein flour* (WGPF), *corn germ protein flour* (CGPF), *soy flour* (SF), *non fat dairy milk* (NFDM), dan *egg white protein* (EWP) dengan berbagai variasi konsentrasi pada larutan protein cenderung meningkat. Sebagian besar protein mempunyai pengembangan busa yang meningkat pada tiap kenaikan konsentrasi dan mencapai pengembangan paling tinggi dengan konsentrasi 8%.

Protein putih telur mengalami penurunan kapasitas pembentukan busa dan stabilitas busa setelah dilakukan pengocokan selama 20 menit, sedangkan protein whey dalam bentuk isolat dan konsentrat mengalami peningkatan kapasitas pembentukan busa dan stabilitas busa setelah dilakukan pengocokan selama 20 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa masing-masing protein mempunyai waktu pengocokan yang berbeda untuk menghasilkan sifat busa yang optimum. Proses pengocokan dengan waktu yang terlalu lama atau *overbeating* menyebabkan menurunnya kapasitas pembentukan busa yang ditunjukkan dengan menurunnya gelembung udara yang terbentuk selama proses whipping. Hal tersebut disebabkan karena terjadinya koagulasi protein globular yang berlebihan pada lapisan pembatas udara-air, sehingga menurunkan kelarutan protein serta menurunkan kemampuan protein dalam mengikat air. *Overbeating* juga menyebabkan menurunnya stabilitas busa, karena menyebabkan menipisnya lapisan pembatas, terjadinya deformasi secara mekanis, dan pecahnya dinding dari gelembung udara (Raikos et al. 2007).

Gambar 5. Menunjukkan bahwa konsentrasi bahan protein berpengaruh pada kapasitas pembentukan busa, dimana menurut Belitz et al (1997), konsentrasi protein optimum dalam pembentukan busa adalah sebesar 2—8 % dengan viskositas dari fase cair dan ketebalan dari lapisan adsorpsi yang optimum sehingga membentuk overrun yang tinggi. Berdasarkan Bolnedi dan Zayas (1993) dalam Zayas (1997), terdapat peningkatan foam expansion pada beberapa jenis protein seperti *wheat germ protein flour* (WGPF), *corn germ protein flour* (CGPF), *soy flour* (SF), *non fat dairy milk* (NFDM), dan *egg white protein* (EWP) dengan berbagai variasi konsentrasi pada larutan protein sebesar 1—8%. Sebagian besar protein mempunyai pengembangan busa yang meningkat pada tiap kenaikan konsentrasi dan mencapai pengembangan paling tinggi dengan konsentrasi 8%.



Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi protein dan jenis protein terhadap pengembangan busa (Zayas 1993)

### 3.3. Potensi Aplikasi Whipping Protein pada Angel Food Cake

#### 3.3.1. Klasifikasi Cake

Produk bakeri merupakan produk pangan yang menggunakan tepung sebagai bahan utama, dan melibatkan proses pemanggangan dalam pembuatannya. Menurut Syarbini (2014), produk bakeri digolongkan menjadi empat golongan, yaitu roti, cake, pastry, dan biskuit. Cake merupakan produk bakeri yang menggunakan tepung, gula, lemak, dan telur. Tepung dan telur pada pembuatan cake berperan sebagai pembentuk struktur cake. Menurut Lai dan Lin (2006), berdasarkan jenis adonannya, cake terdiri dari beberapa jenis, yaitu batter type cake, foam type cake, dan chiffon cake. Butter type cake merupakan jenis cake yang menggunakan lemak dalam komposisi besar dan menggunakan pengembang berupa baking powder pada proses pengolahannya. Batter type cake memiliki karakteristik berupa tekstur yang lebih padat dan lembab dari jenis cake yang lainnya. Contoh cake dengan jenis adonan ini adalah pound cake dan butter cake. Pound cake merupakan jenis cake yang dibuat dengan bahan telur dan terigu dengan jumlah sama. Foam type cake merupakan jenis cake yang menggunakan lemak dalam jumlah sedikit, atau tidak menggunakan lemak sama sekali. Foam type cake menggunakan putih telur sebagai whipping protein untuk bahan pengembang utama. Contoh cake dengan adonan foam type adalah sponge cake dan angel food cake. Chiffon cake merupakan jenis cake yang menggunakan lemak dalam bentuk cair (minyak) dengan komposisi yang sedikit. Pembuatan cake jenis ini menggunakan putih telur sebagai agen pembentuk busa untuk bahan pengembang utama seperti foam type cake. Pengolahan chiffon cake menggunakan putih telur yang dikocok hingga mengembang, kemudian dicampurkan dengan kuning telur, tepung, dan minyak yang sudah diaduk rata. Prinsip pembuatan produk angel food cake adalah menggunakan

putih telur sebagai protein yang dikocok hingga mengembang dan kaku, kemudian dicampurkan dengan bahan lainnya seperti tepung dan gula tanpa dilakukan penambahan lemak. Menurut Gisslen (2013), cake dapat dibedakan berdasarkan metode mixing yang digunakan. Cake dengan jenis high-fat atau shortened cake, menggunakan beberapa metode mixing meliputi creaming method, two-stage method, one-stage method, dan flour-batter method, sedangkan low-fat atau foam-type cake menggunakan beberapa metode mixing yaitu sponge method, angel food method, dan chiffon method. Mixing dilakukan dengan tujuan untuk menggabungkan semua bahan menjadi emulsi adonan yang lembut, untuk membentuk dan menggabungkan sel udara dalam adonan, dan untuk membentuk tekstur pada produk akhir. Tahap mixing pada berbagai metode dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Jenis *cake* berdasarkan metode *mixing* yang digunakan

Jenis cake	Metode <i>mixing</i>	Contoh produk	Tahapan <i>mixing</i>	Sumber
<i>High-fat cake (Shortened cake)</i>	<i>Creaming method</i>	<i>Muffin</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencampurkan gula, <i>shortening</i>, garam, susu bubuk, dan perisa yang telah ditimbang</li> <li>2. Mengocok bahan hingga pucat dan mengembang</li> <li>3. Menambahkan telur dan mengocok adonan hingga rata</li> <li>4. Menambahkan bahan cair (susu dan air) dan bahan kering (tepung)</li> <li>5. Mengaduk hingga memperoleh adonan yang rata</li> </ol>	Gisslen (2013)
	<i>Two-stage method</i>	<i>Butter cake (high fat)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencampurkan bahan A (bahan kering dengan lemak dan sebagian susu) yang telah ditimbang, kemudian mengocok dengan kecepatan rendah</li> <li>2. Mencampurkan bahan B (sisa susu dengan telur) dan mengocok hingga rata</li> <li>3. Mencampurkan bahan A dan bahan B, kemudian mengaduk hingga adonan menjadi rata</li> </ol>	Gisslen (2013),
	<i>One-stage method</i>	<i>Butter cake</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencampurkan bahan cair pada mangkuk pengocok</li> <li>2. Mencampurkan bahan kering yang telah ditimbang dan diayak dengan bahan cair</li> <li>3. Mengocok adonan hingga terbentuk adonan yang rata</li> </ol>	Gisslen (2013), Godefroidt <i>et al</i> (2019)
	<i>Flour-batter method</i>	<i>Pound cake</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencampurkan bahan kering yang sudah ditimbang dan diayak pada mangkuk pengocok</li> <li>2. Mengocok gula dan telur hingga pucat dan kental</li> <li>3. Mencampurkan campuran bahan kering dan kocokan telur dengan gula, kemudian dicampur hingga adonan rata</li> </ol>	Gisslen (2013)



Jenis cake	Metode mixing	Contoh produk	Tahapan mixing	Sumber
<i>Low-fat cake (Foam-type cake)</i>	<i>Single-stage method</i>	<i>Sponge cake</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mencampurkan telur, gula, garam pada mangkuk pengocok, kemudian mengocok hingga kental dan pucat</li> <li>2. Menambahkan bahan cair pada adonan</li> <li>3. Menambahkan bahan kering (tepung, <i>baking powder</i>) yang telah ditimbang dan diayak</li> <li>4. Mencampurkan bahan hingga adonan menjadi rata</li> </ol>	Gisslen (2013), Rodriguez-Garcia <i>et al.</i> (2014), Godefroidt <i>et al.</i> (2019)
	<i>Multi-stage method</i>	<i>Chiffon cake</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengocok putih telur dan menambahkan garam dan <i>cream of tartar</i></li> <li>2. Menambahkan gula halus secara bertahap sambil terus dikocok hingga membentuk busa yang ringan dan kaku (adonan A)</li> <li>3. Mencampurkan kuning telur dengan gula (adonan B)</li> <li>4. Mencampurkan adonan A dan adonan B, kemudian mencampurkan bahan kering (tepung, bahan pengembang) dengan metode aduk melipat</li> </ol>	Gisslen (2013), Rodriguez-Garcia <i>et al.</i> (2014), Godefroidt <i>et al.</i> (2019)
	<i>Angel food method</i>	<i>Angel food cake</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengocok putih telur dan menambahkan garam dan <i>cream of tartar</i></li> <li>2. Menambahkan gula halus secara bertahap sambil terus dikocok hingga membentuk busa yang ringan dan kaku</li> <li>3. Pencampuran busa putih telur dengan bahan kering (tepung terigu dan gula) menggunakan metode aduk melipat</li> <li>4. Pengadukan dengan metode melipat hingga terbentuk adonan yang rata</li> </ol>	Gisslen (2013), Rodriguez-Garcia <i>et al.</i> (2014)

### 3.3.2. Pembuatan Angel Food Cake

Prinsip pembuatan angel food cake adalah dengan menggunakan putih telur yang dikocok hingga mengembang dan kaku, dan tanpa disertai penambahan lemak. Proses pembuatan angel food cake terbagi dalam beberapa tahapan, yaitu mixing, baking, dan cooling and storage. Tahapan mixing pada angel food cake dilakukan dengan angel food method seperti yang digambarkan pada Gambar 5 yang dikutip dari Gisslen (2013). Proses mixing bertujuan untuk menggabungkan semua bahan menjadi adonan yang halus dan seragam, untuk membentuk adonan yang merata, dan menghasilkan tekstur yang baik pada produk hasil. Tujuan lain dari tahapan mixing adalah untuk memerangkap udara pada adonan cake yang berperan pada tekstur dan pengembangan cake (Lai dan Lin 2006)



Gambar 6. Tahapan pembuatan *angel food cake*

Tahap mixing pada pembuatan angel food cake diawali dengan pengocokan putih telur menggunakan mesin pengaduk yang disertai penambahan garam dan cream of tartar hingga membentuk busa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6A. Proses pengocokan pada putih telur menyebabkan masuknya gelembung udara ke dalam larutan protein, dan terperangkap pada lapisan pembatas yang terbentuk karena adanya adsorpsi protein sehingga membentuk gelembung udara dan menjadi busa. Penambahan garam dalam jumlah optimum meningkatkan laju proses adsorpsi protein pada lapisan pembatas karena adanya muatan protein pada ikatan ionik yang bermuatan tinggi sehingga meningkatkan interaksi berupa reaksi elektrostatis antar protein dan meningkatkan daya kelarutan protein (Zayas et al 1997). Cream of tartar atau kalium bitartrat merupakan garam asam kalium dari asam tartarat. Penambahan cream of tartar yang bersifat asam dapat menstabilkan busa sehingga strukturnya tidak rusak ketika proses baking sebelum terjadi koagulasi protein dan menghasilkan cake dengan struktur yang seragam dan tidak kasar (Bennion dan Scheule 2004). Hasil penelitian yang dilakukan Licciardello (2012) menunjukkan asam yang ditambahkan pada putih telur akan meningkatkan sifat busa yang terbentuk karena menurunkan nilai pH sehingga mendekati titik isoelektrik, yaitu pada pH 4,5 (Alleoni 2006). Selanjutnya, dilakukan penambahan gula yang ditunjukkan pada Gambar 6B. Penambahan gula secara bertahap berperan dalam meningkatkan viskositas dari cairan protein putih telur sehingga stabilitas busa meningkat meskipun menyebabkan menurunnya kapasitas pembentukan busa. Hal ini disebabkan karena penambahan gula menyebabkan peningkatan viskositas pada fase terdispersi (fase cair) sehingga membatasi banyaknya udara yang masuk ke dalam sistem (Lau dan Dickinson 2005).

Penambahan gula secara bertahap dilakukan agar gula terlarut dengan baik dalam cairan putih telur sehingga meningkatkan viskositas, dibandingkan dengan penambahan secara sekaligus dalam jumlah banyak akan menyebabkan busa yang terbentuk menjadi tidak stabil. Pengocokan dilakukan hingga terbentuk busa yang ringan dan kaku seperti pada Gambar 6C.

Busa putih telur yang terbentuk melalui proses pengocokan kemudian dilanjutkan dengan penambahan tepung terigu ke dalam adonan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6D. Penambahan tepung terigu dilakukan secara perlahan-lahan disertai adukan dengan metode melipat sehingga tidak merusak gelembung udara yang terbentuk pada adonan. Pada pembuatan angel food cake, tepung terigu berperan sebagai pembentuk struktur karena terdapat pati yang akan mengalami gelatinisasi. Adonan angel food cake dituangkan ke dalam loyang dengan tipe tube pan seperti pada Gambar 7E. Tube pan merupakan loyang berbentuk tabung. Loyang jenis ini mempunyai sisi bawah yang dapat dilepas sehingga memudahkan dalam mengeluarkan cake setelah mendingin dan menghindari terjadinya kerusakan pada struktur cake pada saat dikeluarkan. Loyang ini biasa digunakan untuk memanggang cake dengan tekstur ringan seperti angel food cake karena mempunyai daya distribusi panas yang efisien untuk pengembangan adonan angel food cake. Tube pan untuk pembuatan angel food cake tidak dilapisi dengan lemak, agar adonan bisa menempel dengan baik pada loyang sehingga tidak terjadi kerusakan struktur pada cake (Lai dan Lin 2006). Tahap baking dilakukan dengan suhu optimal. Berdasarkan Gisslen (2011), Suhu optimal yang biasa digunakan dalam pemanggangan angel food cake adalah 175—180 °C dalam waktu 30—50 menit. Suhu pemanggangan yang terlalu tinggi menyebabkan pembentukan crust yang terlalu cepat ketika bagian dalam cake belum mencapai tingkat kematangan yang baik. Pada tahap baking awal, terjadi kenaikan temperatur yang menyebabkan terjadi pengembangan ukuran gelembung udara karena adanya pemuai udara, penguapan air, penurunan dari kelarutan udara pada fase cair, dan pembentukan CO<sub>2</sub> dari bahan pengembang. Penambahan volume pada produk angel food cake sangat dipengaruhi oleh pembentukan gelembung gas pada whipping protein dalam adonan angel food cake yang ditambahkan pada proses mixing dan produksi uap pada proses baking, sehingga adonan cake harus bersifat viscous untuk dapat menahan udara dalam gelembung gas pada suhu tinggi. Kemudian, pada proses baking akhir, terjadi pengerasan pada matriks cake sebagai hasil dari proses gelatinisasi. Suhu tinggi pada proses baking menyebabkan terjadinya gelatinisasi pati dan agregasi protein. Gelatinisasi pati dan koagulasi protein dalam proses baking memengaruhi struktur produk angel food cake dengan meningkatkan viskositas dari adonan cake. Menurut Wilderjans et al (2010), kenaikan viskositas tersebut dapat menyebabkan struktur kokoh cake karena terbentuknya matriks sel pada cake. Granula pati mengalami perubahan pada saat proses baking. Gelatinisasi pati menyebabkan granula pati mengalami pembengkakan dan saling menyinggung satu sama lain sehingga membentuk kerangka, serta mengikat air yang berlebihan pada 24 adonan. Suhu tinggi pada proses baking menyebabkan perubahan dari adonan basah menjadi cake dengan struktur yang berongga dan kokoh. Denaturasi dan agregasi pada protein terjadi setelah gelatinisasi pati. Agregasi protein memengaruhi kekuatan dari struktur produk angel food cake, semakin banyak penggabungan protein yang terjadi, maka semakin kecil kemungkinan terjadi kerusakan struktur pada produk. (van der Sman dan Renzetti 2020)

Terjadinya koagulasi protein saat proses baking diikuti dengan terjadinya pelepasan gas yang disebabkan karena tekanan udara dalam gelembung busa dalam adonan yang meningkat akibat suhu tinggi. Gas yang tidak bisa lepas dan

terperangkap dalam adonan menyebabkan uap air menjadi terkondensasi, dan merusak struktur cake. (Wilderjans et al. 2008) Cooling pada produk angel food cake dilakukan dengan posisi loyang terbalik, sehingga struktur cake tidak rusak. Pada tahap cooling and storage, terjadi proses pengerasan pada produk yang disebabkan adanya retrogradasi pati. Retrogradasi pati merupakan terbentuknya kembali struktur kristal pada pati yang telah mengalami gelatinisasi. Retrogradasi pati menyebabkan terjadinya pepadatan, pada proses storage menyebabkan pati yang telah tergelatinisasi bertransformasi dari fase amorphous menjadi fase crystalline sebagian (Godefroidt et al. 2019). Selain itu, terjadi keluarnya uap air yang menyebabkan migrasi air dari bagian crumb menuju bagian crust, dan dari bagian crust ke lingkungan (Lai dan Lin 2006) 3.3.3. Angel Food Cake dengan Whipping Protein Alternatif Protein sebagai whipping agent diaplikasikan pada produk pangan dalam kelompok aerated food, seperti angel food cake, dan meringue. Beberapa peneliti terdahulu (Abu-Ghoush et al (2010), Berry et al. (2009), Yang dan Foegeding (2010)) telah melakukan pengembangan produk angel food cake menggunakan protein lain pengganti putih telur sebagai whipping agent yang berperan sebagai bahan pengembang dan pembentuk struktur. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengembangkan potensi aplikasi whipping protein alternatif pengganti putih telur serta membandingkan dengan angel food cake dengan kedua jenis whipping protein, yaitu protein putih telur dan protein alternatif pengganti putih telur. Beberapa hasil penelitian terkait aplikasi whipping protein alternatif pengganti putih telur dapat dilihat pada Tabel 6.

Artikel ilmiah yang ditulis oleh Yang et al. (2009) menjelaskan, pembuatan angel food cake membutuhkan whipping protein dengan kemampuan pembentukan busa yang baik (foamability), bersifat stabil ketika pencampuran dengan tepung dan gula, serta bersifat stabil ketika proses pemanggangan. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, kemampuan pembentukan busa pada protein didasari oleh kemampuannya untuk menurunkan tegangan permukaan serta membentuk film kontinyu yang kohesif, elastis, dan fleksibel sehingga dapat memerangkap udara yang masuk dan mempertahankan udara di dalam busa. Protein dengan jenis dan sumber yang berbeda mempunyai komposisi asam amino penyusun dan konformasi yang berbeda sehingga mempunyai kemampuan pembentukan busa yang berbeda pula. Contoh perbedaan busa yang terbentuk dari lima jenis protein yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 6. Busa yang terbentuk dari protein putih telur (A) mempunyai tekstur yang lebih kaku dan kental dibandingkan dengan protein yang lain. Protein kasein (B) mempunyai tekstur dan kekentalan busa yang serupa dengan protein putih telur. Isolat protein whey (C dan E) mempunyai tingkat struktur dan kekentalan yang berbeda karena adanya perbedaan persentase protein.

Protein alternatif yang berpotensi menggantikan putih telur harus menghasilkan busa dengan sifat (kapasitas, stabilitas, tekstur, dan kekentalan) yang mendekati atau serupa dengan busa putih telur untuk meminimalisir terjadinya destabilisasi dan dapat menghasilkan produk dengan volume tinggi, tekstur yang halus, serta struktur yang kokoh dan seragam.

Tabel 6 Penelitian yang menggunakan protein alternatif sebagai *whipping protein* pengganti putih telur pada *angel food cake*

Jenis Protein Alternatif	Perlakuan	Waktu pengocokan	Suhu dan waktu <i>baking</i>	Hasil	Literatur
Protein putih telur	Penggunaan sukrosa dengan konsentrasi yang berbeda	15 menit	204 °C, 14 menit	Penggunaan gula meningkatkan pengembangan produk, namun dengan konsentrasi terlalu tinggi menyebabkan kerusakan struktur <i>cake</i> .	Yang dan Foegeding (2010)
	Substitusi menggunakan 100% protein <i>whey</i>	20 menit	190,5 °C, 55 menit	Penurunan mutu <i>angel food cake</i> pada parameter volume dan struktur	Abu-Ghoush <i>et al.</i> (2010)
Protein <i>whey</i>	Substitusi menggunakan isolat protein <i>whey</i> dengan penambahan gum xanthan dan pemanasan suhu 80 °C selama 10 menit	15 menit	204 °C, 14 menit	Peningkatan viskositas dari adonan <i>cake</i> sehingga mempunyai volume produk hasil yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemanasan	Pernell <i>et al.</i> (2002)
	Substitusi menggunakan isolat protein <i>whey</i> dengan persentase yang berbeda (0% WPI, 25% WPI, 50% WPI, 75% WPI, 100% WPI)	15 menit	204 °C, 14 menit	<i>Cake</i> dengan isolat protein <i>whey</i> mempunyai pori-pori yang besar karena terjadi destabilisasi pada saat <i>baking</i>	Berry <i>et al.</i> (2009)

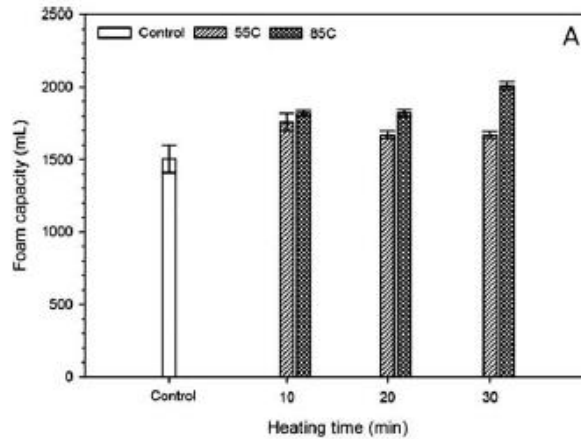
Jenis Protein Alternatif	Perlakuan	Waktu pengocokan	Suhu dan waktu <i>baking</i>	Hasil	Literatur
	Penggunaan sukrosa dengan konsentrasi yang berbeda.	20 menit	204 °C, 14 menit	Produk mempunyai rongga lebih besar. Penggunaan gula dengan konsentrasi terlalu tinggi menyebabkan kerusakan struktur <i>cake</i> .	Yang dan Foegeding (2010)
Protein kolagen	Substitusi menggunakan 100% protein kolagen	10 menit	190,5 °C, 55 menit	<i>Angel food cake</i> tidak kokoh dan tidak mengembang	Abu-Ghoush <i>et al.</i> (2010)

Pengaruh konsentrasi protein terhadap kapasitas pembentukan busa disebabkan karena berubahnya tekanan permukaan pada lapisan pembatas sehingga mempengaruhi proses adsorpsi.

Interaksi elektrostatik berperan signifikan pada absorpsi protein dan tegangan permukaan lapisan pembatas, dimana pada larutan protein dengan pH yang mendekati titik isoelektrik maka akan mempunyai sifat pembentukan busa yang lebih optimal. Langel *et al* (2011) menyatakan bahwa muatan elektrik protein akan berubah dipengaruhi oleh pH lingkungannya. Pada pH rendah di bawah titik isoelektrik, protein mempunyai nilai muatan positif karena adanya protonasi dari asam amino, pada pH di atas titik isoelektrik, protein akan bermuatan negatif karena adanya deprotonasi dari asam amino basa. Pada titik isoelektrik, gaya tarik elektrostatik antar protein berada di titik maksimum sehingga banyak terjadi adsorpsi protein pada lapisan pembatas, sehingga tegangan permukaan menurun dan meningkatkan adsorpsi protein pada lapisan pembatas air-udara. Hal ini menyebabkan meningkatkan daya pembentukan busa. Penambahan garam dalam jumlah optimum dapat mempengaruhi proses adsorpsi oleh protein pada lapisan pembatas dan meningkatkan kapasitas pembentukan busa yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena adanya muatan protein pada ikatan ionik yang bermuatan tinggi dan penambahan NaCl dapat mengubah konformasi protein.

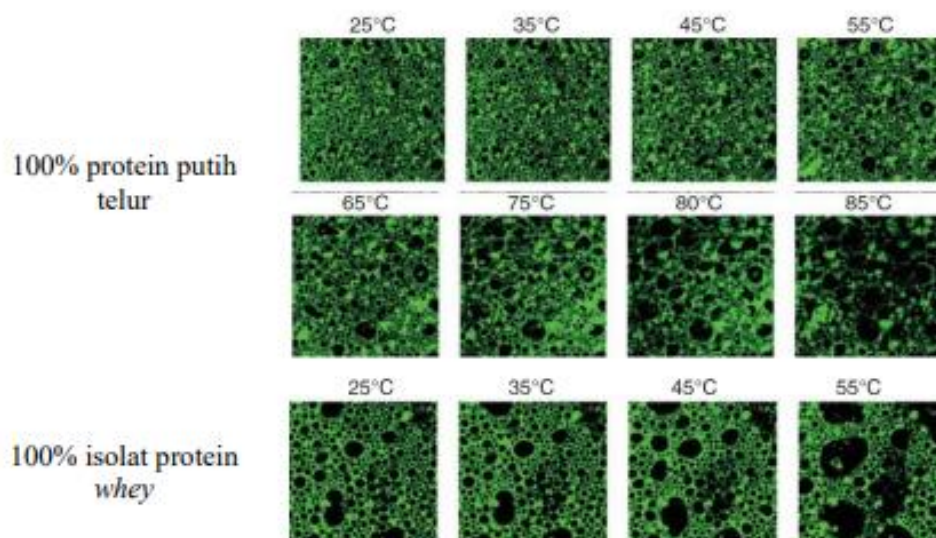
Tingginya sifat hidrofobik mempengaruhi sifat pembentukan busa, dimana pada lapisan pembatas yang bersifat hidrofobik mendukung terjadinya penggabungan polipeptida dan akan menghalangi terjadinya migrasi molekul sehingga membentuk busa dengan gelembung udara yang stabil. Meningkatnya sifat hidrofobik dapat dipengaruhi oleh denaturasi protein yang menyebabkan perubahan konformasi pada protein sehingga gugus hidrofobik yang biasanya berada dalam struktur protein menjadi berada di sisi luar dari struktur protein. Hal ini meningkatkan sifat hidrofobik permukaan dan mempengaruhi daya pembentukan busa.

Suhu proses dapat mempengaruhi pembentukan busa pada protein, dimana hasil penelitian Shao *et al* (2016) menggunakan isolat protein kedelai komersial dengan perlakuan suhu tinggi menggunakan alat *waterbath* pada suhu 55 °C hingga 88 °C selama 10, 20, dan 30 menit menunjukkan bahwa dimana perlakuan suhu paling tinggi (88 °C) menghasilkan nilai kapasitas busa yang paling tinggi namun tidak terjadi perbedaan kapasitas busa yang signifikan pada perbedaan waktu perlakuan 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Grafik pengaruh suhu tinggi terhadap kapasitas pembentukan busa ditunjukkan pada Gambar ..... Hasil tersebut menunjukkan bahwa suhu tinggi mempengaruhi kapasitas pembentukan busa, dimana perlakuan suhu tinggi dengan suhu yang optimum dapat meningkatkan stabilitas busa karena suhu tinggi dapat mendenaturasi protein sehingga rangkaian protein terbuka dan meningkatkan sifat hidrofobik dari protein dan menurunkan tegangan permukaan. Hal ini didukung dengan pendapat Li *et al* (2007) bahwa efek dari perlakuan suhu tinggi pada struktur protein, dimana suhu tinggi terinduksi dari interaksi polipeptida basa, interaksi polipeptida asam, dan ikatan disulfida yang menyebabkan denaturasi dan terjadi perubahan konformasi pada protein sehingga gugus hidrofobik yang biasanya berada dalam struktur protein menjadi berada di sisi luar dari struktur protein. Hal ini meningkatkan sifat hidrofobik permukaan dan mempengaruhi daya pembentukan busa.



Gambar 7. Pengaruh perlakuan suhu dan waktu preheating terhadap *foam capacity* (ml) dan *foam stability* (%) dari isolat protein kedelai

Gambar 8. menjelaskan perubahan mikrostruktur dari adonan angel food cake selama proses pemanggangan yang dilihat menggunakan confocal laser scanning microscope (CLSM). Gisslen (2013) menjelaskan bahwa suhu tinggi pada proses pemanggangan memicu terjadinya gelatinisasi pati dan denaturasi protein yang menyebabkan koagulasi. Matriks cake terbentuk dari busa protein yang stabil untuk mengembang dan membentuk struktur kokoh bersama dengan proses gelatinisasi pati ketika pemanggangan dengan suhu tinggi. Proses pemanggangan angel food cake menyebabkan pengembangan adonan hingga suhu internal mencapai 75 °C. Adonan dengan menggunakan busa dari isolat protein whey membentuk gelembung udara yang besar pada suhu 25 °C dan berukuran semakin besar serta terjadinya destabilisasi seiring dengan pertambahan suhu hingga 55 °C. Perubahan mikrostruktur tersebut berbeda dengan perubahan mikrostruktur yang terjadi pada adonan dengan 100% protein putih telur dengan ukuran gelembung udara lebih 28 stabil dan berukuran relatif lebih kecil hingga mencapai suhu lebih dari 55 °C tanpa terjadinya penggabungan dan destabilisasi. Menurut Winarno (1992), gelatinisasi umumnya terjadi pada rentang suhu antara 55 °C hingga 65 °C, dan koagulasi putih telur oleh panas dapat terjadi pada suhu 57 °C atau pada suhu 62 °C (Nelsiana 2007).



Gambar 8. Mikrostruktur adonan angel food cake menggunakan busa dari protein putih telur dan isolat protein whey dengan CLSM (Berry et al. 2009)



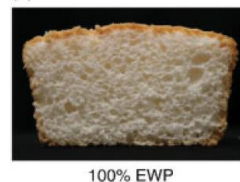
Gambar 9. menunjukkan perbedaan angel food cake yang menggunakan protein putih telur, isolat protein whey, dan protein kolagen. Angel food cake yang menggunakan protein putih telur mempunyai volume yang lebih besar apabila dibandingkan dengan angel food cake yang menggunakan isolat protein whey maupun kolagen sebagai whipping protein.



Gambar 9. Perbedaan hasil angel food cake dengan penggunaan tiga whipping protein yang berbeda (Abu-Ghous et al. 2010)

Hasil tersebut membuktikan teori dari Yang et al (2009) bahwa busa berbasis protein sebagai whipping protein harus bersifat stabil ketika proses pemanggangan. Busa dengan kestabilan yang baik akan mampu mempertahankan gelembung udara dan mempertahankan volume dari adonan cake hingga terjadi gelatinisasi pati dan koagulasi protein yang akan membentuk struktur angel food cake menjadi padat dan kokoh. Protein putih telur mempunyai kemampuan stabilitas busa yang lebih 29 baik sehingga sering diaplikasikan pada sistem produk angel food cake. Protein whey mempunyai kemampuan pembentukan busa yang cukup baik, namun, busa yang terbentuk mempunyai tingkat kestabilan terhadap panas yang lebih rendah dibandingkan dengan busa dari putih telur sehingga mengalami destabilisasi. Gambar 10 menunjukkan, substitusi 25% putih telur menyebabkan penurunan volume pengembangan produk angel food cake, meskipun pada saat pemanggangan mencapai volume yang sama.

100% Protein putih telur



100% EWP

75% Protein putih telur dan 25% Isolat protein whey



75% EWP / 25% WPI

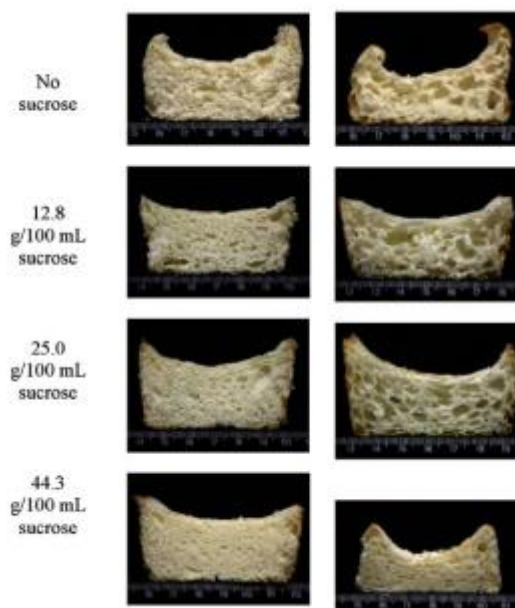
100% Isolat protein whey



100% WPI

Gambar 10. Perbedaan struktur angel food cake menggunakan busa protein putih telur dan menggunakan busa isolat protein whey (Berry et al. 2009)

Gambar 10 menunjukkan perbedaan struktur angel food cake menggunakan busa protein putih telur dan menggunakan busa isolat protein whey. Angel food cake dengan protein putih telur sebagai whipping protein mempunyai struktur yang lebih halus, kompak, dan seragam. Angel food cake yang menggunakan busa dari isolat protein whey mempunyai tingkat pengembangan yang kurang baik, struktur yang lebih kasar dan tidak seragam, dan mempunyai gelembung udara yang lebih besar. Struktur yang lebih kasar pada produk angel food cake yang menggunakan isolat protein whey sebanyak 25% disebabkan karena terjadinya destabilisasi pada gelembung busa dan penggabungan gelembung udara sehingga ukuran gelembung semakin membesar. Penambahan gula pada larutan protein yang digunakan dalam pembuatan angel food cake meningkatkan kestabilan busa dan mencegah terjadinya destabilisasi sehingga adonan dapat mempertahankan volumenya dan membentuk struktur yang teratur dan seragam. Namun, penambahan sukrosa yang terlalu berlebihan menyebabkan viskositas menjadi terlalu tinggi dan membatasi udara yang terdifusi ke dalam larutan sehingga kapasitas pembentukan busa menurun (Zayas et al. 1997). Hal tersebut ditunjukkan dengan berkurangnya ukuran gelembung udara yang terbentuk seiring dengan bertambahnya penambahan konsentrasi sukrosa pada Gambar 12, semakin padat dan rapatnya struktur angel food cake seiring dengan bertambahnya konsentrasi sukrosa. Angel food cake dengan konsentrasi sukrosa paling tinggi mempunyai ukuran pori-pori yang kecil sehingga nampak strukturnya yang paling padat.



Gambar 11 Perbedaan struktur angel food cake menggunakan busa protein putih telur (kiri) dan menggunakan busa isolat protein whey (kanan) dengan perbedaan persentase penggunaan gula (Yang dan Foegeding 2010)

Selain mempengaruhi viskositas, menurut Munzing dan Brack (1991), penambahan sukrosa meningkatkan suhu gelatinisasi pati dan suhu denaturasi protein, sehingga memperlambat terjadinya gelatinisasi pati dan mendukung protein untuk mengembang dengan baik sebelum terjadi pengerasan struktur cake. Busa berbasis protein putih telur

mempunyai kemampuan yang baik untuk terus mengembang dalam rentang suhu gelatinisasi pati dan mempertahankan volume hingga akhir proses pemanggangan. Sedangkan, busa berbasis protein whey mempunyai ketahanan panas yang lebih rendah, sehingga akan mengalami kerusakan terlebih dahulu sebelum mencapai suhu gelatinisasi pati. Hal tersebut menyebabkan adonan cake dengan busa dari isolat protein whey menjadi lebih kental ketika suhu baking mencapai suhu denaturasi  $\beta$ -lactoglobulin sehingga terjadi kerusakan pada jaringan busa yang elastis dan menyebabkan kerusakan pada struktur cake. Gambar 11 menunjukkan angel food cake dengan protein whey mempunyai mutu pada parameter volume yang mendekati angel food cake menggunakan protein putih telur dengan penambahan sukrosa dalam konsentrasi 12,8 gram/100 mL, kemudian mutu menurun dan tidak membentuk struktur yang baik pada konsentrasi sukrosa 44,3 gram/100 mL. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan sukrosa dapat meningkatkan mutu angel food cake dengan protein alternatif dalam konsentrasi tertentu. Penambahan gula dalam konsentrasi yang tinggi ( $\geq 25$  g/100 mL) menyebabkan struktur cake menjadi collapse.

### 3.3.3. Percobaan Pembuatan Angel Food Cake dengan Isolat Protein Kedelai

Mengacu pada literatur-literatur yang telah dikaji sebelumnya, dilakukan percobaan pengembangan produk angel food cake dengan menggunakan isolat protein kedelai sebagai whipping protein dengan mengacu pada metode Pernell et al. (2002) yang dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan yaitu substitusi sebagian whipping protein menggunakan isolat protein kedelai dalam taraf yang berbeda, yaitu 100% isolat protein kedelai, 50% isolat protein kedelai dan 50% putih telur, dan 100% putih telur sebagai kontrol. Modifikasi juga dilakukan dengan penambahan sukrosa bubuk dengan persentase 15% (w/w), modifikasi berupa perlakuan panas, penambahan xanthan gum 0,01% (w/w), dan penambahan asam berupa cream of tartar atau asam sitrat dengan taraf 0,2% (w/w). Perlakuan pemanasan larutan isolat protein kedelai dilakukan menggunakan waterbath suhu 80 °C selama 10 menit dilakukan dengan tujuan proteolisis parsial untuk meningkatkan penguraian polipeptida protein kedelai pada lapisan pembatas dan memfasilitasi gugus hidrofobik untuk meningkatkan sifat pembentukan busa. Dikutip dari Zayas et al. (1997), struktur protein glycinin (protein 11S) pada protein kedelai yang berbentuk oligometris dan bersifat stabil menyebabkan terbatasnya sifat fungsional protein kedelai. Oleh karena itu, peningkatan sifat fleksibilitas dari protein dilakukan dengan melakukan reduksi dari komponen ikatan disulfida. Penambahan xanthan gum dilakukan dengan tujuan meningkatkan stabilitas busa dengan meningkatkan viskositas larutan protein. Mengutip pernyataan dari Wang et al. (2015), kompleks yang terbentuk antara protein dengan polisakarida seperti xanthan gum yang diberi perlakuan pemanasan akan membentuk larutan yang lebih stabil.

Pengocokan larutan protein dilakukan menggunakan mesin pengocok selama 10-15 menit untuk menghindari overbeating. Busa yang terbentuk dicampurkan dengan tepung terigu seberat 66 gram dan sukrosa bubuk sebesar 50 gram. Adonan yang telah berada dalam loyang dengan diameter atas 20 cm dan diameter bawah 17,5 cm, kemudian dipanggang dalam oven dengan suhu 200 – 205 °C selama 40— 50 menit.

Hasil percobaan dan foto produk angel food cake dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8. Gambar 12b, 13b, dan 14b menunjukkan penggunaan 100% protein putih telur pada produk angel food cake menghasilkan produk cake dengan pori-pori produk yang kecil-kecil, struktur kokoh, tekstur empuk, serta mempunyai crust yang tebal dan permukaan cake yang kurang rata yang disebabkan karena suhu pemanggangan yang terlalu rendah sehingga waktu pemanggangan terlalu lama. Angel food cake dengan penambahan cream

of tartar mempunyai tinggi sebesar 3,5 cm sehingga menunjukkan tingkat pengembangan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan produk kontrol dan produk dengan penambahan asam sitrat yang mempunyai tinggi 3 cm.

Gambar 15b, 16b, dan 17b menunjukkan penggunaan 50% protein putih telur dan 50% isolat protein kedelai sebagai whipping protein menghasilkan produk angel food cake dengan struktur yang lebih kasar, permukaan yang tidak rata dan berbentuk cekung, dan rongga-rongga yang besar dan dengan ukuran yang tidak seragam. Produk dengan penambahan asam sitrat mempunyai tinggi produk dengan nilai yang rendah yaitu senilai 2,5—2 cm, lebih rendah dibandingkan dengan produk dengan cream of tartar dan tanpa penambahan asam dengan tinggi produk sebesar 3 cm – 2,6 cm. Gambar 18b, 19b, dan 20b menunjukkan penggunaan 100% isolat protein kedelai sebagai whipping protein menghasilkan produk angel food cake dengan struktur yang lebih basah dan kurang kokoh. Angel food cake dengan protein kedelai mempunyai struktur yang cenderung kasar dengan rongga yang berukuran lebih besar dan tidak seragam menunjukkan adanya destabilisasi dan penggabungan gelembung udara sebelum terjadinya perubahan matriks sel pada adonan sehingga menjadi padat. Terdapat perbedaan struktur pada cake dengan perlakuan kontrol, perlakuan penambahan cream of tartar, dan perlakuan penambahan asam sitrat pada penggunaan 100% isolat protein kedelai sebagai whipping protein. Produk dengan penambahan cream of tartar mempunyai tinggi dengan nilai yang lebih tinggi, diikuti dengan cake dengan perlakuan kontrol, dan cake dengan penambahan asam sitrat. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan penambahan cream of tartar merupakan perlakuan yang paling baik untuk substitusi 100% dengan isolat protein kedelai. Tinggi produk dengan penggunaan 100% isolat protein kedelai dan penambahan cream of tartar 20% lebih rendah dari tinggi produk standar (100% putih telur dan penambahan cream of tartar).







Pengaruh cream of tartar dalam menurunkan pH larutan protein menyebabkan peningkatan interaksi antar protein sehingga meningkatkan kestabilan busa (Wang et al. 2012). Penambahan asam sitrat menyebabkan perubahan pada struktur protein, yaitu tereksposnya gugus hidrofobik protein dan menyebabkan meningkatnya sifat hidrofobik protein sehingga meningkatkan kestabilan busa pada protein (Li et al. 2018). Penambahan asam sitrat yang berlebihan menyebabkan larutan protein terlalu bersifat hidrofobik sehingga mempunyai sifat kelarutan yang kurang baik dan menghambat pembentukan busa. Hal tersebut menyebabkan cake mempunyai volume rendah dan tidak membentuk tekstur yang baik. Hasil verifikasi tersebut menunjukkan bahwa angel food cake dengan tingkat substitusi 100% mempunyai kualitas yang berbeda dengan angel food cake kontrol dengan 100% protein putih telur pada parameter pengembangan, volume, struktur, dan juga permukaan. Substitusi sebesar 50% dapat dilakukan dan menghasilkan produk angel food cake yang mendekati kontrol, namun terdapat perbedaan pada parameter rongga pada produk dan pengembangan yang tidak sebaik pada produk kontrol. Terdapat potensi untuk mengembangkan produk angel food cake atau jenis bakery lain dengan menggunakan protein alternatif pengganti putih telur sehingga menghasilkan produk dengan mutu yang sama atau mendekati produk yang menggunakan telur sebagai kontrol. Pengembangan produk dapat dilakukan dengan memodifikasi karakteristik fisikokimia protein tersebut dan melakukan optimasi setiap tahap proses mulai dari whipping sampai proses pendinginan.







Tabel 7. Data hasil percobaan dengan tiga perbandingan protein yang berbeda sebagai whipping protein dan tiga jenis asam

<b>Protein Alternatif</b>	<b>Perlakuan</b>	<b>Waktu pengocokan</b>	<b>Baking</b>	<b>Hasil</b>
<b>100% putih telur</b>	Kontrol	8 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 3 cm</li> <li>• Pori-pori produk kecil</li> <li>• Struktur padat dan kokoh</li> <li>• Bagian <i>crust</i> tebal dan permukaan kurang rata</li> </ul>
	0,2% <i>Cream of tartar</i>	8 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 3,5 cm</li> <li>• Pori-pori produk kecil</li> <li>• Struktur padat dan kokoh</li> <li>• Bagian <i>crust</i> tebal dan permukaan kurang rata</li> </ul>
	0,2% <i>Citric acid</i>	8 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 3 cm</li> <li>• Pori-pori produk kecil</li> <li>• Struktur padat dan kokoh</li> <li>• Bagian <i>crust</i> tebal dan permukaan kurang rata</li> </ul>
<b>50% putih telur, 50% isolat protein kedelai</b>	Kontrol	10 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 3 cm – 2,6 cm (cekung)</li> <li>• Produk berongga besar</li> <li>• Struktur kokoh</li> </ul>
	0,2% <i>Cream of tartar</i>	10 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 3 cm – 2,6 cm (cekung)</li> <li>• Produk berongga besar</li> <li>• Struktur kokoh</li> </ul>







<b>Protein Alternatif</b>	<b>Perlakuan</b>	<b>Waktu pengocokan</b>	<b>Baking</b>	<b>Hasil</b>
	0,2% <i>Citric acid</i>	10 menit	200 – 205 °C, 40 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 2,5 cm – 2 cm (cekung)</li> <li>• Mengembang dengan kurang baik</li> <li>• Produk berongga besar</li> <li>• Struktur kokoh</li> </ul>
	Kontrol	15 menit	200 – 205 °C, 50 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 2,4 cm</li> <li>• Mengembang dengan kurang baik</li> <li>• Produk berongga besar</li> <li>• Struktur agak kokoh</li> <li>• <i>Cake</i> agak basah</li> </ul>
<b>100% isolat protein kedelai</b>	0,2% <i>Cream of tartar</i>	15 menit	200 – 205 °C, 50 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 2,7 cm</li> <li>• Mengembang dengan kurang baik</li> <li>• Produk berongga besar</li> <li>• Struktur agak kokoh</li> <li>• <i>Cake</i> agak basah</li> </ul>
	0,2% <i>Citric acid</i>	15 menit	200 – 205 °C, 50 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi produk: 1,5 cm</li> <li>• Tidak mengembang</li> <li>• Struktur tidak kokoh</li> <li>• <i>Cake</i> basah, permukaan pecah</li> </ul>

Tabel 8. Foto bentuk dan struktur angel food cake dengan tiga perbandingan protein yang berbeda sebagai *whipping protein* dan tiga jenis perlakuan asam yang berbeda serta perbedaan struktur *angel food cake* dengan perlakuan yang berbeda

Perlakuan	Foto produk	Struktur produk
Kontrol	 <p data-bbox="891 671 1055 699">Gambar 11a</p>	 <p data-bbox="1503 679 1666 707">Gambar 11b</p>
<b>100% putih telur</b>  0.2% <i>Cream of tartar</i>	 <p data-bbox="891 968 1055 995">Gambar 12a</p>	 <p data-bbox="1503 968 1666 995">Gambar 12b</p>
0.2% <i>Citric acid</i>	 <p data-bbox="875 1287 1039 1315">Gambar 13a</p>	 <p data-bbox="1518 1295 1682 1323">Gambar 13b</p>

Perlakuan	Foto produk	Tekstur produk
Kontrol	 <p data-bbox="1016 571 1173 598">Gambar 15a</p>	 <p data-bbox="1662 571 1818 598">Gambar 15b</p>
50% putih telur, 50% isolat protein kedelai <i>0,2% Cream of tartar</i>	 <p data-bbox="1016 850 1173 879">Gambar 16a</p>	 <p data-bbox="1662 850 1818 879">Gambar 16b</p>
<i>0,2% Citric acid</i>	 <p data-bbox="1016 1131 1173 1161">Gambar 17a</p>	 <p data-bbox="1662 1131 1818 1161">Gambar 17b</p>



Perlakuan	Foto produk	Tekstur produk	
Kontrol	 Gambar 18a	 Gambar 18b	
100% isolat protein kedelai	0,2% <i>Cream of tartar</i>	 Gambar 19a	 Gambar 19b
0,2% <i>Citric acid</i>	 Gambar 20a	 Gambar 20b	

## IV SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Beberapa sumber protein alternatif bisa dibuat busa (foam) tetapi kapasitas dan stabilitasnya lebih rendah dari busa yang dibentuk dari putih telur. Bentuk isolate dari protein whey susu maupun kedelai menghasilkan busa cukup baik. Kemampuan pembentukan busa pada protein didasari oleh kemampuan protein dalam membentuk lapisan film yang bersifat kontinyu, kohesif, elastis, dan fleksibel pada batas fase cair dan udara, viskositas yang rendah, kemudian menjadi kokoh pada akhir proses *whipping*. Film tersebut terbentuk ketika terjadi reformasi protein pada permukaan larutan untuk membentuk gelembung udara yang stabil. .

Selain jenis atau sumber protein yang menentukan sifat muatan elektrostatis protein, hidrofobisitas protein, faktor konsentrasi, jenis asam, taraf penambahan gula, preheating dan lama pengocokkan berpengaruh pada karakteristik fisik, kapasitas dan stabilitas busa. Karakteristik busa sangat menentukan mutu fisik produk *angel food cake* yang dihasilkan.

Produk *angel food cake* yang dibuat dengan menggunakan protein alternatif volumenya lebih kecil dibandingkan dengan volume produk menggunakan putih telur dan rongga produk yang lebih besar. Produk *angel food cake* yang dibuat dengan formula isolate protein kedelai 4%, gula (15% untuk busa, 25% untuk adonan), cream of tartar 0,2% xanthan gum 0,01% volumenya 20% lebih rendah dibandingkan dengan volume produk standar (menggunakan putih telur).

### 4.2 Saran

Busa yang dihasilkan dari protein alternatif pengganti mempunyai sifat yang tidak sebaik busa yang dihasilkan dari protein putih telur, khususnya dalam pengaplikasiannya dalam produk *bakery*. . Oleh karena itu, perlunya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan sifat fungsional fisik protein dalam membentuk busa sehingga dapat diaplikasikan dalam produk *bakery* dengan hasil lebih baik dan mendekati hasil produk dengan menggunakan putih telur. Penelitian dapat dikembangkan, diantaranya modifikasi protein secara enzimatik atau kimiawi dan optimasi formula maupun parameter proses pembuatan produk *angel food cake*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Ghoush M, Herald T J, Aramouni F M. 2010. Comparative study of egg white protein and egg alternatives used in an angel food cake system. *Journal of Food Processing and Preservation*. 34(2010): 411—425
- Almatsier S. 2004. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta (ID): Gramedia Pustaka UT
- Althathi A S. 2013. *Egg White Foam* [Thesis]. Auckland (NZ): Massey University
- Belitz H D, Grosch W, Schieberle P. 2009. *Food Chemistry: 4<sup>th</sup> Revised and Extended Ed*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Berry T K, Yang X, Foegeding E A. 2009. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 2. Changes associated with angel food cake functionality. *Food Engineering and Physical Properties*. 74(5): 269—277
- Burssens S, Pertry I, Ngudi D D, Kuo Y, Montagu M V, dan Lambein F. 2011. *Soya, Human Nutrition and Health*. Hany A. El-Shemy (ed.). In Soybean and Nutrition. InTech. Croatia
- Caubet J C, Wang J. 2011. Current understanding of egg allergy. *Pediatr Clin N Am*. 58(2011): 427—443
- Carp D J, Bertholomai G B, Relkin P, Pilosof A M R. 2001. Effect of denaturation of soy protein-xanthan interactions: comparison of a whipping-rheological and a bubbling method. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 21(2001): 163—171
- Damodaran S, Anand K, Razumovsky L. 1998. Competitive adsorption of egg white at the air-water interface: direct evidence for electrostatic complex formation between lysozyme and other egg protein at the interface. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46(3): 872—876
- Fahmy Y, El-Wakil N A, El-Gendy A A, Abou-Zeid R E, dan Youssef M A. 2010. Plant proteins as binders in cellulosic paper composites. *Int. J. Biol. Macromol*. 47: 82—85.
- Foegeding E A, Luck P J, Davis J P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids*. 20(2006): 284—292
- Fukushima D. 1991. Recent progress of soybean protein foods: chemistry technology, and nutrition. *Food Reviews International*. 7: 323—351
- German J B dan Philips L. 1994. Protein interactions in foams: protein-gas interactions, pada *Protein Functionality in Food System*. Diedit oleh Hettiarachchy N S dan Ziegler G R. New York: Marcel Dekker
- Godefroidt T, Ooms N, Pareyt B, Brijs K, Delcour J A. 2019. Ingredient functionality during foam-type cake making: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 0(2019): 1—13.
- Kilara A dan Vaghela M N. Whey protein dalam *Proteins in Food Processing*. Diedit oleh Yada R Y. Elsevier Ltd.: Duxford (UK)
- Koswara. 2002. Teknologi Pengolahan Kedelai dan Hasil Sampingnya Menjadi Makanan Bermutu. Jakarta (ID): Pustaka Sinar Harapan
- Lau C K, Dickinson E. 2005. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids*. 19(1): 111—121

- Li X, Li Y, Hau Y, Qiu A, Yang C, and Cui S. 2007. Effect of concentration, ionic strength and freeze-drying on heat-induced aggregation of soy proteins. *Food Chem.* 104. 1410–1417.
- Likura *et al.* 1999. Frequency of Immediate-Type Food Allergy in Children in Japan. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 118(2-4):251-252.
- Martinez K D, Sanchez C C, Patino J M R, Pilosof A M R. 2009. Interfacial and foaming properties of soy protein and their hydrolysates. *Food Hydrocolloids.* 23(2009): 2149—2157.
- Martorell A, Alonso E, Bonè J, Echeverria L, Lopez M C, Martin F, Nevot S, Plaza A M, Food Allergy Committee of SEICAP. 2013. *Position document: IgE-mediated allergy to egg protein.* *Allergol Immunopathol.* 41(5): 320—336
- Morr C V, dan Ha E Y. 1993. Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 33(6): 431—76
- Pernell C W, Luck P J, Foegeding E A, Daubert C R. 2002. Heat-induced changes in angel food cakes containing egg-white protein or whey protein isolate. *Food Chemistry and Toxicology.* 67(8): 1945—1951
- Raikos V, Campbell L, Euston S R. 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Research International.* 40 (2007). 347—355
- Ratnayake W S dan Hutchison M A. 2010. *An industry-relevant analysis of differences between products made with eggs and those made with egg content reduced by egg replacer.* London (USA): University of Nebraska-Lincoln
- Sa'adah U. 2007. *Daya dan kestabilan busa putih telur pada umur simpan dan level penambahan asam sitrat yang berbeda* [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Shao Y Y, Kao Y J. Foaming properties of soy protein isolates and concentrates. 2014 *International Conference of Food Security and Nutrition.* 67(2014): 56—59
- Shao Y Y, Lin K H, Kao Y J. 2016. Modification of foaming properties of commercial soy protein isolates and concentrates by heat treatments. *Journal of Food Quality.* 39(2016): 695—706
- Stadelman W J dan Cotteril O J. 1996. *Egg Science and Technology.* 4<sup>th</sup> Ed. Food Product Press. An Imprint of The Hawort Press, Inc. New York
- Simbolon A. 2007. *Daya dan kestabilan busa putih telur ayam ras pada umur telur dan level penambahan asam asetat yang berbeda* [Skripsi]. Bogor (ID): Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor
- Srichamroen A. 2007. Influence of temperature and salt on viscosity property of guar gum. *Naresuan Journal.* 15(2): 55—62
- Sutedja A M. 2010. *Fraksinasi protein dan karakterisasi sifat fungsional tepung okara* [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Van Der Leeden M C, Rutten A A C M, Frens G. 2000. How to develop globular protein into adhesives. *J. Biotechnol.* 79: 211—221
- Wang Z dan Narsimhan G. 2006. Model for plateau border drainage of power-law fluid with mobile interface and its application to foam drainage. *Journal of Colloid and Interface Science.* 300(2006): 327—337
- Yang X, Berry T K, Foegeding E A. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 1. Physical, microstructural, and interfacial properties. *Food Engineering and Physical Properties.* 74(5): 259—268

- Yang X, Foegeding A. 2010. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factor determining properties of wet and dry foams (cakes). *Food Hydrocolloids*. 24(2010): 227—238
- Yang X. 2014. Optimizing textural properties of soft solid foods: replacing eggs dalam *Food Texture Design and Optimization*. Diedit oleh Light J M. Oxford (UK): IFT Press
- Xie Y R dan Hettiarachchy N S. 1998. Effect in xanthan gum on enhancing the foaming properties of soy protein isolate. *JAACS*. 75(6): 729—732
- Zayas J F. 1997. *Functionality of Protein in Food*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg