

# Buku Protein

*by* Yudi Garnida -

---

**Submission date:** 07-Jan-2022 06:37PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1738478474

**File name:** 34.\_Buku\_Protein.pdf (1.46M)

**Word count:** 37977

**Character count:** 241942

# PROTEIN

YUDI GARNIDA

# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	i
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR TABEL .....	viii
1 Pendahuluan .....	1
2. Sumber Protein	
2.1. Protein Kedelai	
2 Asam Amino .....	62
2.1 Klasifikasi Asam Amino .....	64
2.1.1 Asam Amino Alifatik .....	64
2.1.2 Asam Amino Aromatik .....	66
2.1.3 Asam Amino Dasar yang Memiliki Muatan .....	68
2.1.4 Asam Amino Berantai Asam .....	70
2.1.5 Asam Amino Berantai Amida .....	72
2.1.6 Asam Amino Hidroksil .....	73
2.1.7 Asam Amino yang Memiliki Sulfur .....	74
2.2 Asam Amino Esensial dan Non Esensial .....	78
2.3 Sifat Asam Basa Asam Amino .....	80
2.4 Sifat Asam Amino .....	83
2.4.1 Hidrofobisitas Asam Amino .....	83
2.4.2 Kelarutan .....	84
2.4.3 Penyerapan Sinar UV .....	85
3 Peptida dan Ikatan yang Terdapat dalam Protein .....	87
3.1 Ikatan Peptida .....	87

3.2	Ikatan Disulfida .....	96
3.3	Ikatan Hidrogen .....	97
3.4	Ikatan Hidrofobik .....	99
3.5	Ikatan Ionik.....	100
4	Protein .....	102
4.1	Struktur Protein .....	102
4.1.1	Struktur Primer .....	102
4.1.2	Struktur Sekunder .....	104
4.1.3	Struktur Tersier .....	112
4.1.4	Struktur Kuartener.....	114
4.2	Klasifikasi Protein .....	117
4.2.1	Protein Sederhana.....	117
4.2.2	Protein Kompleks atau Protein Konjugasi .....	120
4.2.3	Tingkat Degradasi Protein.....	122
5	Sifat Protein.....	124
5.1	Reaksi Pewarnaan.....	124
5.1.1	Reaksi Xantoprotein.....	124
5.1.2	Reaksi Biuret .....	124
5.1.3	Reaksi Ninhidrin .....	124
5.2	Sifat Koloid .....	125
5.3	Sifat Sensoris.....	125
6	Fungsi Protein .....	128
6.1	Fungsi Protein Bagi Tubuh.....	128
6.2	Fungsi Protein Dalam Bidang Pangan.....	129
6.2.1	Kelarutan .....	132
6.2.2	Viskositas .....	133

6.2.3	Gelasi.....	134
6.2.4	Emulsifikasi .....	138
6.2.5	<i>Foaming</i> .....	143
6.2.6	Pengikat Flavor .....	148
6.2.7	Teksturisasi .....	150
7	Macam-Macam Protein dalam Bahan Pangan .....	7
7.1	Protein Kedelai .....	7
7.2	Protein Serealia.....	12
7.3	Protein <i>Oilseed</i> .....	21
7.3.1	Zein Jagung.....	22
7.3.2	Protein Kacang Tanah .....	24
7.3.3	Biji Bunga Matahari.....	26
7.3.4	Canola/ <i>Rapeseed</i> .....	28
7.4	Protein Daging.....	28
7.4.1	Sarkoplasma .....	29
7.4.2	Myofibril .....	30
7.4.3	Stroma .....	32
7.4.4	Protein Daging Sebagai Bahan Fungsional pada Produk Pangan ...	36
7.5	Protein Susu.....	40
7.5.1	Kasein.....	41
7.5.2	Protein Whey.....	44
7.6	Protein Telur.....	50
7.6.1	Protein Putih Telur .....	50
7.6.2	Protein Kuning Telur.....	57
8	Denaturasi Protein .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.1	Penyebab Denaturasi .....	154

8.1.1	Suhu .....	154
8.1.2	Tekanan .....	158
8.1.3	Pengadukan .....	160
8.1.4	pH.....	161
8.1.5	Pelarut Organik .....	162
8.1.6	Zat Terlarut dengan Berat Molekul Kecil .....	162
DAFTAR PUSTAKA .....		192

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Asam $\alpha$ -Amino .....	63
Gambar 2.2. D-asam amino dan L-asam amino.....	63
Gambar 2.3. Struktur Asam Amino Alifatik beserta Kodon mRNA-mya .....	65
Gambar 2.4. Struktur Asam Amino Aromatik beserta Kodon mRNA-mya .....	67
Gambar 2.5. Struktur Asam Amino Dasar beserta Kodon mRNA-nya .....	69
Gambar 2.6. Struktur Asam Amino Berantai Asam Beserta Kodon mRNA-nya .	71
Gambar 2.7. Struktur Asam Amino Berantai Amida Beserta Kodon mRNA-nya	72
Gambar 2.8. Struktur Asam Amino Berantai Hidroksil Beserta Kodon mRNA-nya .....	73
Gambar 2.9. Struktur Asam Amino Berantai Hidroksil Beserta Kodon mRNA-nya .....	74
Gambar 2.10. Struktur Hidroksilisin, Hidroksiprolin, $\gamma$ -karboksiglutamat, dan Fosfoserin .....	78
Gambar 2.11. Asam Amino Dipolar (Ion Zwitter) .....	80
Gambar 2.12. Derajat Ionisasi Asam Amino yng Dipengaruhi pH .....	81
Gambar 2.13. Spektrum Serapan Sinar Ultraviolet Beberapa Asam Amino .....	86
Gambar 3.1. Ikatan Peptida.....	87
Gambar 3.2. Delokalisasi Elektron pada Ikatan $-\text{CONH}-$ .....	88
Gambar 3.3. Tulang Punggung Peptida ( $\text{C}\alpha-\text{CO}-\text{NH}-\text{C}\alpha-$ ) .....	88
Gambar 3.4. Sudut Torsi pada Rantai Peptida .....	89
Gambar 3.5. Konfigurasi Cis dan Trans .....	90
Gambar 3.6. Struktur Polipeptida.....	91

Gambar 3.7. Struktur Glutathione .....	93
Gambar 3.8. Struktur Carnosine, Anserine dan Balenine .....	94
Gambar 3.9. Struktur Nisin .....	95
Gambar 3.10. Ikatan Sulfida Pada Protein .....	96
Gambar 3.11. Pemecahan Ikatan Disulfida Pada Sistin .....	97
Gambar 3.12. Ikatan Hidrogen Pada Protein .....	98
Gambar 3.13. Macam-macam Ikatan Hidrogen pada Protein .....	99
Gambar 3.14. Ikatan Hidrofobik Pada Protein .....	100
Gambar 3.15. Ikatan Ionik Pada Protein .....	100
Gambar 4.1. Ilustrasi Protein Struktur Primer .....	102
Gambar 4.2. Struktur $\alpha$ -heliks .....	106
Gambar 4.3. Struktur $\beta$ -berlipat dari Rantai Peptida .....	108
Gambar 4.4. Rantai $\beta$ -berlipat (a) Paralel dan (b) Antiparalel .....	109
Gambar 4.5. $\beta$ -lekukan Tipe I-III .....	110
Gambar 4.6. Struktur Tersier Protein .....	112
Gambar 4.7. Struktur Tersier Hemoglobin .....	113
Gambar 4.8. Skema Pembentukan Dimer dan Oligomer pada Protein .....	115
Gambar 6.1. Jenis Gel yang Dihasilkan oleh Protein .....	136
Gambar 7.1. Struktur Tiga Dimensi $\beta$ -conglycinin $\beta$ –homotrimer .....	10
Gambar 7.2. Struktur Tiga Dimensi $\beta$ -glycinin A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> homoheksamer .....	11
Gambar 7.3. Representasi Molekul Miosin .....	30
Gambar 7.4. Struktur Myofibril .....	32
Gambar 7.5. Struktur Kimia Kasein .....	41
Gambar 7.6. Misel Kasein .....	43



Gambar 7.7. Struktur $\beta$ -laktoglobulin .....	46
Gambar 7.8. Struktur $\alpha$ -laktalbumin .....	47
Gambar 7.9. Struktur Kristal Ovalbumin .....	52
Gambar 7.10. Struktur Kristal Ovotransferrin .....	53
Gambar 7.11. Struktur Kristal Lisozim .....	55
Gambar 7.12. Komposisi Kuning Telur Ayam .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kandungan Protein dari Berbagai Jenis Kategori Produk Pangan .....	4
Tabel 2.1. Asam Amino Esensial dan Non Esensial .....	78
Tabel 2.2. pH Isoelektrik dari Asam Amino pada Suhu 25°C .....	81
Tabel 2.3. Sifat Asam Amino .....	84
Tabel 2.4. Penyerapan Sinar Ultraviolet pada Asam Amino Aromatik .....	85
Tabel 3.1. Kandungan Carnosine, Anserine dan Balenine pada Daging (%) .....	94
Tabel 4.1. Komponen Struktur Sekunder (% Residu Asam Amino) dari beberapa Protein Globular .....	111
Tabel 4.2. Beberapa Contoh Protein Globular .....	120
Tabel 5.1 Nilai Ambang Pengenalan ( <i>Recognition Threshold</i> ) dari Berbagai Peptida : Efek Konfigurasi dan Urutan Asam Amino (pada larutan air dengan pH 6-7)	126
Tabel 6.1. Fungsi Protein Pada Bahan dan Produk Pangan .....	130
Tabel 6.2. Hubungan Antara Sifat Fisikokimia Protein dan Dampaknya terhadap Fungsi Protein Pada Makanan .....	132
Tabel 6.3. FP Berbagai Larutan Protein pada pH 8,0 .....	147
Tabel 7.1. Sifat Fungsional Protein Kedelai dan Sub Unitnya dalam Bahan Pangan .....	12
Tabel 7.2. Beberapa Serealia yang Menjadi sumber Protein .....	13
Tabel 7.3. Komposisi Asam Amino pada Beberapa Tepung Serealia .....	15
Tabel 7.4. Tumbuhan Penghasil Minyak yang Menjadi Sumber Protein .....	21
Tabel 7.6. Sifat Fisik Protein Daging pada Daging dan Produk Olahan Daging..	35

Tabel 7.7. Protein Daging sebagai Komponen Asli atau Sebagai Bahan Fungsional dalam Produk Pangan .....	40
Tabel 7.5. Sifat Karakteristik Komponen Kasein pada Susu Sapi .....	42
Tabel 8.1. Suhu Denaturasi Termal dan Rata-Rata Hidrofobisitas Protein .....	157

# BAB 1

## Pendahuluan

Protein didefinisikan sebagai senyawa organik kompleks yang terdiri dari kombinasi asam amino dalam ikatan peptida yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan biasanya sulfur. Protein tersebar luas pada tumbuhan dan hewan, dimana protein merupakan penyusun utama dari protoplasma semua sel dan protein memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan.

Protein berasal dari bahasa Yunani yaitu *proteos* yang memiliki arti “**utama atau sangat penting**”. Protein memainkan peran yang utama dalam sistem biologis karena berfungsi sebagai komponen struktural sel dan organisme kompleks serta sebagai zat pengatur. <sup>1</sup> Pada hewan, protein merupakan penyusun otot, kulit, rambut, dan jaringan pengikat. Pada tanaman, protein banyak terdapat dalam kotiledon biji. Enzim dan hormon juga disusun oleh protein.

<sup>2</sup> Protein merupakan zat sangat kompleks yang ada pada semua organisme hidup. Protein bernilai gizi dan terlibat langsung dalam proses kimiawi yang penting bagi kehidupan. Pentingnya protein diakui oleh para ahli kimia pada awal abad ke-19, termasuk ahli kimia Swedia Jons Jacob Berzelius, yang pada tahun 1838 memperkenalkan istilah protein. Sebuah kata yang berasal dari bahasa Yunani *proteios*, yang berarti “memegang tempat pertama”. Protein adalah spesies khusus, artinya protein satu spesies berbeda dari spesies lain. Demikian pula pada organ yang spesifik, misalnya dalam satu organisme, protein otot berbeda dari protein otak dan hati.



Gambar Jöns Jacob Berzelius Pencipta Istilah "Protein"  
(worldofchemicals.com)

<sup>2</sup> Molekul protein sangat besar dibandingkan dengan molekul gula atau garam dan terdiri dari banyak asam amino yang bergabung <sup>2</sup> membentuk rantai panjang, seperti manik-manik yang tersusun pada tali. Terdapat sekitar 20 asam amino berbeda yang terbentuk secara alami dalam protein. Protein dengan fungsi serupa memiliki susunan dan urutan asam amino yang serupa. Meskipun belum mungkin untuk menjelaskan semua fungsi protein dari urutan asam aminonya, terdapat korelasi antara struktur dan fungsi dapat dikaitkan dengan sifat-sifat asam amino yang menyusun protein.

<sup>1</sup> Protein mengandung C, H, O, N beberapa mengandung S, P, dan kadang-kadang Zn, Fe, Cu. Kadarnya bervariasi, dengan komposisi rata-rata berdasarkan berat/berat yaitu : 50%–55% karbon (C), 6%–7% hidrogen (H), 20%–23% oksigen (O), 12%–19% nitrogen (N), dan 0,2%–3,0% belerang (S). Protein adalah polimer yang sangat kompleks, terdiri dari 21 asam amino berbeda dan dihubungkan melalui ikatan amida yang tersubstitusi. Ikatan amida dalam protein adalah ikatan rangkap parsial.

1  
Apabila protein dihidrolisa oleh asam kuat atau basa kuat atau dengan pertolongan enzim tertentu, maka akan terdekomposisi sempurna menjadi komponen-komponen penyusunnya. Protein merupakan polipeptida, selain mengandung asam amino juga banyak mengandung bahan bukan asam amino seperti heme, derivat vitamin, lipida, dan karbohidrat. Protein yang mengandung senyawa lain selain asam amino disebut protein kompleks, sedangkan protein yang hanya mengandung asam amino saja disebut protein sederhana.

Contoh dari protein kompleks adalah nukleoprotein (ribosom), glikoprotein (ovalbumin dan  $\kappa$ -kasein), fosfoprotein ( $\alpha$ - dan  $\beta$ -kasein, kinase, dan fosforilase), lipoprotein (protein kuning telur dan beberapa protein plasma), dan metaloprotein (hemoglobin, mioglobin dan beberapa enzim).

Semua protein pada dasarnya terdiri dari 20 asam amino primer yang sama, namun beberapa protein tidak semuanya mengandung 20 asam amino. Perbedaan dalam struktur dan fungsi dari ribuan protein ini muncul dari urutan dimana asam amino dihubungkan bersama melalui ikatan amida. Miliaran protein dengan sifat yang unik dapat disintesis dengan mengubah urutan asam amino, jenis dan rasio asam amino, dan panjang rantai polipeptida.

Berbagai fungsi biologis yang dilakukan oleh protein mungkin tidak dapat dilakukan, tetapi karena adanya kompleksitas dari komposisinya sehingga memunculkan banyak bentuk struktural tiga dimensi dengan fungsi biologis yang berbeda. Berbagai fungsi biologis dari protein dapat dikategorikan sebagai katalis enzim, protein struktural, protein kontraktil (miosin, aktin, dan tubulin), hormon (insulin dan hormon pertumbuhan), protein transfer (serum albumin, transferin, dan

hemoglobin), antibodi (imunoglobulin), protein penyimpanan (albumen telur dan protein biji), dan protein pelindung (racun dan alergen).

Fungsi utama protein adalah untuk membentuk jaringan baru dan mempertahankan jaringan yang telah ada sebelumnya. Protein juga dapat berfungsi sebagai sumber energi apabila kebutuhan energi tubuh tidak terpenuhi oleh karbohidrat dan lemak. Nilai energi gizi protein (17 kJ/g atau 4 kkal/g) sama tingginya dengan karbohidrat.

<sup>1</sup> Sel hidup menghasilkan berbagai jenis makromolekul seperti protein, asam nukleat, dan polisakarida. Senyawa makromolekul tersebut berfungsi sebagai komponen struktural, biokatalisator, hormon, reseptor, dan sebagai tempat menyimpan informasi genetik. Dalam setiap sel yang hidup, protein merupakan bagian yang sangat penting. Pada sebagian jaringan tubuh, protein merupakan komponen terbesar setelah air, dimana diperkirakan separuh (50%) dari berat kering sel terdiri dari protein dan sekitar 20% dalam tenunan segar.

Protein memainkan peran mendasar tidak hanya dalam menopang kehidupan, tetapi juga dalam bahan pangan yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Semua protein yang diproduksi secara biologis dapat digunakan sebagai protein pangan. Protein pangan dapat didefinisikan sebagai protein yang mudah dicerna, tidak beracun, mencukupi gizi secara fungsional, dapat digunakan dalam produk pangan dan tersedia dalam jumlah melimpah. Susu, daging (termasuk ikan dan unggas), telur, sereal, kacang-kacangan, dan minyak sayur merupakan sumber utama protein pangan. Protein dalam bahan pangan yang dikonsumsi oleh manusia akan diserap pada usus dalam bentuk asam amino.

Tabel 1.1. Kandungan Protein dari Berbagai Jenis Kategori Produk Pangan

Bahan dan Produk Pangan	Kandungan Protein (%)
Daging dan produk daging	39,0
Produk biji-bijian	23,9
Susu dan produk susu	18,1
Sayuran	7,9
Telur	3,5
Seafood	2,6
Makanan ringan dan makanan manis	2,4
Buah-buahan	1,3
Lemak dan minyak	0,6
Minuman non-alkohol	0,4
Minuman beralkohol	0,3

(Gorska-Warsewicz, *et. al.*, 2018)

Konsentrasi protein dalam beberapa bahan pangan mentah terlalu rendah, selain itu karakteristik sensorik bahan seperti warna dan rasa kemungkinan tidak dapat diterima oleh konsumen atau terdapat unsur yang tidak diinginkan, sehingga beberapa produk pangan dibutuhkan fortifikasi protein. Contoh produk pangan yang difortifikasi oleh protein yaitu sereal, produk telur olahan setengah jadi, produk olahan susu dan produk olahan daging.

Selain kontribusinya terhadap sifat gizi makanan melalui penyediaan asam amino yang penting untuk kehidupan manusia, protein memberikan dasar struktural bagi berbagai sifat fungsional bahan pangan. Sifat fungsional protein dalam bahan pangan terkait dengan karakteristik struktural dan fisikokimia lainnya. Pemahaman mendasar tentang sifat fisik, kimia, nutrisi, fungsional dari protein dan perubahan sifat-sifatnya selama pengolahan sangat penting. Protein berkontribusi pada rasa dari bahan pangan dan merupakan prekursor untuk senyawa flavor dan warna yang terbentuk selama reaksi pemanasan atau enzimatis.



Tumbuhan dapat mensintesis semua asam amino, sementara hewan tidak bisa walaupun semuanya penting untuk kehidupan. Tanaman dapat tumbuh dalam media yang mengandung unsur hara anorganik yang menyediakan nitrogen, kalium, dan zat lain yang penting untuk pertumbuhan. Tumbuhan memanfaatkan karbondioksida di udara selama proses fotosintesis untuk membentuk senyawa organik seperti karbohidrat. Hewan harus memperoleh nutrisi organik dari sumber luar. <sup>2</sup> Kandungan protein pada organ hewan biasanya jauh lebih tinggi dibandingkan plasma darah. Misalnya, otot mengandung sekitar 30% protein, 20%-30% pada hati, dan 30% di sel darah merah. Persentase protein yang lebih tinggi ditemukan pada rambut, tulang, organ dan jaringan lain dengan kadar air rendah. <sup>2</sup> Jumlah asam amino dan peptida bebas pada hewan jauh lebih kecil dibandingkan jumlah proteinnya.

<sup>2</sup> Kandungan protein yang tinggi pada beberapa organ tidak berarti bahwa pentingnya protein terkait dengan jumlahnya dalam suatu organisme atau jaringan. Sebaliknya, beberapa protein terpenting, seperti enzim dan hormon terdapat dalam jumlah yang sangat kecil. Pentingnya protein terkait terutama dengan fungsinya. Semua enzim yang diidentifikasi sejauh ini adalah protein. Enzim yang merupakan katalisator dari semua reaksi metabolik memungkinkan organisme untuk membangun zat kimia yang diperlukan untuk kehidupan. Terdapat beberapa hormon <sup>2</sup> protein dengan fungsi pengaturan yang penting. Pada semua vertebrata, protein hemoglobin bertindak sebagai pembawa oksigen dalam darah, mengangkut oksigen dari paru-paru ke organ dan jaringan tubuh. Sekelompok besar protein struktural memelihara dan melindungi struktur tubuh hewan.

## 2. Sumber Protein Pada Bahan dan Produk Pangan

Protein dalam bahan pangan tidak hanya tersedia dalam satu jenis saja, berdasarkan sumbernya protein dalam bahan pangan <sup>1</sup> dibagi menjadi dua kelompok yaitu protein nabati dan protein hewani. Protein nabati merupakan protein yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, sedangkan protein hewani merupakan protein yang berasal dari hewan. Protein hewani memiliki mutu protein yang lebih baik daripada protein nabati.

Protein nabati yang akan dibahas yaitu protein kedelai ( $\beta$ -*conglycinin* dan *glycinin*), protein serealia (gluten), zein jagung, protein kacang tanah, bunga matahari dan canola. Sedangkan protein hewani yang akan dibahas di bab ini yaitu protein whey, kasein, protein daging, protein susu dan protein telur.

### 2.1 Protein Kedelai

Kacang kedelai (*soybean*) merupakan sumber protein nabati yang paling digemari karena kandungan proteinnya yang tinggi, namun harganya lebih terjangkau. Protein kedelai adalah protein nabati lengkap yang berkualitas karena berisi semua asam amino esensial, sangat tepat dijadikan sebagai sumber protein dan alternatif produk hewani untuk vegetarian murni atau untuk penderita *lactose intolerance*.

Protein kedelai adalah protein yang diisolasi dari kedelai. Terbuat dari bungkil kedelai yang telah dikupas dan dihilangkan lemaknya. Kedelai yang telah dikupas dan dihilangkan lemaknya diproses menjadi tiga jenis produk komersial

berprotein tinggi, yaitu: Isolat Protein Kedelai (IPK), konsentrat kedelai dan tepung kedelai.

Isolat protein kedelai telah digunakan sejak tahun 1959 dalam makanan karena sifat fungsionalnya. Isolat protein kedelai (IPK) adalah bentuk protein kedelai yang sangat halus atau murni dengan kandungan protein minimum 90%. IPK terbuat dari tepung kedelai tanpa lemak yang sebagian besar komponen non protein, lemak dan karbohidratnya dihilangkan. Oleh sebab itu, IPK memiliki rasa yang netral. Isolat kedelai terutama digunakan untuk memperbaiki tekstur produk daging, tetapi juga digunakan untuk meningkatkan kandungan protein, untuk meningkatkan retensi kelembaban, dan sebagai pengemulsi. Isolat protein kedelai murni digunakan terutama oleh industri makanan

Konsentrat protein kedelai adalah sekitar 70% protein kedelai dan pada dasarnya adalah tepung kedelai yang dihilangkan lemaknya tanpa karbohidrat yang larut dalam air. Konsentrat dibuat dengan menghilangkan sebagian karbohidrat (gula larut) dari kedelai yang dikupas dan dihilangkan lemaknya. Konsentrat protein kedelai mempertahankan sebagian besar serat kedelai asli, banyak digunakan sebagai bahan fungsional atau nutrisi dalam berbagai macam produk makanan, terutama dalam makanan panggang, sereal untuk sarapan, dan beberapa produk daging. Konsentrat protein kedelai digunakan dalam produk daging dan unggas untuk meningkatkan retensi air dan lemak dan untuk meningkatkan nilai gizi (lebih banyak protein, lebih sedikit lemak). Konsentrat protein kedelai tersedia dalam berbagai bentuk: butiran, tepung dan serbuk kering. Konsentrat protein kedelai sangat cocok untuk anak-anak, wanita hamil dan menyusui dan orang tua, karena sangat mudah dicerna. Juga digunakan dalam makanan hewan peliharaan,

pengganti susu untuk bayi (manusia dan ternak) dan bahkan digunakan untuk beberapa aplikasi non-makanan.

Tepung kedelai dibuat dengan menggiling kedelai menjadi bubuk halus. Terdapat dalam tiga bentuk: utuh atau penuh lemak (mengandung minyak alami), dihilangkan lemaknya dengan kandungan protein 50% dan lecithinated (ditambahkan lesitin). Roti dengan ragi yang dibuat dengan tepung kedelai memiliki tekstur yang padat, karena tepung kedelai bebas gluten. Bubur jagung kedelai<sup>3</sup> mirip dengan tepung kedelai kecuali kedelai telah dipanggang dan dipecah menjadi potongan-potongan kasar. Kinako adalah tepung kedelai utuh panggang yang digunakan dalam masakan Jepang. Referensi paling awal yang diketahui tentang kinako berasal dari tahun 1540 M.

Kedelai mengandung protein penyimpanan Albumin 2S yang kecil namun sangat signifikan.<sup>3</sup> Kedelai juga mengandung protein biologis aktif atau metabolik, seperti enzim, inhibitor tripsin, hemaglutinin, dan protease sistein yang sangat mirip dengan papain. Protein penyimpanan kotiledon kedelai penting untuk nutrisi manusia, dapat diekstraksi paling efisien dengan air. Air ditambah alkali encer (pH 7-9), atau larutan natrium klorida (0,5-2 M 30-120 g/l) dari kedelai yang telah dikupas dan dihilangkan lemaknya yang hanya mengalami perlakuan panas minimal sehingga proteinnya mendekati asli atau tidak terdenaturasi.

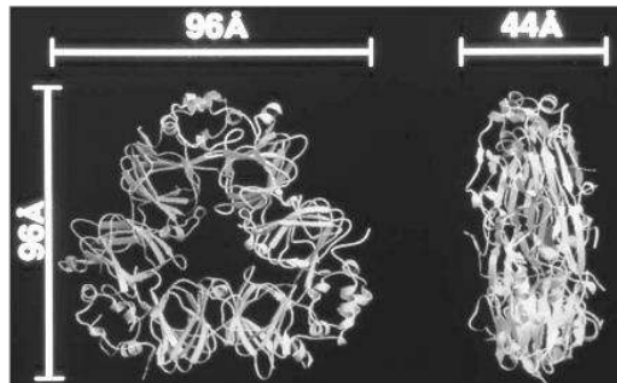
Sekitar 90% protein dalam kedelai terdapat dalam bentuk protein penyimpanan. Sebagian besar protein dalam kedelai<sup>2</sup> tidak larut dalam air tetapi larut dalam larutan garam netral encer. Dengan demikian, protein kedelai termasuk kedalam klasifikasi globulin. Protein kedelai bersifat globular dan diklasifikasikan menurut koefisien sedimentasinya, dimana sebagian besar terdiri dari  $\beta$ -conglycinin

dan  $\beta$ -glycinin.  $\beta$ -conglycinin memiliki koefisien sedimentasi 7S, sedangkan glycinin 11S. Ada dua jenis globulin yang memiliki koefisien sedimentasi 7S selain  $\beta$ -conglycinin, yaitu  $\gamma$ -conglycinin dan globulin 7S dasar. Namun, kedua globulin 7S ini merupakan komponen kecil yang jumlahnya sangat sedikit.

Baik  $\beta$ -conglycinin dan glycinin adalah protein yang terlipat dengan erat. Sementara tingkat hubungan silang disulfida  $\beta$ -conglycinin yang terbatas karena hanya dua hingga tiga kelompok sistein per molekul, dimana glycinin mengandung 20 ikatan disulfida intramolekul.

#### A. $\beta$ -conglycinin

$\beta$ -conglycinin merupakan suatu glikoprotein dan trimer yang terdiri dari tiga subunit dengan massa molekul  $150 \pm 200$  kDa. Sub unit utama adalah  $\alpha'$ ,  $\alpha$ , dan  $\beta$  dan berat molekulnya masing-masing adalah 72, 68, dan 52 kDa.



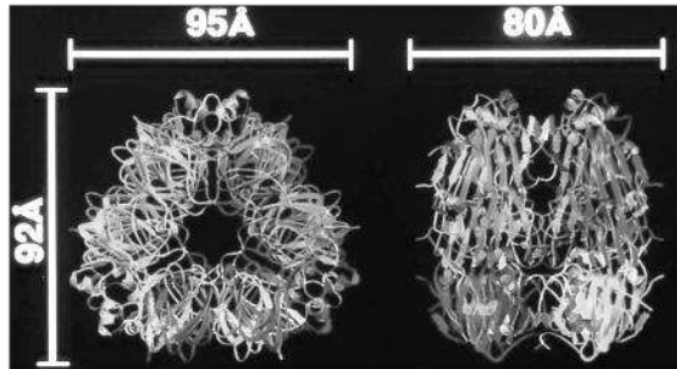
Gambar 2.1. Struktur Tiga Dimensi  $\beta$ -conglycinin  $\beta$ -homotrimer

(Sumber : Fukushima, 2004)

Selain itu, ada subunit minor yang disebut  $\gamma$  di  $\beta$ -conglycinin. Urutan asam amino dari sub unit ini serupa satu sama lain. Masing-masing sub unit  $\alpha'$  dan  $\alpha$  memiliki satu residu sistein (-SH) di dekat N-terminal, sedangkan sub unit  $\beta$  tidak memiliki residu sistein. Tidak ada residu sistin (-SS-) di sub unit ini.

## B. Glycinin

Glycinin adalah hexamer dengan massa molekul sekitar 300-380 kDa. Setiap sub unit terdiri dari polipeptida asam dengan berat molekul sekitar 35 kDa dan basa dengan berat molekul sekitar 20 kDa, yang dihubungkan bersama oleh ikatan disulfida.



Gambar 2.2. Struktur Tiga Dimensi  $\beta$ -glycinin  $A_3B_4$  homoheksamer  
(Sumber : Fukushima, 2004)

Dalam glycinin, terdapat lima sub unit diidentifikasi sebagai berikut.:

1.  $A_{1a}B_{1b}$ , dengan berat molekul 53.6 kDa
2.  $A_2B_{1a}$ , dengan berat molekul 52.4 kDa
3.  $A_{1b}B_2$ , dengan berat molekul 52.2 kDa
4.  $A_5A_4B_3$ , dengan berat molekul 61.2 kDa
5.  $A_3B_4$ , dengan berat molekul 55.4 kDa

Kelimaanya diklasifikasikan menurut tingkat homologinya ke dalam 2 kelompok yaitu kelompok I yang terdiri dari  $A_{1a}B_{1b}$ ,  $A_2B_{1a}$ , dan  $A_{1b}B_2$  serta kelompok II yang terdiri dari  $A_5A_4B_3$  dan  $A_3B_4$ . Setiap sub unit dalam kelompok I memiliki dua residu sistein dan tiga sistin, sedangkan setiap sub unit dalam kelompok II memiliki dua residu sistein dan dua sistin. Sub unit glycinin

menunjukkan polimorfisme, yaitu terdapat beberapa pengganti asam amino dalam jenis sub unit yang sama diantara kultivar kedelai.

Selain itu, glycinin menunjukkan heterogenitas molekuler karena *glycinin* merupakan heksamer dengan komposisi sub unit yang berbeda. *Glycinin* heksamer berdisosiasi ke polipeptida penyusunnya, sub unit, dan setengah molekulnya, tergantung pada pH, kekuatan ionik, dan suhu pemanasan.

Tabel 2.1. Sifat Fungsional Protein Kedelai dan Sub Unitnya dalam Bahan Pangan

Fungsi	Protein atau sub unit protein kedelai	Sifat Fungsional
Pembentukan gel	$\beta$ -conglycinin	Transparan, lembut, tetapi agak elastis
	Glycinin	Keruh, keras dan tidak terlalu rapuh
	Sub unit $A_2B_{1a}$	Poli-peptida $A_2$ menyebabkan kekerasan gel
	Sub unit $A_3B_4$	Poli-peptida $A_3$ menyebabkan kekerasan gel
	Sub unit $A_5A_4B_3$	Sub unit ini mempermudah pembentukan gel
Stabilitas panas	Protein penyimpanan kedelai	Glycinin lebih tahan panas dibandingkan $\beta$ -conglycinin
	Sub unit $\beta$ -conglycinin	$\alpha < \alpha' < \beta$
Emulsifikasi	Protein penyimpanan kedelai	$\beta$ -conglycinin tinggi dibandingkan glycinin
	Sub unit $\beta$ -conglycinin	$\alpha \geq \alpha' \gg \beta$

(Sumber : Fukushima, 2004)

## 2.2 Protein Serealia

Serealia atau biji-bijian merupakan salah satu tanaman pangan yang terpenting di dunia dan kebanyakan produk serealia merupakan makanan pokok

karena serealialia merupakan sumber karbohidrat, terutama pati. Beberapa serealialia dikonsumsi sebagai benih misalnya: beras, oat, sorgum dan jagung, sebagai tepung misalnya: gandum, jagung, beras dan sebagai *flakes* misalnya: oat dan jagung. Biji serealialia merupakan struktur kompleks yang dibentuk oleh banyak komponen individu dan bagian anatomi yang berbeda. Inti (*caryopsis*) terbagi menjadi tiga wilayah anatomi, yaitu sekam, embrio dan endosperma.

Tabel 2.2. Beberapa Serealialia yang Menjadi sumber Protein

Genus	Spesies	Nama umum	Kandungan Protein (% berat kering)
<i>Triticeae</i>	<i>Triticum aestivum</i>	Gandum	8,0-17,5
	<i>Triticum durum dsf</i>	Gandum durum	
	<i>Triticum spelta</i>	Spelt	
	<i>Triticum monococcum</i>	Einkorn	
	<i>Triticum dicoccum</i>	Emmer	7,0-14,0
	<i>Secale cereale</i>	Rye	7,0-14,6
	<i>Hordeum vulgare</i>	Barley	11,7-16,3
	<i>Triticosecale</i>	Triticale	
<i>Avenae</i>	<i>Avena sativa</i>	Oat	8,7-16,0
<i>Oryzae</i>	<i>Oryza sativa</i>	Beras	7,0-10,0
<i>Paniceae</i>	<i>Pennisetum</i>	Millet	
<i>Maydeae</i>	<i>Zea mays</i>	Jagung	8,8-11,9
<i>Andropogoneae</i>	<i>Sorghum</i>	Sorghum	

(Sumber : Guerrieri, 2004)

Sekam terbentuk oleh pericarp, testa, lapisan nucellar dan lapisan aleuron. Sekam mengandung serat (pentosan, hemiselulosa,  $\beta$ -glukan selulosa, dan glukofruktan), abu (mineral), enzim, vitamin dan protein penyimpanan globulin. Dalam sereal kecil, aleuron dan embrio hanya sebesar 10% dari berat kering biji-



bijian dan biasanya dihilangkan dengan penggilingan (gandum), pemolesan (beras), pembuatan mutiara (barley) atau dekortikasi (sorgum) sebelum dikonsumsi. Embrio jagung terdapat sekitar 10%-11% dari biji jagung, serta kandungan protein dan minyaknya yang tinggi penting untuk nutrisi.

Protein sereal diklasifikasikan ke dalam empat kelas protein, yaitu :

1. Albumin yang larut dalam air
2. Globulin yang larut dalam garam
3. Prolamin yang larut dalam campuran alkohol / air
4. Glutelin yang larut dalam asam encer atau alkali.

Klasifikasi protein penyimpanan didasarkan pada ekstraksi sekuensial Osborne dan kelarutan yang berbeda. Fraksinasi Osborne merupakan tonggak penting dalam pengembangan kimia sereal, tetapi masing-masing fraksi ini merupakan campuran kompleks dari polipeptida yang berbeda dengan kelarutan yang serupa, khususnya untuk polipeptida gliadin dan glutenin berat molekul rendah.

Komposisi asam amino pada sereal berkorelasi dengan gen tumbuhan sereal. Komposisi asam amino pada gandum, gandum hitam dan barley sama. Komposisi prolamin gandum adalah perantara antara *Triticeae* (spesies gandum) dan sereal lainnya. Oat dan beras mengandung sekitar 70%-80% globulin dan berbeda dari biji-bijian sereal lainnya yang mengandung prolamin dalam jumlah lebih tinggi (yaitu polimer larut alkohol dan tidak larut alkohol).

Prolamin lebih bervariasi dalam struktur dan urutan dibandingkan globulin. Ada kemungkinan bahwa kelompok utama prolamin di *Triticeae* (gandum, barley, rye) dan jagung, sorgum, millet memiliki asal-usul evolusi yang terpisah. Prolamin

merupakan sekelompok monomer heterogen yang larut dalam alkohol 70% atau alkohol dan campuran lain dalam keadaan aslinya. Kebanyakan prolamin memiliki dua ciri struktural umum, yaitu adanya daerah atau domain berbeda yang mengadopsi struktur berbeda dan mungkin memiliki asal berbeda. Ciri-ciri ini menyebabkan tingginya proporsi glutamin, prolin dan asam amino spesifik lainnya (yaitu histidin, glisin, metionin, fenilalanin).

Albumin yang larut dalam air dan globulin yang larut dalam garam merupakan enzim yang terlibat dalam aktivitas metabolisme, tetapi beberapa diantaranya memiliki fungsi yang tidak diketahui dan tidak dikarakterisasi dengan baik. Berat molekulnya lebih rendah daripada prolamin, yaitu sekitar < 30.000 Da, komposisi asam aminonya berbeda dari protein gluten, banyak mengandung lisin dan sedikit mengandung asam glutamat.

Tabel 2.3. Komposisi Asam Amino pada Beberapa Tepung Serealia (protein total, mol %)

Asam Amino	Gandum	Rye	Barley	Oat	Jagung	Millet	Beras
Aspargin + asam aspartat	4,2	6,9	4,9	8,1	5,9	7,7	8,8
Treonin	3,2	4,0	3,8	3,9	3,7	4,5	4,1
Serin	6,6	6,4	6,0	6,6	6,4	6,6	6,8
Glutamin + asam glutamat	31,1	23,6	24,8	19,5	17,7	17,1	15,4
Prolin	12,6	12,2	14,3	6,2	10,8	7,5	5,2
Glisin	6,1	7,0	6,0	8,2	4,9	5,7	7,8
Alanin	4,3	6,0	5,1	6,7	11,2	11,2	8,1
Sistein	1,8	1,6	1,5	2,6	1,6	1,2	1,6
Valin	4,9	5,5	6,1	6,2	5,0	6,7	6,7
Metionin	1,4	1,3	1,6	1,7	1,8	2,9	2,6
Isoleusin	3,8	3,6	3,7	4,0	3,6	3,9	4,2

Leusin	6,8	6,6	6,8	7,6	14,1	9,6	8,2
Tirosin	2,3	2,2	2,7	2,8	3,1	2,7	3,8
Fenilalanin	3,8	3,9	4,3	4,4	4,0	4,0	4,1
Histamin	1,8	1,9	1,8	2,0	2,2	2,1	2,2
Lisin	1,8	3,1	2,6	3,3	1,4	2,5	3,3
Arginin	2,8	3,7	3,3	5,4	2,4	3,1	6,4
Triptofan	0,7	0,5	0,7	0,8	0,2	1,0	0,8
Kelompok amida	31,0	24,4	26,1	19,2	19,8	22,8	15,7

(Sumber : Guerrieri, 2004)

### **Protein Pada Gandum**

Protein gandum adalah salah satu protein nabati (bersama dengan kacang kedelai) yang paling umum digunakan dalam produk daging. Tingkat protein produk gluten gandum jadi biasanya 75%-82% (basis kering). Gluten gandum sangat penting perannya, yaitu menjadikan produk pangan memiliki tekstur yang khas. Contohnya gluten gandum dapat digunakan dalam produk daging. Saat terhidrasi, gluten gandum bertekstur memiliki struktur berserat yang dapat disesuaikan untuk menyerupai tampilan dan tekstur daging sapi, ayam, atau babi. Strukturnya memiliki kapasitas pengikat air yang sangat baik.

Fungsi protein gluten tergantung pada sumber gandum dan proses persiapannya (pemisahan, pengeringan, ekstrusi, dll.). Protein gluten sangat cocok untuk digunakan sebagai aditif non-daging dalam produk daging karena sifat fungsionalnya yang unik. Ketika protein tersebut dicampur dengan air, maka akan membentuk massa viskoelastik. Bagi industri daging, yang paling penting adalah karakteristik gluten memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan miosin. Gluten gandum telah digunakan dalam produk daging sebagai pengikat, pengisi,

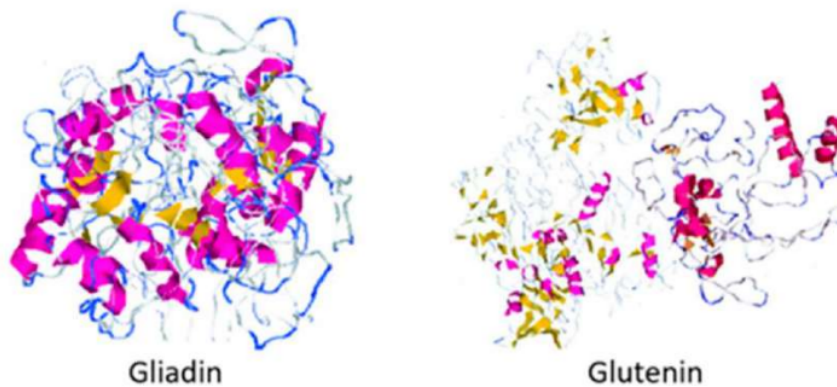
atau pemanjangan. Ketika ditambahkan ke produk daging yang dihaluskan seperti frankfurter dan bologna, maka akan meningkatkan hasil pemanasan/pemasakan, kapasitas menahan air, dan stabilitas adonan. Pada daging yang telah direstrukturisasi telah memberikan beberapa manfaat, seperti peningkatan viskoelastisitas, stabilitas warna, kekencangan, *juiciness*, dan retensi kelembaban. Gluten gandum bertekstur telah digunakan pada berbagai produk daging misalnya burger, nugget, dll. Selain itu digunakan pula untuk meningkatkan sifat fisik dan persepsi rasa roti atau nugget. Protein gandum berpotensi menjadi bahan non-daging yang baik untuk digunakan sebagai pemanjangan atau pengikat pada daging cincang rendah lemak.

Gluten merupakan protein yang berasal dari gandum. Semua gandum seperti barley, rye, spelt dan persilangan antara gandum dan rye yang disebut *triticale* adalah tanaman yang mengandung gluten. Gluten merupakan kompleks yang terdiri dari kombinasi molekul gliadin dan glutenin polipeptida dengan beberapa komponen lipid dan karbohidrat. Jenis protein yang terdapat pada gandum adalah albumin, globulin, prolamin, gliadin dan glutenin. Kadar gliadin dan gluteninnya sekitar 8%. Apabila gliadin dan glutenin ini membentuk adonan yang kuat dengan penambahan air dan garam, maka dinamakan **protein gluten**. Protein gluten (gliadin dan glutenin) memainkan peran penting dalam menentukan kualitas tepung terigu, karena gliadin terutama berkontribusi pada viskositas dan ekstensibilitas adonan, sedangkan glutenin untuk kekuatan dan elastisitas adonan (Wieser, 2007).

Gliadin dan glutenin bersama-sama mewakili sekitar 80% dari total protein dalam tepung terigu. Gliadin dan glutenin adalah penentu terpenting dari sifat

fungsional tepung terigu. Sifat adonan yang ideal bergantung pada keseimbangan yang tepat antara gliadin (berkontribusi pada viskositas adonan) dan glutenin (berkontribusi pada kekuatan dan elastisitas adonan). Kombinasi unik dari sifat-sifat ini yang terdiri dari sifat fungsional adonan Protein albumin dan globulin kurang penting untuk peningkatan kualitas pada pembuatan roti dibandingkan protein gluten.

Gliadin dan glutenin berbeda dalam ciri fisik, khususnya sifat viskoelastisitasnya. Gliadin bersifat kohesif tetapi memiliki elastisitas yang rendah, sementara glutenin bersifat kohesif dan elastis. Selain itu, gliadin larut dalam etanol 70%, sedangkan glutenin tidak larut. Gliadin memiliki mr sekitar 30.000-75.000 Da. Menurut mobilitas elektroforesis, gliadin gandum dibagi menjadi empat kelompok  $\alpha$ -gliadin yang memiliki mobilitas tercepat dan  $\beta$ -gliadin,  $\gamma$ -gliadin dan  $\omega$ -gliadin yang memiliki mobilitas terendah.



Gambar. Struktur Protein Gliadin dan Glutenin (Rashid *et. al.*, 2014)

$\omega$ -Gliadin dicirikan oleh kadar glutamin, prolin dan fenilalanin yang tinggi yang mewakili 80% asam amino. Gliadin Memiliki enam sistein yang membentuk tiga ikatan disulfida intramolekuler, domain non-repetitif kaya akan  $\alpha$ -heliks,

domain berulang tidak beraturan jika dibandingkan dengan  $\gamma$ -gliadin. Dalam  $\gamma$ -gliadin delapan sistein membentuk ikatan disulfida intra rantai, dimana sistein ini terletak pada domain non-repetitif C-terminal dan posisinya dipertahankan.

Glutenin tersusun atas rantai polipeptida tunggal yang diikat oleh ikatan disulfida intermolekuler. Glutenin dapat dikelompokkan menjadi dua sub unit berdasarkan berat molekul, yaitu sub unit dengan berat molekul antara 100 kDa – 140 kDa yaitu *High Molecular Weight* glutenin (HMW-glutenin) dan sub unit dengan berat molekul kurang dari 100 kDa yaitu *Low Molecular Weight* glutenin (LMW-glutenin).

Glutenin merupakan campuran heterogen polimer yang dibentuk oleh polipeptida ikatan disulfida yang dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok sesuai dengan mobilitas molekulnya setelah reduksi (daerah A-B-C-D). Daerah A yaitu HMW-glutenin dengan BM sekitar 80.000-120.000 Da, daerah B sekitar 42.000-51.000 Da dan daerah C sekitar 30.000-40.000 Da yang merupakan LMW-glutenin,  $\gamma$ -gliadin dan  $\alpha/\beta$ -gliadin, dan daerah D yaitu  $\omega$ -gliadin dan LMW-glutenin.

Sub unit HMW terdiri dari sekitar 630-830 residu asam amino dengan BM sekitar 67.000-88.000 Da dan terdiri dari domain yang berbeda. Domain N-terminal yang terdiri dari sekitar 81-104 residu asam amino dan berisi lima sistein dalam tipe-y dan tiga sistein dalam tipe-x, serta domain terminal-C di mana hanya ada satu sistein. HMW-glutenin (hanya memiliki satu sistein dalam domain N-terminal, bukan tiga dan satu sistein dalam domain C-terminal. Perbedaan ini dapat mempengaruhi penggabungan polipeptida dalam kompleks gluten dan pada pembentukan jaringan.

LMW-glutenin (sub unit B-C-D) mewakili sekitar 60% dari total glutenin, tetapi sulit diidentifikasi karena tumpang tindih antara LMW-GS dan gliadin. Sedangkan HMW-glutenin adalah komponen kecil dalam jumlahnya, tetapi HMW-glutenin merupakan faktor kunci dalam pembuatan roti karena merupakan penentu utama elastisitas gluten dan terdapat dalam gandum. Beberapa HMW-glutenin telah dikaitkan dengan kualitas pembuatan roti.

Protein gandum dan protein tepung terigu yang dihasilkan berhubungan langsung dengan volume roti. Finney dan Barmore (1948) menunjukkan hubungan antara kadar protein tepung dan volume roti. Dalam banyak kasus, petani gandum harus mengeluarkan biaya tambahan untuk protein tambahan pada proses penggilingan. Oleh sebab itu, kandungan protein ditentukan saat gandum tiba di tempat penggilingan dan merupakan parameter penting dalam keputusan pencampuran gandum. Secara umum, instrumen transmisi inframerah jarak dekat (NIR) digunakan di stasiun pembongkaran gandum untuk penentuan kadar protein. Instrumen transmisi NIR menganalisis sampel gandum tanpa perlu digiling. Bicsak (1995) menjelaskan prosedur yang digunakan oleh *U.S. Grain Inspection, Packers, and Stockyards Administration* (GIPSA) untuk mengkalibrasi instrumen transmisi NIR pada penentuan kadar protein menggunakan metode Dumas. Ketentuan umumnya bahwa perbedaan antara protein gandum dan protein tepung yang dihasilkan sebesar 1%.

Agar produk dianggap bebas gluten, konsentrasi protein tidak boleh melebihi nilai yang ditetapkan oleh badan pengatur pemerintah terkait. Sebuah produk dapat diberi label bebas gluten di Amerika Serikat dan Eropa, jika mengandung kurang dari 20 mg / kg gluten. Sementara itu di negara lainnya seperti Meksiko, produk

bebas gluten dapat diberi label selama protein kompleks dihilangkan dan total kandungan nitrogen tidak melebihi 500 mg/kg yang dinyatakan dalam bahan kering. Karena konsentrasi gluten yang rendah atau nol ini, roti bebas gluten tidak dapat mereproduksi sifat yang sama dibandingkan dengan roti dari tepung mengandung gluten, yang berarti produk akan berkualitas lebih rendah.

### 2.3 Protein *Oilseed*

Terdapat banyak tanaman penghasil minyak yang memiliki potensi sebagai sumber protein. Beberapa tanaman penghasil minyak umumnya belum dianggap sebagai sumber utama protein pangan, namun banyak tanaman penghasil minyak yang mengandung protein dengan kadar yang cukup tinggi. Protein yang ditemukan pada biji seperti ini diklasifikasikan sebagai aktif secara biologis (misalnya enzim), struktural atau penyimpanan. Protein penyimpanan adalah protein utama dalam biji.

Beberapa tanaman yang termasuk dalam kelompok tanaman penghasil minyak ini adalah kacang kedelai, canola (*rapeseed*), bunga matahari, *safflower*, kacang tanah, jagung, biji kapas, wijen, rami bahkan linen. Sumber protein yang paling terkenal dari tanaman penghasil minyak adalah kacang kedelai.

Tabel. Tumbuhan Penghasil Minyak yang Menjadi Sumber Protein

Nama Latin	<i>Oilseed</i>	Protein penyimpanan yang utama
Spesies <i>Brassica</i>	Canola	Cruciferin atau protein 12S
<i>Zea mays L.</i>	Jagung	Zein jagung
Spesies <i>Gossypium</i>	Biji kapas	Protein 11S
<i>Linum usitatissimum L.</i>	Biji linen	Protein 12S
<i>Cannabis sativa L.</i>	Biji rami	Protein 12S



<i>Arachis hypogaea L.</i>	Kacang Tanah	Arachin
<i>Carthamus tinctorius L.</i>	Safflower	Carmin
<i>Sesamum indicum</i>	Biji wijen	$\alpha$ -globulin
<i>Glycine max</i>	Kedelai	Glycinin
<i>Helianthus annuus</i>	Biji bunga matahari	Helianthin

(Sumber : Arntfield, 2004)

Semua tanaman mengandung campuran protein albumin (larut dalam air), globulin (larut garam) dan glutelin (larut alkali). Hampir semua protein ini mengandung empat fraksi protein yang sama dengan koefisien sedimentasi 2S, 7S, 11S (12S) dan 15S, kecuali spesies *Brassica* yang tidak memiliki fraksi 15S. Dua fraksi protein utama adalah 11S dan 2S, dengan 7S dianggap mewakili produk hasil disosiasi fraksi 11S. Kesamaan protein 11S dalam minyak sayur serta kacang-kacangan telah menjadi subyek beberapa penelitian. Protein-protein ini memiliki bobot molekul, sub unit, profil asam amino dan struktur sekunder yang serupa. Namun, protein *oilseed* ini menunjukkan perbedaan yang berbeda dalam hal struktur tersier dan sifat permukaan.

### 2.3.1 Zein Jagung

Jagung merupakan tanaman penghasil minyak yang merupakan sumber karbohidrat dan sekaligus sumber protein, terutama bagi masyarakat yang pangan pokoknya berbasis jagung. Kandungan protein pada biji jagung cukup tinggi yaitu sekitar 8%-11%, namun kualitas protein jagung pada umumnya jauh dibawah kualitas protein beras. Hal ini disebabkan protein jagung kekurangan dua asam amino, yaitu lisin dan triptofan.

Protein jagung telah diidentifikasi sebagai sumber penting peptida bioaktif. Peptida semacam itu dapat dilepaskan selama hidrolisis yang diinduksi oleh enzim

proteolitik atau fermentasi mikroba. Peptida jagung telah ditemukan, menunjukkan fungsi yang berbeda secara *in vitro* dan *in vivo* seperti antihipertensi, hepatoprotektif, anti-obesitas, antimikroba, antioksidan, pengikat mineral dan mempercepat metabolisme alkohol. Sampai saat ini, 22 urutan peptida jagung bioaktif telah diidentifikasi. Telah terjadi peningkatan minat secara komersial pada produksi peptida jagung dengan tujuan menggunakannya sebagai bahan aktif yang dapat digunakan dalam pengobatan hipertensi, karies gigi, stres oksidatif, malabsorpsi mineral dan obesitas. Peptida bioaktif ini dapat digunakan dalam formulasi makanan fungsional, nutraceuticals, dan obat-obatan alami karena efeknya yang bermanfaat untuk kesehatan.

Zein adalah protein penyimpanan utama jagung dan terdiri dari 45%-50% protein dalam jagung. Protein zein pertama kali diidentifikasi pada tahun 1897 berdasarkan kelarutannya dalam larutan alkohol berair. Isolat Zein tidak digunakan secara langsung untuk konsumsi manusia karena keseimbangan nitrogen negatif dan kelarutan yang buruk dalam air. Produksi zein saat ini dibatasi hingga 500 ton per tahun dalam bentuk tepung gluten jagung. Kemampuan zein dan resinnya untuk membentuk lapisan tahan minyak sangat kuat, mengkilap, hidrofobik, dan ketahanannya terhadap serangan mikroba telah menjadi perhatian untuk dikomersialisasikan. Aplikasi protein zein diantaranya sebagai serat, perekat, pelapis, keramik, tinta, kosmetik, tekstil, permen karet dan plastik *biodegradable*.

Fraksi prolamin pada jagung dikenal sebagai zein. Zein dibagi menjadi 2 fraksi yaitu  $\alpha$ -zein (80%) yang larut dalam 95% etanol dan  $\beta$ -zein yang terdiri dari oligomer dengan berat molekul tinggi. Alfa ( $\alpha$ ) zein terdiri atas monomer-monomer dan rangkaian oligomer dengan ikatan disulfida yang berat molekulnya bervariasi.

Tiga asam amino primer yang terdapat pada zein adalah glutamin (21%-26%), leusin (20%) dan prolin (10%).

### 2.3.2 Protein Kacang Tanah

Kacang tanah (*Arachis hypogaeae L.*) yang juga dikenal sebagai kacang monyet dan *Manilanut* tanah merupakan salah satu sumber minyak nabati dan protein nabati terpenting di dunia. Kandungan protein kasar dari kacang tanah dengan biji utuh berkisar antara 22%-30% tergantung dari genotipe dan lingkungan dari kacang tanah. Kacang telah dikenal sebagai sumber protein yang berharga sejak tahun 1800-an. Selain itu, selai kacang menjadi sangat dihargai selama Perang Dunia II ketika daging tidak tersedia. Satu ons porsi kacang (kira-kira segenggam) dianggap sebagai sumber protein yang baik berdasarkan Database Nutrisi Departemen Pertanian Amerika Serikat. Kacang menyediakan 7 gram protein nabati berkualitas tinggi.

Kacang diklasifikasikan sebagai legum secara botani dan kacang yang banyak mengandung gizi. Kacang tanah mengandung lebih banyak protein dibandingkan kacang lainnya, dengan kadar yang sebanding atau lebih baik dari satu porsi kacang. Karena termasuk bahan pangan nabati, kacang tanah membawa serta komponen tambahan yang bermanfaat bagi kesehatan, seperti serat dan bioaktif unik, tidak seperti pada protein hewani. Kacang tanah mengandung asam amino arginin tinggi, yang merupakan salah satu bahan penyusun protein. Asam amino ini sebagai prekursor oksida nitrat, senyawa yang melebarkan pembuluh darah yang dapat membantu menurunkan tekanan darah dan mengurangi risiko penyakit jantung.

Konsentrat protein kacang tanah memiliki kandungan protein kasar sebesar 70,2%, tetapi pola asam amino dari konsentrat protein kacang tanah tidak seimbang dan tidak mengandung lisin, treonin, metionin dan triptofan. Protein kacang tanah umumnya dianggap memiliki kualitas gizi yang rendah, karena beberapa asam amino esensial terdapat dalam jumlah yang terbatas, misalnya asam amino lisin, triptofan, treonin dan asam amino yang mengandung sulfur. Walaupun protein kacang tanah kekurangan asam amino esensial tertentu, tetapi daya cernanya sebanding dengan daya cerna protein hewani.

Kacang tanah adalah biji minyak yang penting dan tepung kacang tanah yang dihilangkan lemaknya merupakan produk sampingan dari industri penggilingan minyak kacang tanah yang banyak mengandung protein. Protein ini terkonsentrasi sebagai *Peanut Protein Concentrate* (PPC) dan *Isolat Soy Protein* (ISP), masing-masing sekitar 80%-85% dan lebih dari 90% protein. Protein kacang tanah dapat diekstraksi untuk peptida bioaktif, hidrolisat dan juga dapat diubah menjadi protein bertekstur seperti daging analog dan *edible packaging* (kemasan yang dapat dimakan/film kemasan). Sifat fungsional yang menguntungkan dari protein kacang tanah seperti aktivitas pengemulsi, stabilitas pengemulsi, kapasitas pembusaan, retensi air yang sangat baik dan kelarutan yang tinggi menjadikannya bermanfaat pada berbagai sistem makanan. Berbagai metode ekstraksi seperti presipitasi isoelektrik, presipitasi air, presipitasi isoelektrik, presipitasi alkohol, Ultrafiltrasi (UF) dan kombinasi keduanya digunakan untuk pembuatan PPC dan ISP. Protein kacang tanah dapat bersaing dengan protein hewani dan tumbuhan lainnya dengan semua manfaat kesehatan dan sifat fungsional yang diperlukan

untuk sistem pangan. Ada ruang lingkup yang sangat luas dalam mengeksplorasi protein kacang tanah sebagai sumber protein vegan (non hewani) bagi vegetarian.

Kacang juga merupakan makanan dengan indeks glikemik (GI) rendah. Indeks glikemik adalah skala yang digunakan untuk mengukur gula darah dan lonjakan insulin setelah mengonsumsi karbohidrat dalam jumlah yang sama dari makanan yang berbeda dan hal ini sangat penting bagi penderita diabetes. Makanan rendah GI lebih sehat karena dicerna lebih lambat dan melepaskan gula secara bertahap ke dalam aliran darah. Kandungan GI diukur pada skala 100 poin, dimana angka 100 mewakili makanan GI tertinggi. Kacang tanah mengandung GI hanya 14, yaitu sekitar setengah dari yang ditemukan pada kacang-kacangan lain seperti buncis. Makanan GI rendah seperti kacang juga telah terbukti secara signifikan meningkatkan kontrol glukosa pada pasien diabetes. Faktanya, mengonsumsi kacang dan selai kacang saat sarapan telah terbukti dapat mencegah lonjakan gula darah dan membantu menekan nafsu makan menjelang makan siang.

### 2.3.3 Protein Biji Bunga Matahari

Biji bunga matahari merupakan sumber minyak dan protein yang penting, terutama di Eropa yang merupakan produsen terbesar di dunia. Produksi biji bunga matahari dunia menurut Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) pada tahun 2020 mencapai 51,38 juta metrik ton dengan 75% dari produksi terkonsentrasi di Ukraina, Rusia dan Uni Eropa. Produksi Bunga Matahari pada tahun 2020 menjadikannya minyak sayuran peringkat ke-3 di dunia setelah kedelai dan lobak.

Biji bunga matahari biasanya diproses dalam ekstraksi minyak untuk menghasilkan minyak berkualitas tinggi terutama untuk aplikasi makanan dan

bahan padat sisa yang secara tradisional dikenal sebagai tepung bunga matahari, karena kandungan minyaknya yang tinggi. Proses penghancuran minyak biasanya terdiri dari langkah persiapan, dimana biji dibersihkan, dikeringkan, sering dikupas, diolah secara termal dan langkah ekstraksi. Dalam banyak kasus diekstraksi dengan pelarut.

Meskipun kandungan lisin yang relatif rendah dan energi yang dapat dimetabolisme, tepung bunga matahari dianggap sebagai sumber protein yang baik oleh industri pakan karena ketersediaan proteinnya yang tinggi dan rendahnya jumlah zat anti gizi. Tepung bunga matahari dapat digunakan secara efektif untuk menggantikan bungkil kedelai pada unggas.

Selama dekade terakhir, minyak biji bunga matahari semakin banyak digunakan dalam aplikasi makanan karena manfaat nutrisi dan kesehatannya secara umum. Tepung bunga matahari dapat diaplikasikan dalam berbagai pembuatan roti, mengingat komposisi spesifiknya. Tepung bunga matahari banyak mengandung protein, serat, mineral, vitamin dan merupakan sumber anti oksidan yang baik.

Dalam biji bunga matahari, terdapat beberapa protein *oilseed* dengan karakteristik yang unik. Pertama adalah protein 2S dengan berat molekul rendah. Protein 2S ini berikatan dengan asam klorogenat tanpa mengubah berat molekulnya secara signifikan. Hal ini mengakibatkan adanya produksi warna yang tidak diinginkan pada produk pangan. Fraksi dengan berat molekul rendah ini terdiri dari delapan rantai polipeptida, dengan berat molekul polipeptida sekitar 10.000-18.000. Dua dari rantai ini memiliki kadar metionin (16%) dan sistin (8%) yang lebih tinggi dari biasanya. Kadar asam amino yang mengandung sulfur yang tinggi dalam

komponen ini sangat penting untuk nilai gizi dan fungsional dari isolat protein yang dihasilkan, karena protein ini sering menjadi komponen dalam isolat protein.

Protein oleosin juga ditemukan pada bunga matahari. Oleosin memiliki berat molekul sekitar 15.000-20.000 yang berikatan dengan minyak di dalam biji dan terdapat sebesar 14%. Oleosin memiliki inti hidrofobik dari sekitar 70-80 residu yang diapit oleh domain terminal C dan N polar. Oleosin tidak dipertimbangkan pada pembuatan isolat protein dari bunga matahari, karena oleosin ini terdapat dalam jumlah kecil. dan berhubungan dengan badan minyak, yaitu *Canola/Rapeseed*. Protein canola merupakan protein atau albumin yang larut dalam air tingkat tinggi, dan kandungannya sekitar 45%-50% dari total protein. Globulin, yang merupakan protein paling umum di sebagian besar tanaman penghasil minyak lainnya mewakili sekitar 25% protein. Hanya 87% nitrogen terdapat dalam bentuk protein, dengan sisanya terdapat sebagai peptida yang larut dalam air dan asam amino bebas. Titik isoelektrik dari protein canola yaitu sekitar pH 7, sedangkan protein *oilseed* lainnya memiliki titik isoelektrik sekitar pH 4,5-5.

Dalam berbagai varietas *canola/rapeseed*, perbedaan utama dari masing-masing varietas dilihat dari protein metaboliknya. Pada protein penyimpanan, perbedaannya terlihat pada protein 2S. Canola juga mengandung protein yang bukan protein penyimpanan seperti protein pengikat yaitu *myroinase* yang memiliki berat molekul sekitar 50.000-52.000.

## **2.4 Protein Daging**

Berdasarkan karakteristik kelarutannya, protein daging dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu protein sarkoplasma, myofibril dan stroma. Protein daging

menyusun masing-masing sekitar 35%, 60% dan 15%, dari sekitar 1.000 atau lebih protein total yang ada di jaringan otot.

(a) Sarkoplasma

Fraksi protein sarkoplasma terdiri dari setidaknya 500 protein individu, termasuk banyak enzim metabolik, dan sarkoplasma yang larut dalam air & larutan garam encer. Sebagian besar protein sarkoplasma berstruktur bola dengan kepadatan tinggi rantai samping polar dan bermuatan yang terbuka. Sarkoplasma terdiri dari pigmen, hemoglobin, mioglobin dan beraneka ragam enzim.

(b) Hemoglobin

Hemoglobin adalah molekul heme dan rantai polipeptida globin ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan  $\delta$ ) dalam sel eritrosit yang mengandung hampir dua per tiga kebutuhan tubuh. Terdapat 141 molekul asam amino pada rantai alfa, dan 146 mol asam amino pada rantai beta, gama dan delta. Sebuah sel eritrosit dapat mengangkut sekitar 250 juta molekul hemoglobin.

Hemoglobin merupakan gabungan dari *heme* dan *globin*. Heme adalah gugus prostetik yang terdiri dari atom besi, sedangkan globin adalah protein yang dipecah menjadi asam amino. Hemoglobin memainkan peran penting dalam pertukaran oksigen dan karbon dioksida, serta memberi pigmen merah pada darah.

(c) Mioglobin

Mioglobin adalah protein heme yang bertindak sebagai pembawa oksigen dalam sel otot dan bertanggung jawab atas warna daging mentah dan matang. Mioglobin memiliki berat molekul sekitar 17.000 dalton. Terdapat empat bentuk mioglobin pada otot, tergantung pada keadaan kelompok heme, yaitu:

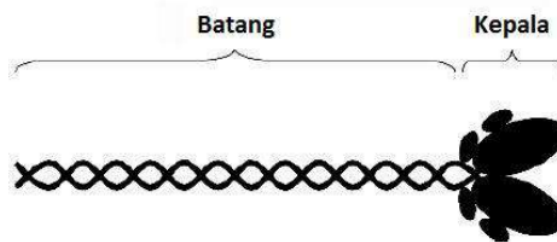


deoksi mioglobin (merah keunguan), oksmioglobin (merah ceri), metmioglobin (coklat) dan karboksimioglobin (merah ceri).

Mioglobin merupakan protein otot yang paling dikenal dalam kelompok protein otot, karena perannya yang menonjol sebagai protein pemberi pigmen utama dalam daging segar. Unggas memiliki kenampakan yang lebih pucat dibandingkan daging sapi, karena kandungan serat glikolitik cepat yang lebih tinggi yang menyebabkan tingkat mioglobin pada daging unggas lebih rendah.

#### (d) Myofibril

Protein myofibril merupakan fraksi protein paling melimpah yang membentuk myofibril, terdiri dari protein yang lebih sedikit tetapi jumlah totalnya mungkin sekitar seratus. Kelompok protein myofibril ini larut dalam larutan garam dan bertanggung jawab sebagian besar karakteristik fungsional otot segar dan olahan. Aktin dan Miosin, dua konstituen paling dominan di miofibril, menyumbang lebih dari 70% dari total protein myofibril.



Gambar. Representasi Molekul Miosin

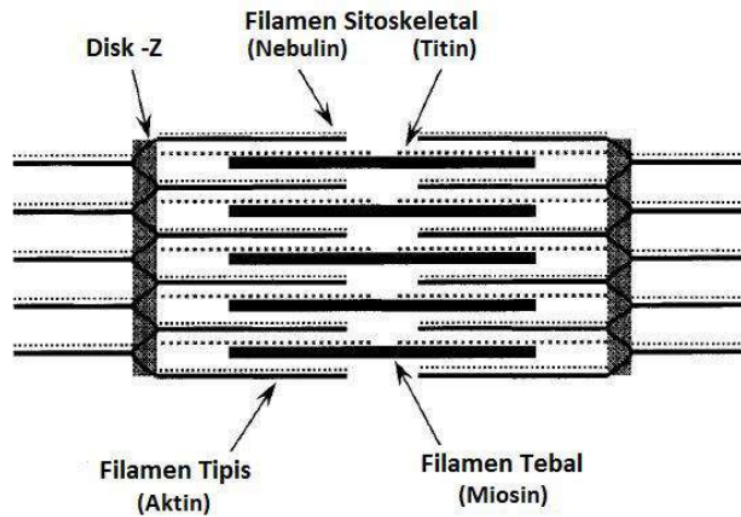
(Sumber : Xiong, 2004)

Miosin terdiri dari sekitar 4.500 asam amino dengan berat molekul 500.000 dan memiliki struktur berserat terdiri dari enam subunit (dua rantai berat; empat rantai ringan) yang dihubungkan ke batang heliks hidrofilik (ekor) dan kepala

globular hidrofobik. Setiap rantai memiliki kepala bulat (berbentuk oval besar) dan ekor heliks dan keempat rantai ringan ditampilkan sebagai oval kecil yang terisi (Gambar ....) Pada sisi lainnya, aktin terdapat sebagai globulin yang dihubungkan satu sama lain untuk membentuk rantai yang memanjang. Postrigor, miosin dan aktin terkait silang dalam bentuk aktomiosin yang merupakan kompleks protein fungsional dominan pada daging olahan rendah garam.

Ada sejumlah protein lain yang terdapat pada protein myofibril, termasuk titin dan nebulin (protein rangka), tropomiosin, troponin,  $\alpha$ -aktinin, desmin, C-, M-, dan X-protein, dan banyak polipeptida minor lainnya. Peran sebagian besar protein sekunder ini dalam daging belum sepenuhnya dipahami. Secara ultrastruktur, protein dalam myofibril terletak dalam empat unit struktural seperti pada gambar .?????, yaitu :

1. Filamen tebal yang terdiri dari miosin, C-protein, dan M-protein
2. Filamen tipis yang terdiri dari aktin, tropomiosin, dan kompleks troponin
3. Filamen sitoskeletal yang terdiri dari titin dan nebulin, dan
4. Disk-Z yang terdiri dari  $\alpha$ -aktinin, zeugmatin, dan desmin.



Gambar. Struktur Myofibril  
(Sumber : Xiong, 2004)

(e) Stroma

Protein stroma merupakan jaringan ikat yang memberikan dukungan dan perlindungan mekanis pada otot berupa tendon, *epimysium*, *perimysium* dan *endomysium*. Stroma hanya dapat larut dalam larutan asam atau basa, tetapi dapat juga dilarutkan dengan pemasakan yang lambat dan lembab tanpa adanya senyawa asam atau alkali. Protein stroma umumnya terdapat di ruang interstisial sel otot dan umumnya disebut sebagai protein jaringan ikat.

Protein ekstraseluler ini terdiri dari fibril kolagen dan retikuler halus yang merupakan penyusun utama dalam endomysium, perimysium, dan epimysium. Jaringan ikat yang membungkus serat otot individu (endomysium) dan bundel serat otot (perimysium) berkontribusi pada ketangguhan daging. Protein tidak larut air dan garam lainnya, termasuk protein membran organel intraseluler, juga dikelompokkan ke dalam fraksi protein stroma. Tidak ada protein membran yang

memiliki arti praktis dalam kualitas dan kelezatan daging dan produk daging, karena kuantitasnya yang kecil. Tiga dari protein jaringan ikat yaitu kolagen, retikulin dan elastin.

(f) Kolagen

Kolagen merupakan komponen utama dari kulit, tendon dan jaringan ikat dan merupakan protein berserat yang paling umum dan tersebar luas pada jaringan tubuh dimana sekitar sepertiga dari total protein tubuh merupakan kolagen. Ada berbagai jenis kolagen, dimana setiap jenis memiliki urutan asam amino sendiri. Unit dasar molekul kolagen adalah struktur heliks rangkap tiga yang terdiri dari tiga rantai polipeptida yang distabilkan melalui ikatan hidrogen. Monomer tropokolagen individu, terikat silang untuk membentuk fibril melalui ikatan hidrogen dan kovalen. Jumlah dan jenis hubungan kovalen menentukan kelarutan dan daya cerna kolagen.

Kolagen dari hewan dewasa mengandung ikatan silang lebih stabil dan tidak dapat direduksi yang berasal dari residu lisin, misalnya hidroksisil piridinolin. Oleh karena itu, lebih sulit untuk menghidrasi dan melarutkan kolagen pada hewan dewasa bila dibandingkan dengan kolagen pada hewan muda. Setidaknya beberapa jenis genetik kolagen telah diidentifikasi pada hewan daging, yaitu tipe I, III, dan IV merupakan protein utama di tiga lapisan jaringan ikat. Oleh karena itu kolagen merupakan faktor ketangguhan utama jaringan.

(g) Retikulin

Retikulin terdiri dari kolagen tipe III yang disekresikan oleh sel retikuler. Serat retikuler berikatan silang untuk membentuk jalinan halus (retikulin).

Retikulin berfungsi sebagai jaringan pendukung di jaringan lunak seperti hati, sumsum tulang, serta organ sistem limfatik. Retikulin jumlahnya lebih sedikit bila dibandingkan kolagen dan elastin dan umumnya terdapat pada hewan yang muda

#### (h) Elastin

Elastin adalah konstituen kecil dari jaringan ikat yang memberikan elastisitas pada pembuluh darah dan ligamen di otot. Elastin adalah serat protein yang tidak larut dalam air, bersifat hidrofobik dan stabil terhadap panas serta terdapat ikatan silang yang sangat elastis dengan adanya air. Kandungan elastin bervariasi di antara jenis otot yang berbeda.

Protein adalah komposisi utama dalam daging, dimana daging terdiri dari 20% protein dari total berat daging atau 80% dari massa kering di jaringan tanpa lemak. Terdapat berbagai fungsi protein daging dalam bahan pangan. Di satu sisi, protein daging mengandung semua asam amino esensial dengan profil komposisi yang sangat mirip dengan tubuh manusia, sehingga protein daging sangat bergizi.

Di sisi lain, melalui fungsi spesifik dari protein seperti gelasi, emulsifikasi, pengikat air, dll., protein daging sangat berkontribusi pada keseluruhan sifat daging dan produk daging (daging merah, unggas, dan ikan), termasuk tekstur, penampilan, rasa di mulut, dan kesegaran, serta stabilitas fisik selama penyimpanan. Peran kedua ini sangat penting karena pada dasarnya semua sifat fungsional yang ditunjukkan oleh protein daging tidak dapat direproduksi oleh protein makanan lain atau bahan fungsional non protein. Contohnya adalah daging analog yang terbuat dari protein nabati yang bahkan terbuat dengan teknologi ekstrusi yang canggih, belum mampu mereplikasi jenis tekstur dan rasa daging hamburger secara spesifik, terutama rasa

gurih dari dagingnya, sehingga penggunaan protein fungsional dari daging menjadi kebutuhan dalam pengembangan makanan daging berkualitas tinggi.

Fungsi utama protein dalam daging olahan adalah gelasi dan sifat terkait seperti pengikatan dan adhesi partikel daging. Selain itu fungsi utama protein dalam daging olahan adalah emulsifikasi dan sebagai penahanan air. Protein otot mengalami perubahan struktural dan interaksi spesifik, menghasilkan berbagai karakteristik fisik produk, bergantung pada formulasi produk dan protokol pada proses pengolahannya.

Kebanyakan produk olahan daging olahan adalah perwujudan dari kombinasi beberapa fungsi protein, tetapi kelezatan produk yang dihasilkan sangat bervariasi. Sebagai contoh, tekstur yang tegas dan *juiciness* dari sosis *frankfurter* dikaitkan dengan sistem jaringan protein komposit yang dimungkinkan melalui interaksi protein-protein (gelasi), interaksi protein-lemak atau enkapsulasi lemak (emulsifikasi) dan interaksi protein-air (pengikatan air).

Tabel ..... Sifat Fisik Protein Daging pada Daging dan Produk Olahan Daging

Kategori	Sifat	Mekanisme Kerja	Contoh produk pangan
Hidrasi	Pengikat air, penahan air dan absorpsi	Interaksi protein-air melalui ikatan hidrogen Menjebak air di kisi myofibril	Daging segar, daging yang <i>dicuring</i> , daging yang diasinkan dan daging olahan (asin) lainnya
	Kelarutan	Interaksi protein-air melalui ikatan hidrogen Tolakan muatan protein dengan adanya ion Na <sup>+</sup> dan Cl <sup>-</sup> dan fosfat	Daging asin, daging <i>tumbling</i> dan daging <i>massaged</i>

	Pembengkakan	Masuknya air ke dalam kisi myofibril	Daging yang diasinkan dan daging yang <i>dicuring</i>
Struktur/ tekstur	Gelasi	Pembentukan matriks dengan protein myofibril yang diekstraksi, Interaksi protein-protein kolagen	Daging gulung (rolade) dan <i>meat loaf</i> ; kornet daging; makanan gel gelatin
	Kohesi / adhesi / pengikatan	Gel protein yang larut dalam garam berfungsi sebagai agen pengikat Interaksi protein-protein surimi Gelasi protein kolagen	Daging gulung (rolade) dan <i>meat loaf</i> ; ham tanpa daging; kamaboko, kornet daging dengan gelatin; kerang analog
Permukaan	Emulsifikasi permukaan	Adsorpsi protein pada partikel lemak untuk mengurangi tegangan permukaan Pembentukan membran protein yang kaku dalam emulsi lemak	Sosis; daging bologna

(Sumber : Xiong, 2004)

### **Protein Daging Sebagai Bahan Fungsional pada Produk Pangan**

Selain terdapat sebagai komponen asli seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, protein daging terdapat sebagai bahan fungsional dalam produk pangan. Beberapa diantaranya adalah protein myofibril, kolagen, gelatin, surimi dan protein plasma.

## 1. Gelatin

Gelatin merupakan senyawa turunan protein yang dihasilkan dari serabut kolagen jaringan penghubung yang dihidrolisis secara asam ataupun basa. Sumber penghasil gelatin antara lain tulang yang terdemineralisasi dan kulit yang telah dihilangkan lemak serta rambutnya. Sumber utama gelatin berasal dari kulit sapi yang dihidrolisis secara basa dengan kalsium hidroksida dan kulit babi yang dihidrolisis dengan asam hipoklorit. Gelatin adalah protein yang terekstraksi setelah proses hidrolisis parsial dari senyawa kolagen pada kulit maupun tulang binatang. Senyawa gelatin ini merupakan suatu polimer linier asam amino. Gelatin merupakan suatu senyawa amfoter ditinjau dari struktur kimianya, yang merupakan suatu polipeptida asam amino. Muatan gugus fungsional asam amino dapat berubah positif atau negatif, tergantung dari media di sekitarnya. Gelatin tipe A memiliki titik isoelektrik tinggi yaitu sekitar pH 6-9 dan dengan demikian membawa muatan positif di sebagian besar penggunaan dalam bidang pangan. Sedangkan gelatin tipe B memiliki titik isoelektrik mendekati pH 5,0 yang membawa muatan negatif atau positif bersih tergantung pada keasaman pangan.



Gambar 3. Gelatin (Sumber : indiamart.com)



Gelatin memiliki beberapa sifat, yaitu:

1. Dapat berubah secara reversibel dari bentuk sol ke gel,
2. “Membengkak” atau mengembang dalam air dingin,
3. Dapat membentuk *film*,
4. Mempengaruhi viskositas suatu bahan
5. Dapat melindungi sistem koloid.

Secara fisik gelatin dapat berbentuk bubuk, pasta maupun lembaran gelatin. Gelatin yang berbentuk lembaran dan butiran sebelum digunakan harus direndam terlebih dahulu, sedangkan gelatin yang berbentuk bubuk dapat langsung digunakan. Produk gelatin yang murni mempunyai sifat tidak berasa, tidak berbau dan warnanya sedikit kuning. Pada suhu sekitar 40°C, larutan gelatin berada dalam keadaan sol dan membentuk padatan, dimana gel bersifat termoreversibel pada pendinginan. Selama gelasi, rantai menjalani transisi kelainan urutan konformasi dan cenderung memulihkan struktur triple-helix kolagen.

Gelatin terdiri dari urutan asam amino yang unik. Karakteristik tampilan gelatin adalah tinggi kandungan asam amino glisin, prolin dan hidroksiprolin. Gelatin mengandung 19 asam amino yang dihubungkan dengan ikatan peptida membentuk rantai polimer yang panjang. Komposisi asam amino gelatin bervariasi tergantung pada sumber kolagen, spesies hewan penghasil dan jenis kolagen.

### STRUKTUR KIMIA GELATIN????

#### 2. Surimi

Surimi merupakan konsentrat protein myofibrill mentah yang dibuat dengan cara mencuci otot ikan yang dicincang secara mekanis untuk menghilangkan konstituen dan lemak sarkoplasma, diikuti pencampuran dengan *cryoprotectan*

(biasanya poliol) untuk mencegah denaturasi protein selama penyimpanan beku. Surimi dianggap sebagai produk pangan setengah jadi karena biasanya diolah lebih lanjut untuk membuat berbagai produk olahan ikan, misalnya kamaboko dan *seafood* analog seperti daging rajungan dan lobster. .

Surimi kebanyakan dibuat dari ikan laut yang kurang dimanfaatkan, seperti mackerel, kakap mata besar dan sarden, dengan pertimbangan lebih ekonomis. Tidak semua ikan diolah sebagai surimi karena ada beberapa spesies ikan yang mengandung *protease* endogen yang dapat merusak tekstur dan melemahkan gel hasil gelasi pada produk berbasis surimi. Fenomena pelemahan gel ini disebut sebagai 'Modori' dan terjadi pada kisaran suhu 45°C-55°C, dimana pada kondisi suhu ini enzim *protease* memiliki aktivitas yang tinggi dan dapat mendegradasi aktomiosin.

### 3. Protein Plasma

Protein plasma merupakan 2/3 dari berat darah dan dapat dipisahkan dari sel darah merah dengan proses sentrifugasi. Plasma daging sapi mengandung sekitar 70% protein dan banyak digunakan dalam industri daging, karena kelarutannya yang tinggi dan memiliki sifat pembentuk gel yang sangat baik. Protein plasma dapat dilarutkan dalam air garam dan disuntikan ke dalam daging. Protein plasma dalam daging akan membentuk gel elastis yang tidak dapat diubah ketika dimasak di atas suhu 65°C, sehingga cocok untuk berbagai daging yang dipotong, dibentuk, dan direstrukturasikan yang membutuhkan ikatan kuat di dalam partikel daging.

Tabel. Protein Daging sebagai Komponen Asli atau Sebagai Bahan Fungsional dalam Produk Pangan

	Protein	Sumber	Fungsi
Komponen Asli Bahan Pangan	Protein Myofibril	Jaringan otot	Mengikat daging, menahan air, emulsifikasi lemak, membentuk tekstur produk daging
	Protein Sarkoplasma	Jaringan otot	Mengikat air, emulsifikasi lemak, memberi pigmen pada daging
	Kolagen	Jaringan ikat	Memberi tekstur pada daging (keempukan)
Protein Komposisi	Protein Myofibril	Daging yang dipotong, produk sampingan hewan	Mengikat daging, menahan air, emulsifikasi lemak
	Kolagen	Kulit babi, kalkun, ayam dan ikan	Menahan air, mempertahankan kesegaran daging, produk hasil
	Gelatin	Kolagen yang terhidrolisis dari kulit hewan, kulit dan tulang rawan, kulit babi dan unggas yang dimasak	Penahan air, stabilitas emulsi, mengikat daging
	Surimi	Ikan, daging yang dipisahkan dan dicuci secara mekanis, produk sampingan daging	<i>Seafood</i> analog, mengikat daging, menahan air, emulsifikasi lemak
	Protein plasma	Plasma daging sapi	Mengikat daging, penahan air, protease inhibitor untuk surimi

(Sumber : Xiong, 2004)

## 2.5 Protein Susu



kalsium dan fosfor. Kasein paling sering ditemukan di dalam susu mamalia. Sekitar 80% dari total nitrogen dalam susu sapi, daging sapi, dan kerbau adalah kasein dan sekitar 60%-65% adalah protein dalam ASI.

Komponen protein kasein dari susu terdiri dari protein yang berbeda, yang memiliki fungsi berbeda walaupun tidak memiliki struktur sekunder dan tersier yang terdefinisi dengan baik. Kasein terdiri dari tiga komponen utama, yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\kappa$  yang bersama-sama membentuk misel koloid dalam susu yang mengandung sejumlah besar molekul kasein dan distabilkan oleh jembatan kalium fosfat.  $\alpha$ -kasein merupakan campuran dari tiga jenis protein, yaitu  $\alpha_{s1}$ -kasein,  $\alpha_{s2}$ -kasein dan  $\kappa$ -kasein.

Tabel 2.4. Sifat Karakteristik Komponen Kasein pada Susu Sapi

Jenis Kasein	Asam Amino	Residu Prolin	Residu Sistein	Kelompok PO <sub>4</sub>	Konsentrasi (g/L)
$\alpha_{s1}$ -kasein	199	17	0	8-9	10
$\alpha_{s2}$ -kasein	207	10	2	10-13	2,6
$\beta$ -kasein	209	35	0	4-5	9,3
$\kappa$ -kasein	169	20	2	1-3	10,3

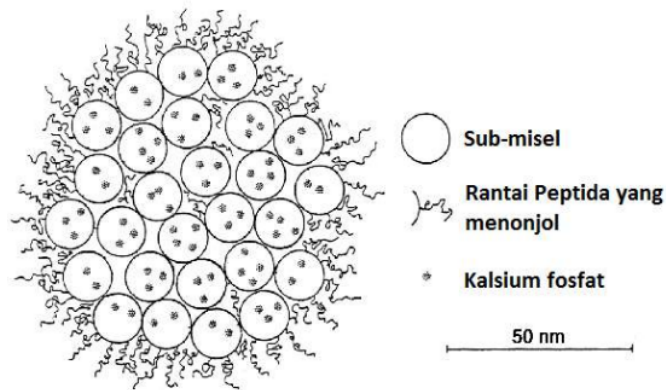
(Sumber : Fox dan Kelly, 2004)

Alfa ( $\kappa$ )-kasein adalah satu-satunya kasein yang terglisosilasi karena mengandung galaktosa, galaktosamin dan asam N-asetilneuramin, baik sebagai trisakarida atau tetrasakarida yang terikat pada residu theronin di atom C-terminal. Adanya oligosakarida pada  $\kappa$ -kasein meningkatkan hidrofilitas dari  $\kappa$ -kasein.

Umumnya kasein digunakan dalam produk pangan seperti keju analog, terutama keju pizza, sebagai pengemulsi dalam krim kopi, *whipped cream* sintesis dan *liquor* krim, daging analog, beberapa produk sereal, dan berbagai makanan diet.

Selain itu kasein pun diproduksi dalam bentuk asam, kasein rennet, kaseinat seperti kalsium kaseinat dan misel kasein.

Kasein ditemukan dalam susu sebagai suspensi partikel yang disebut misel kasein dan juga produk lainnya seperti keju, yogurt, es krim dan lain-lain. Istilah misel telah diterapkan pada fase susu yang terdispersi, yaitu kompleks kasein-protein. Kasein dalam susu terdapat sebagai partikel koloid dengan diameter sekitar 50-500 nm dan kadar air sekitar 63% yang disebut sebagai 'misel kasein'.



Gambar 2.4. Misel Kasein  
(Sumber : Fox dan Kelly, 2004)

Kasein pun dapat dipecah menjadi komponennya pada skala laboratorium dengan memanfaatkan perbedaan kelarutan masing-masing kasein. Fungsi dari komponen kasein adalah sebagai berikut :

- $\beta$ -kasein memiliki aktivitas permukaan yang sangat tinggi dan dapat digunakan sebagai pengemulsi atau bahan *foaming* berkualitas tinggi.
- ASI kebanyakan mengandung  $\beta$ -kasein dan  $\kappa$ -kasein tetapi dalam jumlah yang sedikit atau tanpa  $\alpha$ -kasein. Oleh karena itu,  $\beta$ -casein menjadi bahan yang dapat ditambahkan pada susu formula bayi berbahan dasar susu sapi.

- $\kappa$ -kasein bertanggung jawab atas kestabilan misel kasein, sehingga dapat menjadi bahan tambahan yang berguna untuk produk susu tertentu.
- Fortifikasi susu dengan  $\beta$ -casein meningkatkan sifat pembuatan keju.

## 2. Protein Whey

Whey adalah produk cair sampingan yang dihasilkan dari pengendapan protein dalam susu. Pengendapan dapat disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme (misalnya whey keju), penambahan asam (pembuatan kasein asam) atau dengan penambahan enzim (pembuatan kasein rennet).

Protein whey diketahui banyak mengandung sistein dan metionin yang merupakan asam amino penting untuk sintesis *glutathionine*. Protein whey disusun oleh laktalbumin, laktalbumin, immunoglobulin, serum albumin dan fraksi kompleks proteosa pepton. Whey terdiri dari air dan beberapa zat terlarut yang terpisah dari *curd*. Komposisinya kira-kira 94% air (6% total padatan), 4,5% laktosa, 0,8% protein, dan 0,7% mineral. Aliran encer ini dapat dikeringkan untuk menghasilkan produk yang disebut bubuk whey manis.

Whey diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu whey manis dan whey asam. Whey asam dihasilkan dari proses pembuatan keju cottage dan kasein asam, sedangkan whey lainnya disebut whey manis. Mayoritas whey yang diproduksi secara global adalah whey manis.

Kandungan laktosa dalam whey dapat dikurangi dan kemudian dikeringkan untuk menghasilkan produk yang disebut bubuk whey laktosa tereduksi. Demikian pula kandungan mineral dalam whey dapat dikurangi untuk memperoleh whey terdemineralisasi. Selain itu dapat pula menghilangkan mineral dan laktosa dalam whey dan ketika kandungan protein dari bubuk tersebut mencapai 25% atau lebih,

maka produk tersebut disebut konsentrat protein whey. Kadar protein yang paling umum pada konsentrat protein whey adalah 35%, 55% dan 80%. Bentuk pemurnian tertinggi menghasilkan isolat protein whey dengan protein lebih dari 90% pada bobot kering.

Protein whey banyak digunakan dalam berbagai macam produk pangan seperti pada minuman bernutrisi, minuman pengganti makanan, minuman olahraga, dan minuman jeruk yang diperkaya protein.

Protein whey tersusun dari beberapa protein penyusunnya yang terdiri dari  $\beta$ -laktoglobulin,  $\alpha$ -laktalbumin, Bovine Serum Albumin (BSA), immunoglobulin dan proteosa pepton

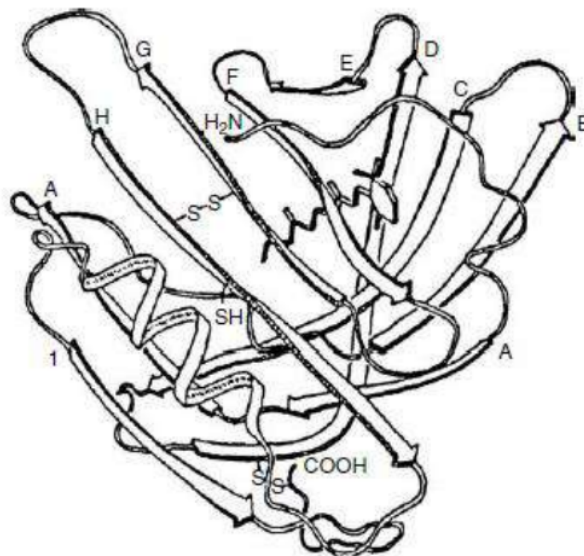
#### a. $\beta$ -laktoglobulin

Protein yang paling umum dalam whey adalah  $\beta$ -laktoglobulin dimana  $\beta$ -laktoglobulin merupakan 10% penyusun protein susu atau sekitar 58% penyusun protein whey.  $\beta$ -laktoglobulin mengandung 162 asam amino dengan berat molekul sekitar 18.300. Terdapat dua jenis varian genetik dari  $\beta$ -laktoglobulin yaitu A dan B yang berbeda substitusinya, yaitu glisin untuk jenis B dan asam aspartat untuk jenis A. Molekul tersebut mengandung dua gugus disulfida dan 1 gugus sulfhidril bebas dan tidak memiliki fosfor.

Di bawah pH 3,0 dan di atas pH 8,0,  $\beta$ -laktoglobulin terdapat sebagai monomer. Sedangkan diantara pH 3,1 dan 5,1 pada suhu rendah dan kandungan protein tinggi,  $\beta$ -laktoglobulin membentuk oktamer. Polimerisasi ini terjadi karena terdapat gugus karboksil, sehingga jenis A membentuk oktamer yang lebih baik dibandingkan jenis B. Pada nilai pH lain termasuk pada pH susu,  $\beta$ -laktoglobulin cenderung ditemukan sebagai dimer yang berbentuk bola.



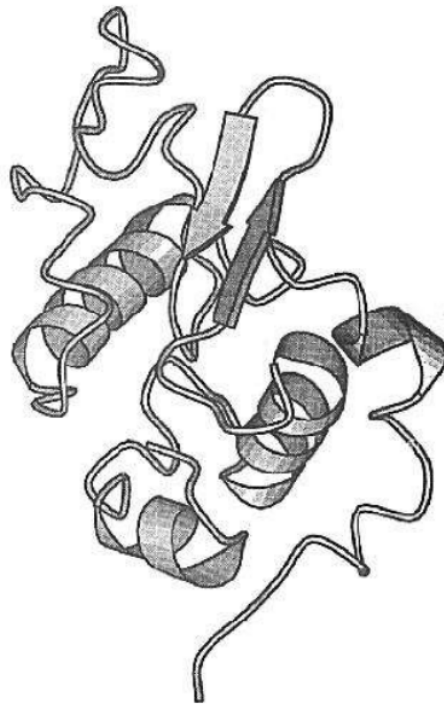
$\beta$ -laktoglobulin diproduksi secara khusus di kelenjar susu. Semua susu ruminansia mengandung  $\beta$ -laktoglobulin, sedangkan susu dari hampir semua non-ruminansia tidak mengandung  $\beta$ -laktoglobulin. Struktur sekunder  $\beta$ -laktoglobulin berisi sembilan helai struktur, delapan diantaranya diatur membentuk tong. Heliks tunggal terletak di permukaan molekul. Bagian tengah laras bersifat hidrofobik dan dapat terlibat dalam pengikatan molekul hidrofobik.



Gambar 2.5. Struktur  $\beta$ -laktoglobulin  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### b. $\alpha$ -laktalbumin

Protein yang paling umum dalam whey adalah  $\alpha$ -laktalbumin, dimana  $\alpha$ -laktalbumin merupakan penyusun sekitar 2% dari protein susu dan sekitar 13% dari protein whey dan ditemukan dalam jumlah yang cukup besar dalam ASI manusia.  $\alpha$ -laktalbumin terdiri dari 123 asam amino dan memiliki berat molekul 14.146.  $\alpha$ -laktalbumin mengandung empat ikatan disulfida dan tidak memiliki gugus fosfat.



Gambar 2.6. Struktur  $\alpha$ -laktalbumin  
(Sumber : Kilara, 2004)

$\alpha$ -laktalbumin dapat mengubah aktivitas enzim galaktosil *transferase*. Dengan tidak adanya  $\alpha$ -laktalbumin, enzim ini menambahkan UDP-galaktosa ke gugus N-asetil glukosamin yang terikat pada protein. Alfa-laktalbumin dapat membuat enzim kompleks menambahkan UDP-galaktosa ke glukosa untuk menghasilkan laktosa dan UDP, sehingga semua susu mamalia yang mengandung laktosa juga mengandung  $\alpha$ -laktalbumin, dimana  $\alpha$ -laktalbumin dari setiap spesies yang diisolasi sejauh ini akan berfungsi untuk memodifikasi aktivitas transferase galaktosil sapi.

$\alpha$ -laktalbumin relatif stabil terhadap panas dan umumnya memiliki sifat pembentuk gel yang buruk, tetapi dapat digunakan sebagai sumber asam amino

esensial.  $\alpha$ -laktalbumin digunakan secara komersial dalam suplemen untuk susu formula bayi, karena kesamaan struktur dan komposisinya dengan protein susu manusia.

#### c. Bovine Serum Albumin (BSA)

Bovine Serum Albumin (BSA) yang diisolasi dari susu identik dengan molekul serum darah. Dengan demikian BSA tidak disintesis di kelenjar susu melainkan ke dalam susu melalui kebocoran pasif dari aliran darah. BSA memiliki kandungan protein yang melimpah dalam plasma darah dengan berat molekul 69.000 dan memiliki komposisi asam amino sebanyak 20 jenis. BSA tidak mengandung fosfor, 17 disulfida dan satu kelompok sulfhidril bebas. Molekul BSA terdiri dari tiga domain homolog (I, II, III) yang dibagi menjadi sembilan loop (L1-L9) oleh 17 ikatan disulfida.

Dalam plasma darah, albumin adalah pembawa asam lemak bebas. Molekul tersebut memiliki tempat pengikatan khusus untuk molekul hidrofobik dan juga dapat mengikatnya di dalam susu. BSA dapat membentuk busa paling baik di dekat titik isoelektriknya ( $pI$  BSA= 4,7), ketika tolakan elektrostatis minimal. BSA ketika dipanaskan akan membentuk agregat terlarut melalui ikatan disulfida dan non kovalen.

#### d. Immunoglobulin

Immunoglobulin atau yang biasa disebut dengan antibodi terdiri dari setidaknya 2% dari total protein susu. Immunoglobulin terdapat dalam susu dan kolostrum dari semua spesies mamalia. Fungsi biologis immunoglobulin susu

adalah memberi keturunan perlindungan imunologis terhadap mikroba patogen dan toksin serta melindungi kelenjar susu terhadap infeksi.

Terdapat empat kelas imunoglobulin yang ditemukan dalam susu, yaitu: IgG1, IgG2, IgA dan IgM. Semua molekul imunoglobulin ini memiliki struktur dasar yang sama yaitu terdiri dari dua rantai ringan dengan berat molekul  $20.000 \pm 25.000$  dan dua rantai berat dengan berat molekul  $50.000 \pm 70.000$ .

Molekul-molekul ini tidak disintesis dalam kelenjar susu, sehingga harus masuk ke dalam kelenjar terlebih dahulu dan kemudian diangkut melalui kelenjar tersebut untuk dapat masuk ke dalam susu. Imunoglobulin memasok kekebalan pasif ke anak sapi saat dipasok dalam kolostrum. Perlindungan ini berlangsung sampai hewan cukup dewasa untuk memulai sintesis antibodinya sendiri

#### e. Pepton Proteosa

Proteosa yang merupakan fraksi dari susu ini didefinisikan sebagai protein yang tertinggal dalam larutan setelah susu dipanaskan pada suhu  $95^{\circ}\text{C}$  selama 20 menit dan kemudian diasamkan hingga mencapai pH 4,7 dengan asam trikloroasetat 12%. Fraksi ini dapat dibagi menjadi empat komponen utama, sedangkan komponen minor lainnya diketahui. Protein pepton hanya ditemukan pada whey dan tidak terikat dengan kasein. Protein ini mengandung lebih dari 17% karbohidrat dan memiliki berat molekul 20.000.

Komponen pepton proteosa memiliki berat molekul 13.000 dan terikat dengan fraksi whey dan kasein susu. Molekul tersebut mengandung fosfor dan telah terbukti terdiri dari asam amino N-terminal 107  $\beta$ -casein yang muncul dari pembelahan proteolitik yang menghasilkan  $\gamma$ -casein.

## 2.6 Protein Telur

Telur ayam dikenal sebagai sumber nutrisi untuk manusia yang sangat baik, terutama proteinnya. Protein telur terkenal dengan kualitas nutrisinya yang tinggi, daya cerna yang sangat baik, terdiri dari semua asam amino esensial yang diperlukan untuk nutrisi dan perkembangan manusia. Protein telur terkenal karena sifat fungsionalnya dan banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan tekstur atau rasa dari berbagai produk pangan.

Telur terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kulit telur, putih telur, dan kuning telur. Protein adalah salah satu komponen utama yang ada di ketiga bagian telur tersebut. Meskipun protein telur terdapat di semua bagian telur, namun konsentrasi utama terletak pada putih telur yaitu sekitar 50% dan kuning telur sekitar 40%. Sedangkan protein sisanya didistribusikan di dalam kulit telur dan membran kulit telur. Setiap komponen protein dari putih telur dan kuning telur berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan kimiawi tertentu.

### 1. Protein Putih Telur

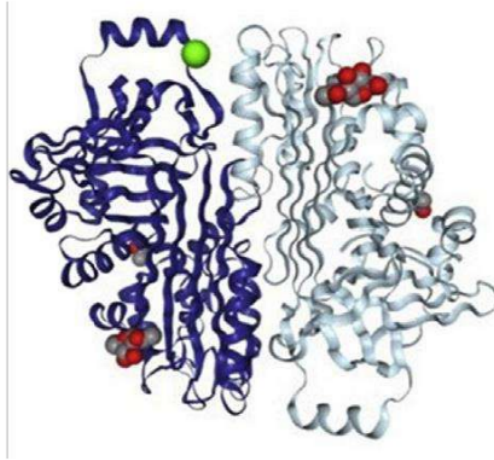
Putih telur (albumin) terdiri dari empat lapisan yang berbeda, yaitu lapisan chalaziferous, lapisan tipis, lapisan tebal, dan tali chalazae. Lapisan tipis terdapat sekitar 23,3% dari bagian putih telur, yang terbagi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan tipis dalam dan luar. Lapisan dalam yang tipis (16,8% bagian putih telur) menempel pada lapisan chalaziferous, yang terdapat sekitar 2,7% dari bagian putih telur. Sedangkan lapisan luar yang tipis terhubung ke membran kulit telur bagian dalam. Lapisan tipis luar dan dalam dipisahkan oleh lapisan tebal atau kental yang merupakan bagian dari putih telur yang paling besar, yaitu sekitar 57,3%.

Air merupakan penyusun utama dari putih telur yang menyumbang sekitar 84% hingga 89% dari total putih telur atau berat albumin. Protein merupakan konstituen utama yaitu sekitar 10%-11% diantara padatan albumin, sedangkan komponen minor pada putih telur meliputi karbohidrat (0,9%), lipid (0,03%), vitamin dan mineral.

Albumin telur terdiri dari beberapa komponen protein berbeda yang telah diidentifikasi dan dikarakterisasi. Beberapa komponen protein yang utama dalam putih telur adalah ovalbumin, ovotransferrin, ovomucoid, ovomucin dan lisozim.

#### 1. Ovalbumin

Ovalbumin menyumbang sekitar 54% dari total albumin telur dan dengan demikian ovalbumin merupakan protein utama yang ada dalam putih telur. Ovalbumin merupakan glikoprotein terfosforilasi yang terdiri dari tiga subunit lengkap yang memiliki gugus fosfat berbeda bersama dengan gugus karbohidrat yang terikat pada terminalnya. Berat molekul ovalbumin adalah 45 kDa dan terdiri dari 386 residu asam amino. Titik isoelektrik dari ovalbumin adalah pada pI 4,5 dan suhu denaturasinya pada suhu sekitar 84°C.



Gambar 2.7. Struktur Kristal Ovalbumin  
(Sumber : Guha, dkk., 2018)

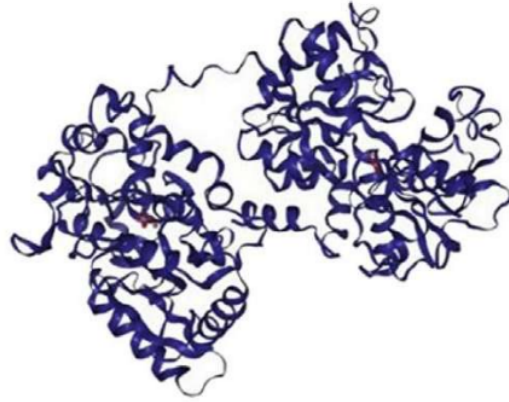
Diantara semua protein albumin telur lainnya, ovalbumin merupakan protein yang unik karena mengandung enam residu sistein, dua diantaranya terlibat dalam ikatan disulfida, sedangkan empat sisanya termasuk gugus sulfhidril bebas. Satu dari empat kelompok sulfhidril bebas hanya reaktif ketika protein didenaturasi, namun tiga lainnya terdapat dalam keadaan asli.

Ovalbumin juga merupakan alergen utama dalam putih telur yang bertanggung jawab atas reaksi alergi yang dimediasi oleh IgE. Epitop ovalbumin yang mengikat IgE sebagian besar terdiri dari asam amino polar, bermuatan dan hidrofobik. Urutan ini sebagian besar terdiri dari struktur  $\beta$ -lembaran dan  $\beta$ -lekukan.

## 2. Ovotransferrin

Ovotransferrin adalah glikoprotein monomerik yang terlibat dalam transfer ion besi ke embrio yang sedang berkembang dari saluran telur ayam. Ovotransferrin menyumbang sekitar 12% dari seluruh protein putih telur. Berat molekul ovotransferrin adalah sekitar 77-80 kDa dan terdiri dari 686 residu

asam amino. Ovotransferrin termasuk dalam keluarga protein transferin dan memiliki homologi sekitar 50% dengan laktoferin dan transferin mamalia.



Gambar 2.8. Struktur Kristal Ovotransferrin  
(Sumber : Guha, dkk., 2018)

Ovotransferrin dapat mengikat 2 mol ion logam yang berbeda per mol protein. Untuk ovotransferin, laktoferin dan serum transferin, masing-masing lobus mengikat satu anion karbonat dan satu atom  $\text{Fe}^{+3}$ . Pembentukan kompleks zat besi dalam ovotransferrin dapat menghambat pertumbuhan mikroba yang membutuhkan zat besi.

### 3. Ovomukoid

Ovomukoid adalah glikoprotein yang termasuk dalam keluarga inhibitor protein Kazal. Ovomukoid menyumbang sekitar 11% dari total protein putih telur dan bersifat stabil secara termal. Ovomukoid terdiri dari 186 residu asam amino dengan berat molekul 28 kDa yang terdiri dari 9 ikatan disulfida dan memiliki tiga domain berbeda yang hanya terikat silang oleh ikatan disulfida intra-domain.



Ovomukoid ayam adalah salah satu alergen putih telur yang utama selain ovalbumin dan memainkan peran penting dalam patogenesis reaksi alergi yang dimediasi oleh IgE. Potensi alergi ini dapat dikaitkan dengan stabilitasnya yang lebih tinggi terhadap pencernaan gastrointestinal dan perlakuan panas.

#### 4. Ovomucin

Ovomucin menyumbang sekitar 3,5% dari total protein putih telur. Ovomucin adalah glikoprotein tersulfasi yang bertanggung jawab atas struktur putih telur seperti gel. Protein putih telur terdiri dari dua bagian:

1. Bagian yang dapat larut dengan berat molekul 8.300 Da yang merupakan komponen utama dari bagian dalam dan luar putih telur.
2. Bagian yang tidak dapat larut dengan berat molekul 220–270 kDa yang bertanggung jawab atas fraksi albumin kental seperti gel yang tidak dapat larut.

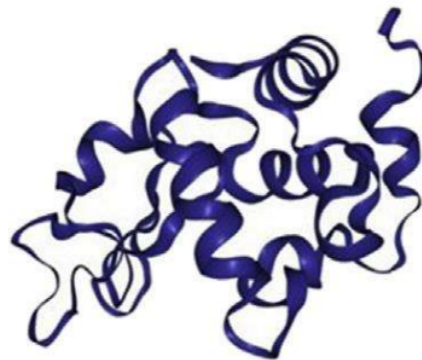
Kedua fraksi tersebut terdiri dari dua subunit,  $\alpha$ -ovomucin dan  $\beta$ -ovomucin, tetapi memiliki kandungan karbohidrat yang berbeda.  $\alpha$ -ovomucin terdiri dari 2087 residu asam amino dengan berat molekul sekitar 230-250 kDa, sedangkan  $\beta$ -ovomucin terdiri dari 872 residu asam amino dengan berat molekul sekitar 400-720 kDa.

Ovomucin bertanggung jawab atas banyak sifat fungsional dan biologis putih telur, dimana memiliki peran penting dalam penipisan putih telur selama penyimpanan yang lama. Selain itu, ovomucin dikenal karena sifat pengemulsi dan pembusaannya yang sangat baik.

#### 5. Lisozim

Lisozim putih telur terdiri dari 129 asam amino dan merupakan protein 14,4 kDa dengan pI 10,7. Lisozim yang ada di dalam telur memiliki sifat yang unik,

karena sangat mudah larut dan stabil dibandingkan dengan lisozim yang ada dalam makanan lain. Meskipun lisozim yang ada dalam telur ada yang sebagai monomer, namun sering juga ditemukan sebagai dimer yang mengarah pada stabilitas termalnya. Empat ikatan disulfida yang unik menstabilkan struktur tersier dari lisozim telur. Lisozim cenderung mengikat protein bermuatan negatif di dalam albumen telur seperti ovalbumin, ovomucin, dan ovotransferrin. Chalaza dan lapisan chalaziferous terutama terdiri dari kompleks lisozim-ovomucin.



Gambar 2.9. Struktur Kristal Lisozim  
(Sumber : Guha, dkk., 2018)

#### 6. Protein Minor Putih Telur

Putih telur mengandung lebih dari 50 protein, lima diantaranya sudah dijelaskan sebelumnya. Namun, ada beberapa protein lainnya yang meskipun jumlahnya sangat sedikit, namun memainkan peran penting dalam menentukan sifat fisikokimia dan struktural telur. Diantaranya adalah ovoglobulin, cystatin, avidin dan ovoflavin.

##### a. Ovoglobulin

Ovoglobulin menyumbang sekitar 4% dari total protein putih telur dan merupakan kelompok protein minor. Ovoglobulin terdiri dari dua subunit G2 dan G3, dengan berat molekul masing-masing 36 kDa dan 45 kDa. Ovoglobulin larut sepenuhnya dalam larutan garam berkekuatan ionik tinggi dan rendah, dapat dikoagulasi dengan adanya perlakuan panas. Ovoglobulin G2 terdapat dalam telur ayam yang menunjukkan sifat polimorfisme. Ovoglobulin sangat penting dalam sifat *foaming* pada putih telur, meskipun fungsi biologis lainnya belum diketahui dengan baik.

b. Cystatin

Cystatin adalah inhibitor sistein proteinase yang menghambat kerja protease tiol, misalnya papain dan *ficin*. Cystatin telur ayam mengandung dua ikatan disulfida di dekat terminal karboksil bersama dengan situs reaktif yang sangat kekal. Titik isoelektrik dari cystatin terfosforilasi adalah sekitar pH 5,6 sedangkan untuk bentuk non-terfosforilasi adalah sekitar pH 6,5 dengan berat molekul 13 kDa. Selain memiliki aktivitas penghambat proteinase, *cystatin* memiliki sifat bioaktif seperti aktivitas antimikroba terhadap bakteri patogen dan penghambat degradasi matriks tulang pada resorpsi lakuna yang berdekatan dengan osteoklas.

c. Avidin

Avidin merupakan protein minor putih telur yang memiliki aktivitas pengikatan biotin dan merupakan glikoprotein tetramerik dari albumen telur. Keempat monomer protein tersebut mampu mengikat biotin dan membentuk interaksi yang kuat dengan konstanta disosiasi sekitar 10-15 M. Avidin menyumbang sekitar 0,05% total protein dalam putih telur. Setiap

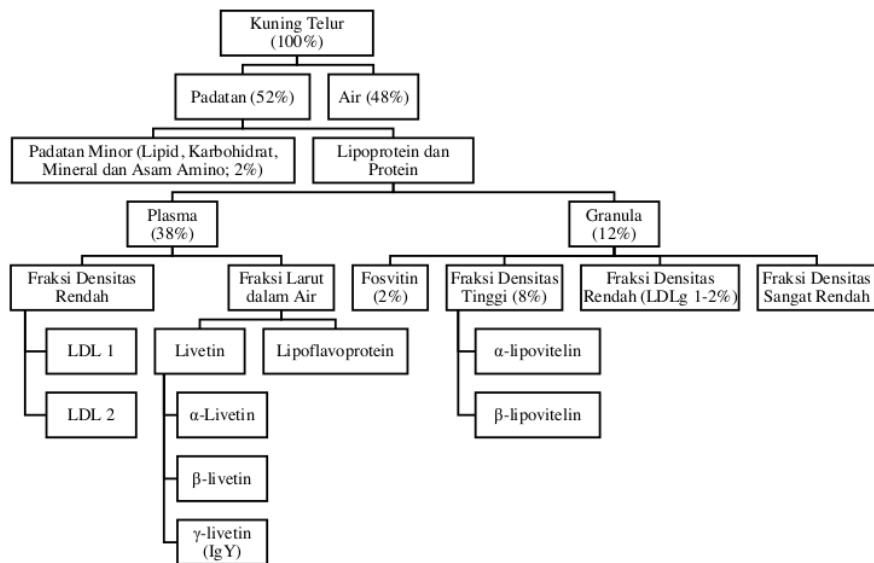
rantai avidin terdiri dari 128 asam amino yang tersusun sebagai  $\beta$ -terlipat antiparalel delapan untai. Struktur sekunder avidin terutama terdiri dari  $\beta$ -lembaran dan perpanjangan  $\beta$ -lekukan (66%), sedangkan sisanya terdiri dari  $\beta$ -lekukan dan struktur yang tidak teratur. Avidin memiliki aktivitas insektisida dan antimikroba.

#### d. Oboflavin

Oboflavin yang juga dikenal sebagai protein pengikat riboflavin atau ovo-flavoprotein, merupakan fosfolipoprotein yang ada di kuning telur dan putih telur dalam jumlah yang sama. Protein ini terikat dengan riboflavin atau vitamin B2 dan protein tersebut mengandung kandungan selenium (Se) tertinggi yaitu sekitar 1800 ng/g dibandingkan dengan protein telur lainnya. Oboflavin dalam putih telur terdiri dari 219 asam amino dengan adanya asam piroglutamat. Meskipun fungsi biologis oboflavin tidak sepenuhnya dipahami, oboflavin dapat memelihara embrio dengan mengikat vitamin dan mineral selama proses pertumbuhan embrio.

### 2.6.1 Protein Kuning Telur

Kuning telur tersusun dari plasma dan butiran, terletak di antara albumen tipis dan tebal yang ditahan oleh tali *chalazae*. Plasma kuning telur merupakan 80% dari fraksi kuning telur, dan kandungan proteinnya adalah 23% dalam bentuk kering. Terdiri dari lipoprotein densitas rendah (*Low Density Lipoprotein* / LDL) sekitar 15% dan glikoprotein globular sekitar 15%. Protein seperti livetins terdapat dalam protein kuning telur sebagai g-livetins yang sebagian besar merupakan antibodi IgY yang berfungsi sebagai suplemen imunologi dalam produk pangan.



Gambar 2.10. Komposisi Kuning Telur Ayam

(Sumber : Kovacs-Nolan, *et. al.*, 2005)

Butiran kuning telur memiliki konsentrasi lipid sekitar 33% dan protein sekitar 58% yang lebih tinggi dibandingkan dengan plasma. Pembentukan strukturnya terutama terdiri dari kompleks fosvitin-lipoprotein densitas tinggi (HDL-fosvitin) yang tidak larut. Molekul seperti pigmen atau vitamin tertentu menentukan warna kuning telur.

Beberapa protein yang terdapat pada protein kuning telur adalah LDL, HDL, phosvitin, dan livetin.

#### 1. LDL / *Low Density Lipoprotein* (Lipoprotein Densitas Rendah)

Protein LDL merupakan protein yang paling dominan dalam plasma kuning telur dengan komposisi sekitar 85%. LDL terdiri dari 14% protein dan 86% lipid, yang termasuk 74% lipid netral dan 26% fosfolipid. Struktur LDL dicirikan oleh struktur nano misel yang mengandung trigliserida dan kolesterol.

Terdapat enam jenis apoprotein dalam LDL kuning telur dengan berat molekul sekitar 15-130 kDa dan kisaran pI sekitar 6,3–7,5. Apoprotein I terdapat sekitar 70% dari total apoprotein sedangkan apoprotein II berisi rantai  $\alpha$ -heliks *amphipathic* dalam proporsi tinggi yang berkontribusi terhadap dispersi pada *interface* minyak dalam air.

Sifat emulsifikasi LDL merupakan aplikasi penting untuk industri pangan dimana dapat terdispersi pada *interface* minyak dalam air. Struktur rantai samping *amphipathic* membuat protein berinteraksi dengan *interface* hidrofobik dan hidrofilik. Faktor-faktor seperti perlakuan panas, kekuatan ionik, dispersi partikel dan penghilangan lemak menyebabkan perubahan protein dalam struktur yang mempengaruhi fungsinya.

## 2. HDL / *High Density Lipoprotein* (Lipoprotein Densitas Tinggi)

Protein HDL utamanya terdiri dari protein, lipid, kolesterol dan lipid minor. Senyawa yang terdapat dalam HDL adalah  $\alpha$ -lipovitelin dan  $\beta$ -lipovitelin. Lipovitelin terdiri dari 80% protein dan 20% lipid, dibagi menjadi fosfolipid yaitu sekitar 60%, dimana kandungan utamanya lesitin dan triasilgliserol yaitu sekitar 40%. Baik  $\alpha$ - dan  $\beta$ -lipovitelin adalah glikokonjugat yang mengandung manosa, galaktosa, glukosamin, dan asam sialat.

Kompleks HDL dan fosvitin terikat melalui jembatan fosfokalsitik yang merupakan elemen dasar dari butiran kuning telur. HDL-fosvitin membentuk kompleks tak larut yang membuat butiran pencernaan enzimatik, tahan terhadap denaturasi termal atau gelasi panas. HDL umumnya memiliki aktivitas antioksidan dan efek perlindungan terhadap mikroorganisme patogen.

## 3. Fosvitin

Fosvitin menyumbang sekitar 11% dari berat total protein kuning telur. Fosvitin adalah molekul yang sangat terfosforilasi yang terdiri dari 2 polipeptida yaitu  $\alpha$ - dan  $\beta$ -fosvitin dengan 124 dari 217 residu asam amino yang mengikat fosfat melalui ikatan kovalen, sehingga serin adalah asam amino yang paling mendominasi. Karakteristik ini menghasilkan kapasitas pengikatan mineral yang tinggi dan dapat berinteraksi dengan 95% zat besi yang ada dalam kuning telur.

#### 4. Livetin

Livetin adalah glikoprotein yang larut dalam air dan menyumbang sekitar 30% dari total protein plasma kuning telur. Livetin terdapat dalam tiga bentuk, yaitu  $\alpha$ -livetin,  $\beta$ -livetin, dan  $\gamma$ -livetin.  $\gamma$ -livetin terutama adalah imunoglobulin Y (IgY) yang merupakan pengganti ideal untuk IgG mamalia. Berat molekul  $\alpha$ -livetin,  $\beta$ -livetin, dan  $\gamma$ -livetin yang dilaporkan masing-masing adalah 80.000, 45.000, dan 170.000.

$\alpha$ -livetin merupakan alergen utama yang bertanggung jawab atas sindrom telur burung dan sebagian proteinnya adalah *inhalan heatlabile*, meskipun berat molekul dan rasio tirosin : triptofan dari  $\alpha$ -livetin dan albumin serum serupa, keduanya bukanlah protein yang identik karena kelarutannya. Selain itu, pola peptida dan hasil imunologi menunjukkan bahwa  $\alpha$ -livetin dan albumin serum adalah protein yang sama

$\beta$ -livetin mengandung 7% heksosa. Protein ini berbeda dengan ovalbumin, meskipun berat molekul kedua protein tersebut sangat mirip. Karena pola imunologi  $\beta$ -livetin identik dengan protein serum, maka dianggap sebagai  $\alpha$ 2-glikoprotein dari kandungan karbohidrat dan mobilitas elektroforetiknya.

Koefisien sedimentasi dari 3S  $\beta$ -livetin mirip dengan serum manusia, meskipun kandungan sialic pada  $\beta$ -livetin lebih rendah dibandingkan dengan protein serum manusia.

$\gamma$ -livetin atau IgY berasal dari serum IgG ayam, meskipun berbeda dari IgG mamalia dalam banyak sifat kimia dan strukturalnya. IgY kuning telur terdiri dari oligosakarida yang terikat dengan Asn seperti IgG. Namun, komposisi oligosakarida berbeda pada kedua imunoglobulin. Berat molekul rantai berat IgY lebih besar dari IgG mamalia.

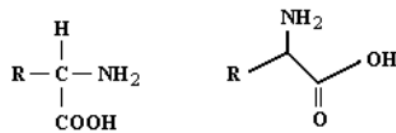


## BAB 2

### Asam Amino

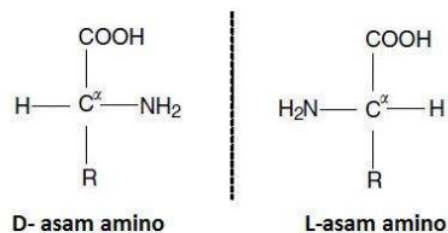
Asam amino adalah senyawa organik yang mengandung gugus fungsi amina (-NH<sub>2</sub>) dan karboksil (-COOH) bersama dengan rantai samping (gugus R). Unsur-<sup>1</sup> unsur kunci asam amino adalah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N), meskipun unsur-unsur lain ditemukan pada rantai samping asam amino tertentu. Sekitar 500 asam amino alami diketahui walaupun hanya 20 yang muncul dalam kode genetik dan dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara. Asam amino dapat diklasifikasikan menurut lokasi grup fungsional struktural inti sebagai alpha- ( $\alpha$ -), beta- ( $\beta$ -), gamma- ( $\gamma$ -) atau delta- ( $\delta$ -) asam amino. Kategori lain berkaitan dengan polaritas, tingkat pH, dan jenis kelompok rantai samping (alifatik, asiklik, aromatik, mengandung hidroksil atau belerang, dll.). Dalam bentuk protein, residu asam amino membentuk komponen terbesar kedua setelah air dari otot manusia dan jaringan lain. Asam amino berkontribusi dalam sejumlah proses seperti transportasi neurotransmitter dan biosintesis selain peranannya sebagai residu dalam protein.

Protein yang dihidrolisis dengan asam, alkali, atau enzim akan menghasilkan campuran asam-asam amino. Asam  $\alpha$ -amino adalah unit struktural dasar protein.<sup>1</sup> Asam amino mempunyai dua gugus fungsional, yaitu gugus asam amino dan gugus asam karboksilat. Pada asam  $\alpha$ -amino kedua gugus fungsional tersebut terikat pada atom C- $\alpha$  yang sama.



**Gambar 3.1.** Struktur Asam  $\alpha$ -Amino  
( Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Asam amino ini terdiri dari atom C- $\alpha$  yang terikat secara kovalen pada atom hidrogen, gugus amino, gugus karboksil, dan gugus R yang merupakan rantai cabang, kecuali asam amino <sup>1</sup> glisin, karena pada glisin gugus R berupa atom H sehingga atom C nya bukan atom C asimetrik. <sup>1</sup> Keempat gugus yang terikat pada C-itu berbeda-beda yang menyebabkan asam amino mempunyai isomer optik. Hampir semua asam amino bersifat L (levorotatori), meskipun ditemukan pula beberapa asam amino yang bersifat D (dextrorotatori) pada pH = 7,0. Hanya asam amino L yang merupakan komponen dari protein. Oleh karena itu, penulisan isomer optik jarang dilakukan dan bila tidak ada simbol D atau L, maka yang dimaksud adalah asam amino L.



**Gambar 3.2.** D-asam amino dan L-asam amino  
(Sumber : Damodaran, 2007)

Simbol D atau L tidak mewakili tanda rotasi optik, tetapi menunjukkan hubungan konfigurasi yang dicocokkan dengan konfigurasi senyawa L-gliseraldehida atau konfigurasi absolut. Artinya, konfigurasi L-asam amino tidak

mengacu pada levorotasi seperti dalam kasus L-gliseraldehida. Faktanya, sebagian besar L-asam amino bersifat dextrorotatori, bukan levorotatori. Contohnya yaitu pada L-Alanin tidak bersifat levorotatori, tetapi bersifat desktrorotatori bila diperiksa di dalam polarimeter.

Selain atom C- $\alpha$  asimetris, atom C- $\beta$  dari isoleusin dan treonin juga asimetris, sehingga isoleusin dan treonin dapat berada dalam empat bentuk enansiomer. Diantara asam amino turunan yaitu, hidroksiprolin dan hidroksrolisis juga mengandung dua pusat karbon asimetris.

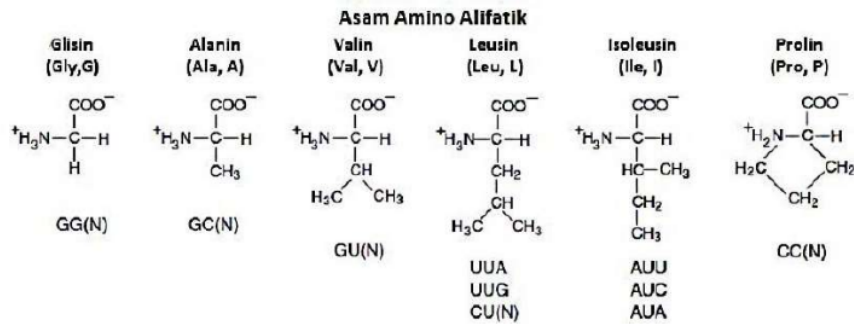
Asam amino ini hanya berbeda dalam sifat kimiawi gugus R rantai samping. Asam amino pada gambar 3 memiliki kode genetik, termasuk selenosistein. Artinya, masing-masing asam amino ini memiliki t-RNA spesifik yang menerjemahkan informasi genetik pada m-RNA menjadi urutan asam amino selama sintesis protein.

### 3.1 Klasifikasi Asam Amino

Ada beberapa cara untuk mengklasifikasikan asam amino. Terdapat berbagai macam jenis rantai cabang (R) yang berbeda ukuran, bentuk, muatan dan reaktivitasnya, karena rantai cabangnya (R) adalah faktor penentu untuk interaksi intra dan antarmolekul dalam protein. Oleh karena itu asam amino dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### 3.1.1 Asam Amino Alifatik

Beberapa asam amino yang mempunyai rantai cabang alifatik yaitu glisin, alanin, valin, leusin, isoleusin, dan prolin. Rantai cabang pada asam amino alifatik ini bersifat hidrofobik..



Gambar 3.3. Struktur Asam Amino Alifatik beserta Kodon mRNA-mya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### A. Glisin (Gly, G)

Glisin ditemukan dalam jumlah tinggi dalam protein struktural. Kolagen mengandung sekitar 25%-30% glisin. Glisin pertama kali diisolasi dari gelatin oleh Braconnot pada tahun 1820. Glisin termasuk ke dalam golongan amino non esensial meskipun bertindak sebagai prekursor dari banyak senyawa yang dibentuk oleh berbagai mekanisme biosintetik.

#### B. Alanin (Ala, A)

Alanin diisolasi dari fibroin sutra oleh Weyl pada tahun 1888. Alanin terdapat pada sebagian besar protein dan secara khusus diperkaya dengan fibroin sutra (35%). Gelatin dan zein jagung mengandung sekitar 9% alanin, sedangkan kandungannya pada protein lain adalah sekitar 2%-7%. Alanin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial bagi manusia.

#### C. Valin (Val, V)

Valin pertama kali diisolasi oleh Schutzenberger pada tahun 1879. Valin merupakan asam amino esensial bagi manusia dan terdapat dalam protein daging dan sereal sekitar 5%-7% dan dalam protein telur dan susu sekitar 7%-8%. Elastin mengandung konsentrasi valin yang sangat tinggi yaitu 15,6%.

#### D. Leusin (Leu, L)

Leusin diisolasi dari wol dan dari jaringan otot oleh Braconnot pada tahun 1820. Leusin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial bagi manusia dan kandungannya di sebagian besar protein adalah sekitar 7%-10%. Protein jagung mengandung 12,7% serta gandum mengandung 6,9% leusin. Selama fermentasi alkohol, minyak fusel terbentuk dari leusin dan isoleusin.

#### E. Isoleusin (Ile, I)

Isoleusin pertama kali diisolasi dari fibrin oleh Ehrlich pada tahun 1904. Isoleusin merupakan Alanin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial bagi manusia. Protein daging dan otak mengandung sekitar 4%-5% isoleusin, sedangkan protein telur dan susu mengandung isoleusin sekitar 6%-7%.

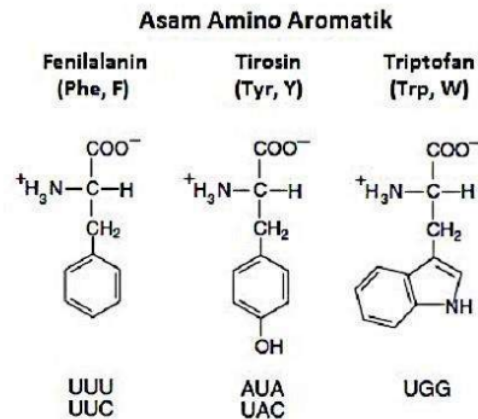
#### F. Prolin (Pro, P)

Prolin ditemukan dalam kasein dan albumen telur oleh Fischer pada tahun 1901. Prolin terdapat dalam banyak protein dengan kandungan sekitar 4%-7% dan berlimpah dalam protein gandum (10,3%), gelatin (12,8%) dan kasein (12,3%). Prolin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial bagi manusia.

Prolin merupakan asam amino yang agak berbeda karena pada atom nitrogennya terikat dua ikatan, yaitu dalam bentuk nitrogen sekunder. Rantai cabangnya berupa hidrokarbon yang terikat pada C- $\alpha$  dan cabang pada nitrogen amina sehingga membentuk cincin pirolidin. Dengan demikian prolin sebenarnya bukan asam amino tetapi merupakan asam imino.

### 3.1.2 Asam Amino Aromatik

Beberapa asam amino yang mempunyai rantai cabang cincin aromatik yaitu fenilalanin, tirosin, dan triptofan. Asam-asam amino tersebut memiliki sifat hidrofobik dan mempunyai kelarutan yang terbatas dalam air. Tirosin dianggap sebagai asam amino polar, karena tirosin mengandung gugus fenolik yang dapat terionisasi pada pH basa. Namun berdasarkan karakteristik kelarutannya pada pH netral, tirosin ini harus dianggap sebagai asam amino hidrofobik.



Gambar 3.4. Struktur Asam Amino Aromatik beserta Kodon mRNA-mya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### A. Fenilalanin (Phe, F)

Fenilalanin diisolasi dari lupin oleh Schulze pada tahun 1881. Fenilalanin ditemukan di hampir semua protein dengan kandungan sekitar 4%-5%. Fenilalanin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial bagi manusia. Fenilalanin dapat diubah secara *in vivo* menjadi tirosin, sehingga fenilalanin dapat menggantikan tirosin secara nutrisi.

#### B. Tirosin (Tyr, Y)

Tirosin pertama kali diperoleh dari kasein oleh Liebig pada tahun 1846. Seperti fenilalanin, tirosin ditemukan pada hampir semua protein pada kadar

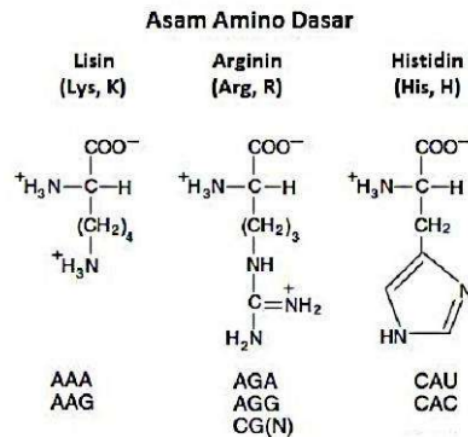
sekitar 2%-6%. Fibroin sutra dapat memiliki tirosin sebanyak 10%. Tirosin diubah melalui dihidroksifenilalanin dengan oksidasi enzimatis menjadi melanin berwarna coklat kehitaman. Tirosin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial bagi manusia.

#### C. Triptofan (Trp, W)

Triptofan pertama kali diisolasi dari hidrolisat kasein, dibuat dengan hidrolisis menggunakan enzim pankreas oleh Hopkins pada tahun 1902. Triptofan terdapat pada protein hewani dalam jumlah yang relatif rendah yaitu sekitar 1%-2% dan bahkan dalam jumlah yang lebih rendah pada protein sereal yaitu 1%. Triptofan sangat melimpah dalam lisozim (7,8%). Triptofan benar-benar hancur selama hidrolisis protein oleh asam. Secara biologis, triptofan merupakan asam amino esensial yang penting bagi manusia, terutama sebagai prekursor dalam biosintesis asam nikotinat.

#### 3.1.3 Asam Amino Dasar yang Memiliki Muatan

Beberapa asam amino yang memiliki rantai cabang yang memiliki muatan yaitu lisin, arginin, dan histidin. Ketiganya dapat memiliki rantai cabang yang dapat bermuatan positif atau negatif tergantung lingkungannya. Ketiga asam amino tersebut juga merupakan asam amino yang mempunyai rantai cabang gugus basa dan bersifat hidrofilik sehingga cukup larut dalam air.



Gambar 3.5. Struktur Asam Amino Dasar beserta Kodon mRNA-nya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

Arginin dan Lisin masing-masing mengandung gugus guanidil dan amino, oleh karena itu keduanya bermuatan positif (basa) pada pH netral. Kelompok imidazol-nya bersifat dasar. Tetapi pada pH netral, muatan bersihnya hanya sedikit positif.

#### A. Lisin (Lys, K)

Lisin pertama kali diisolasi dari kasein (fosfoprotein susu) pada tahun 1889 oleh dokter gigi di Jerman yaitu Heinrich Drechsel. Kandungan lisin dalam asam amino ini sekitar 2%-4% lebih rendah pada protein sereal, dimana prolamin lebih dominan. Protein kepiting merupakan sumber tertinggi lisin yaitu sekitar 10%-11%.

Lisin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial untuk manusia, karena lisin berperan untuk pertumbuhan dan memiliki peran penting dalam produksi karnitin yaitu nutrisi yang berperan dalam mengubah asam lemak menjadi energi dan membantu mengurangi kadar kolesterol tubuh. Lisin merupakan salah satu asam amino yang paling mudah bereaksi karena



mengandung grup amino bebas yang dapat berikatan dengan senyawa-senyawa lain.

#### B. Arginin (Arg, G)

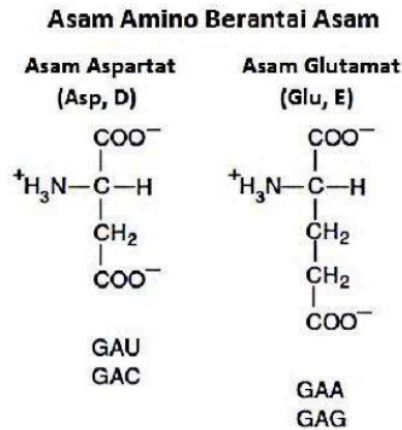
Arginin pertama kali diisolasi dari bibit lupin oleh Schulze dan Steiger pada tahun 1886. Arginin terdapat di semua protein, dimana kandungannya sekitar 3%-6%, tetapi secara khusus diperkaya dengan protamin. Kandungan arginin pada protein kacang tanah relatif tinggi yaitu 11%. Secara biokimia, arginin sangat penting sebagai produk perantara dalam proses sintesis urea. Arginin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial untuk manusia. Tampaknya diperlukan dalam kondisi metabolisme tertentu.

#### C. Histidin (His, H)

Histidin pertama kali diisolasi pada tahun 1896 oleh Kossel dan oleh Hedin dari protamin yang terdapat pada ikan. Kebanyakan protein mengandung sekitar 2%-3% histidin. Protein darah mengandung histidin sekitar 6%. Histidin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial untuk manusia terutama untuk pertumbuhan bayi.

#### 3.1.4 Asam Amino Berantai Asam

Beberapa asam amino yang memiliki rantai cabang berupa asam yaitu asam aspartat dan asam glutamat. Keduanya memiliki rantai cabang asam yang bermuatan negatif. Rantai samping asam aspartat dan asam glutamat mengandung gugus karboksil. Asam amino ini membawa muatan negatif pada pH netral. Keduanya bersifat hidrofilik kuat dan cukup larut dalam air



Gambar 3.6. Struktur Asam Amino Berantai Asam Beserta Kodon mRNA-nya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

A. Asam Apartat (Asp, D)

Asam Aspartat diisolasi dari kacang-kacangan oleh Ritthausen pada tahun 1868. Asam aspartat terdapat pada semua protein hewani, terutama pada albumin pada konsentrasi sekitar 6%-10%. Protein jagung kaya akan asam aspartat dimana kandungannya yaitu 12,3%, sedangkan kandungan asam aspartat dalam gandum tergolong rendah yaitu 3,8%. Asam aspartat termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia.

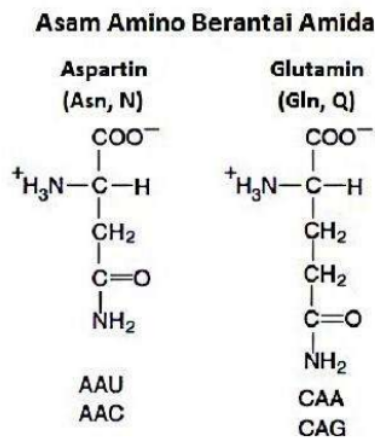
B. Asam Glutamat (Glu, E)

Asam Glutamat pertama kali diisolasi dari gluten gandum oleh Ritthausen pada tahun 1866. Kandungan asam glutamat melimpah pada sebagian besar protein, tetapi sangat tinggi dalam protein susu yaitu sekitar 21,7%, gandum sekitar 31,4%, jagung sekitar 18,4% dan kedelai sekitar 18,5%. Molase juga mengandung asam glutamat dalam jumlah yang relatif tinggi. Asam glutamat termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia.

Monosodium glutamat (MSG) digunakan dalam berbagai produk makanan sebagai penambah cita rasa.

### 3.1.5 Asam Amino Berantai Amida

Beberapa asam amino yang memiliki rantai cabang berupa amida yaitu aspartin dan glutamin. Keduanya memiliki cabang yang netral atau tidak memiliki muatan dan bersifat hidrofilik sehingga cukup larut dalam air. Gugus amida pada aspartin dan glutamin mampu berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen. Setelah dihidrolisis dengan asam atau basa, gugus amida aspartin dan glutamin diubah menjadi gugus karboksil dengan pelepasan amonia.



Gambar 3.7. Struktur Asam Amino Berantai Amida Beserta Kodon mRNA-nya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### A. Aspartin (Asn, N)

Asparatin dari asparagus adalah asam amino pertama yang diisolasi oleh Vauguelin dan Robiquet pada tahun 1806. Keberadaannya dalam protein (edestin) dikonfirmasi oleh Damodaran pada tahun 1932. Dalam glikoprotein, komponen karbohidrat dapat terikat N-glikosida ke bagian protein melalui

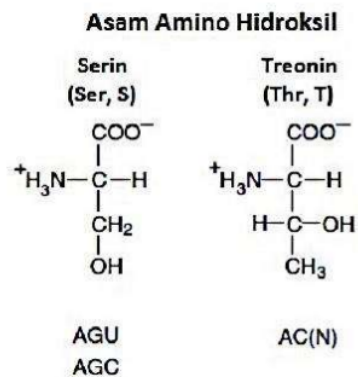
gugus amida aspartin. Aspartin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia

#### B. Glutamin (Gln, Q)

Glutamin pertama kali diisolasi dari jus gula bit oleh Schulze dan Bosshard pada tahun 1883. Keberadaannya dalam protein (edestin) dikonfirmasi oleh Damodaran pada tahun 1932. Glutamin dengan mudah diubah menjadi asam karboksilat pirrolidon yang stabil antara pH 2.2 dan 4.0. Glutamin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia.

#### 3.1.6 Asam Amino Hidroksil

Beberapa asam amino yang memiliki rantai cabang gugus alifatik hidroksil yaitu serin dan treonin. Keduanya memiliki sifat polar karena adanya gugus hidroksil yang mampu mengikat hidrogen dengan air.



Gambar 3.8. Struktur Asam Amino Berantai Hidroksil Beserta Kodon mRNA-nya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### A. Serin (Ser, S)

Serin pertama kali diisolasi dari sericin oleh Cramer pada tahun 1865. Sebagian besar protein mengandung sekitar 4%-8% serine. Dalam fosfoprotein

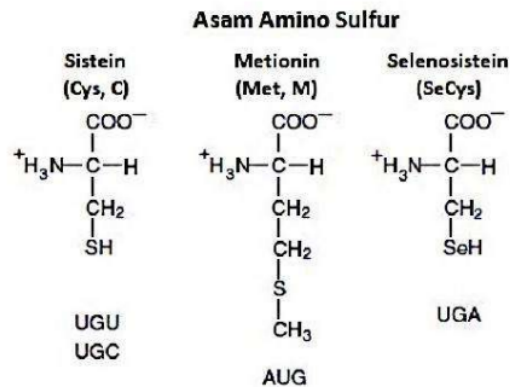
(kasein, fosvitin) serin seperti treonin yang merupakan pembawa asam fosfat dalam bentuk O-fosfoserin. Komponen karbohidrat glikoprotein dapat terikat O-glikosida melalui gugus hidroksil serin atau treonin ( $\kappa$ -kasein). Serin termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia.

#### B. Treonin (Thr, T)

Treonin ditemukan oleh Rose pada tahun 1935. Treonin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial untuk manusia, yang terdapat sekitar 4,5%–5% dalam daging, susu dan telur, dan sekitar 2,7%–4,7% pada sereal. Treonin sering kali merupakan asam amino pembatas dalam protein dengan kualitas biologis lebih rendah. Rasa "bouillon" dari protein hidrolisat sebagian berasal dari lakton yang berasal dari treonin

#### 3.1.7 Asam Amino yang Memiliki Sulfur

Beberapa asam amino yang rantai cabangnya memiliki atom sulfur yaitu sistein, metionin, dan selenosistein. Sistein dan metionin memiliki peranan penting dalam pembentukan ikatan disulfida molekul protein.



Gambar 3.9. Struktur Asam Amino Berantai Hidroksil Beserta Kodon mRNA-nya  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### A. Sistein (Cys, C)

Sistein terdapat dalam protein dengan kadar sekitar 2%. Sistein termasuk ke dalam golongan asam amino non esensial untuk manusia, karena sistein dapat disintesis dalam tubuh manusia. Mayoritas sistein dalam protein terdapat dalam bentuk sistin yang merupakan dimer dari sistein yang dibuat dengan oksidasi gugus tiol untuk membentuk *cross linking* disulfida.

Pada bahan pangan, sistein dapat ditemukan dalam kacang-kacangan, biji-bijian, daging, buah-buahan dan sayuran. Dalam protein pangan, kandungan sistein relatif rendah dan tidak melebihi 5% dari total asam amino. Diantara protein nabati, protein sereal mengandung sekitar 3%-5% sistein, sedangkan protein kacang-kacangan mengandung sekitar 2%-3,5% sistein. Umumnya protein hewani mengandung kadar sistein yang lebih tinggi dibandingkan sumber nabati. Sistein memiliki peran utama dalam biosintesis lipid dan membran sel.

#### B. Metionin (Met, M)

Metionin pertama kali diisolasi dari kasein oleh Mueller pada tahun 1922. Protein hewani mengandung sekitar 2%-4% metionin dan protein nabati mengandung sekitar 1%-2% metionin. Metionin termasuk ke dalam golongan asam amino esensial untuk manusia dan dalam banyak proses biokimia. Peran utamanya adalah sebagai donor metil. Metionin sangat sensitif terhadap oksigen dan perlakuan panas. Dengan demikian, terjadi kehilangan metionin pada banyak operasi pengolahan pangan seperti pengeringan, pengepakan, pemanggangan, atau pengolahan dengan zat pengoksidasi. Pada pemutihan

tepung dengan  $\text{NCl}_3$  (nitrogen triklorida), metionin diubah menjadi metionin sulfoksimida toksik.

### C. Selenosistein (SeCys)

Protein alami mengandung hingga 21 asam amino primer berbeda yang dihubungkan bersama melalui ikatan amida. Asam amino baru yang ke-21 dan telah diakui sebagai asam amino alami adalah selenosistein. Selenosistein tidak seperti asam amino lain yang terdapat dalam protein pangan karena selenosistein tidak dikodekan langsung dalam kode genetik, tetapi dikodekan dengan cara khusus oleh kodon UGA. Selenosistein memiliki peran dalam mekanisme katalitik enzim seleno seperti format *dehidrogenase* dari *E. coli* dan *glutathione peroksidase* pada mamalia.

Selain dari 21 asam amino primer yang telah disebutkan, beberapa protein juga mengandung jenis asam amino lain. Beberapa dari asam amino ini merupakan asam amino bebas, sementara yang lain telah ditemukan dalam peptida atau protein dan merupakan turunan dari asam amino primer. Asam amino turunan ini adalah asam amino *cross linking* atau turunan sederhana dari asam amino tunggal. Protein yang mengandung asam amino turunan disebut protein terkonjugasi. Sistin yang ditemukan pada sebagian besar protein merupakan contoh yang baik dari asam amino *cross linking*. Asam amino *cross linking* lainnya, seperti desmosin, isodesmosin, ditirosin dan tritirosin, ditemukan dalam protein struktural seperti elastin dan resilin.

Beberapa contoh asam amino yang tidak biasa dan ditemukan di beberapa protein pangan adalah sebagai berikut :

#### A. 5-hidroksilisin

5- hidroksilisin diisolasi oleh Van Slyke dkk Pada tahun 1921 dan Schryver dkk pada tahun 1925. Hidroksilisin adalah hasil modifikasi pasca-translasi selama pematangan serat kolagen. Komponen karbohidrat glikoprotein dapat terikat ke gugus hidroksil dari O-glikosidik pada asam amino.

B. 4-hidroksiprolin

4- hidroksiprolin pertama kali diperoleh dari gelatin oleh Fischer pada tahun 1902. Hidroksiprolin adalah hasil modifikasi pasca-translasi selama pematangan serat kolagen. Karena hidroksiprolin melimpah didalam kolagen yaitu sekitar 12,4%, penentuan hidroksiprolin digunakan untuk mendeteksi adanya jaringan ikat pada produk daging yang dihancurkan.

C. Karboksilglutamat,  $\gamma$ -karboksilglutamat ditemukan di beberapa darah yang beku

D. Fosfoserin dan fosfotreonin, O-fosfoserin dan fosfotretonin ditemukan dalam beberapa protein, termasuk kasein.

E. N-metilislin, ditemukan di myosin.

F. 4-metilprolin dan asam piperolat dalam apel

G. Sitrulin dalam semangka

H. Asam 1-aminosiklopropana-1-karbosilik pada pir dan apel

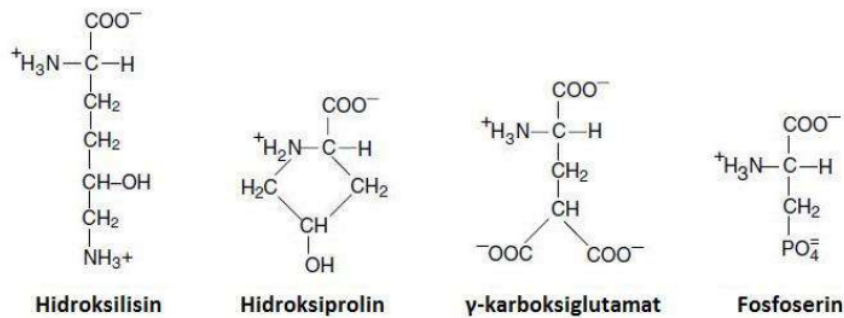
I. 2-alanil-3-isoxazolin-5-one pada bibit kacang polong

J. S-metilsistein-sulfoksida dalam kubis

K.  $\delta, \epsilon$ -dihidroksinorleusin pada tendon sapi

L. Furosin dan piridosin dalam susu yang dipanaskan





Gambar 3.10. Struktur Hidroksilislin, Hidroksiprolin,  $\gamma$ -karboksiglutamat, dan Fosfoferin

(Sumber : Damodaran, 2007)

### 3.2 Asam Amino Esensial dan Non Esensial

Asam amino terdiri dari dua kelompok yaitu asam amino esensial dan asam amino non esensial. Asam amino esensial merupakan asam amino yang dibutuhkan oleh tubuh melalui asupan makanan tertentu karena asam amino ini tidak dapat diproduksi sendiri oleh tubuh, sedangkan asam amino non esensial merupakan asam amino yang dapat diproduksi sendiri oleh tubuh sehingga tidak dibutuhkan melalui asupan makanan.

Asam amino yang tergolong ke dalam asam amino esensial dan non esensial terdapat pada tabel 1. Arginin merupakan asam amino non esensial bagi anak-anak dan orang dewasa, tetapi merupakan asam amino esensial bagi bayi karena berperan dalam pertumbuhan bayi. Sedangkan histidin merupakan asam amino esensial bagi anak-anak, tetapi merupakan asam amino non esensial bagi orang dewasa.

Tabel 3.1. Asam Amino Esensial dan Non Esensial

Asam Amino Esensial	Asam Amino Non Esensial
Histidin	Alanin

Isoleusin	Arginin
Lisin	Aspartin
Leusin	Asam aspartat
Metionin	Sistein
Fenilalanin	Asam glutamat
Treonin	Glutamin
Triptofan	Glisin
Valin	Prolin
	Serin
	Tirosin

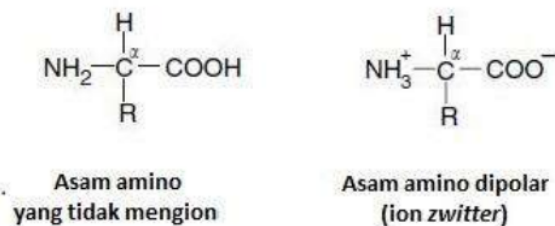
Terdapat sembilan asam amino esensial, yaitu: histidin, isoleusin, leusin, lisin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan, dan valin. Penting untuk secara teratur memasok tubuh dengan bahan pembangun penting ini, karena tubuh tidak dapat memproduksi atau menyimpan asam amino esensial. Penuhi diet dengan daging ayam, telur, ikan, daging sapi, tuna, kedelai dan kacang-kacangan. Untuk memastikan tubuh Anda menerima cukup asam amino esensial, aturan praktis yang baik adalah mengonsumsi minimal 0,5 gram protein per pon berat badan tanpa lemak setiap hari. Orang dewasa yang lebih tua, anak-anak, dan wanita hamil membutuhkan lebih banyak protein dan harus berkonsultasi dengan ahli diet atau dokter untuk mendapatkan saran. Khusus untuk atlet yang berusia 18 tahun atau lebih, kebutuhan protein jauh lebih tinggi dan dapat berkisar antara 1,0 dan 1,5 gram per pon berat badan tanpa lemak untuk mengoptimalkan pemulihan dan pertumbuhan otot tanpa lemak.

Asam amino non-esensial mengisi peran penting. Asam amino non-esensial mendukung pertumbuhan dan perbaikan jaringan, fungsi kekebalan, pembentukan sel darah merah, dan sintesis hormon. Tubuh yang sehat dapat membuat protein

non-esensial ini jika diberi sumber protein yang cukup dengan asam amino esensial. Terdapat 11 asam amino non-esensial, yaitu: arginin, glutamin, tirosin, sistein, glisin, prolin, serin, ornitin, alanin, asparagin, dan aspartat. Dari jumlah tersebut, delapan adalah asam amino bersyarat. Asam amino bersyarat adalah arginin, glutamin, tirosin, sistein, glisin, prolin, serin, dan ornitin. Biasanya tubuh akan mampu mensintesis asam amino ini. Namun, jika stres, sakit, atau tidak mengonsumsi cukup protein dan karbohidrat, tubuh tidak dapat memproduksi cukup protein dan karbohidrat.

### 3.3 Sifat Asam Basa Asam Amino

5 Karena asam amino mengandung gugus karboksil (asam) dan gugus amino (basa), keduanya berperilaku sebagai asam dan basa yang berarti merupakan amfoter. Misalnya glisin yang merupakan asam amino paling sederhana, dapat berada dalam tiga keadaan terionisasi yang berbeda tergantung pada pH larutan. Asam amino dalam kondisi netral, baik gugus  $\alpha$ -amino dan  $\alpha$ -karboksilnya terionisasi dan berada dalam bentuk ion dipolar atau ion *zwitter*. Kondisi pH dimana ion berada dalam bentuk dipolar secara elektrik disebut dengan pH Isoelektrik (pI).

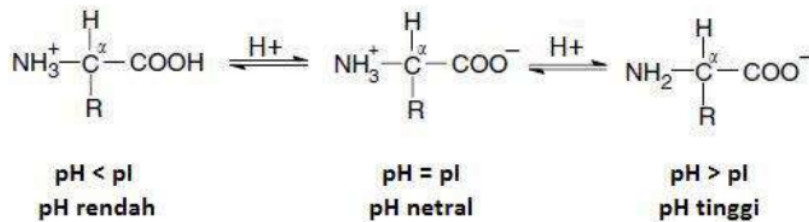


Gambar 3.11. Asam Amino Dipolar (Ion Zwitter)

(Sumber : Damodaran, 2007)

Pada asam amino yang dipolar, gugus amino mendapat tambahan sebuah proton dan gugus karboksil yang terdisosiasi. R-NH<sub>3</sub><sup>+</sup> dan R-COOH merupakan donor proton atau asam. Sedangkan R-NH<sub>2</sub> dan R-COO<sup>-</sup> merupakan akseptor proton atau basa konjugasinya dari asam yang bersangkutan atau yang sesuai.

Derajat ionisasi asam amino sangat dipengaruhi oleh pH. Pada pH yang rendah, misalnya pada pH 1,0, gugus karboksilnya tidak terdisosiasi sedangkan gugus aminonya menjadi ion dan yang dominan adalah bentuk kation atau bermuatan positif. Sedangkan pada pH yang tinggi, misalnya pada pH 11,0, gugus karboksilnya terdisosiasi sedangkan gugus aminonya tidak dan yang dominan adalah anion atau bermuatan negatif.



Gambar 3.12. Derajat Ionisasi Asam Amino yang Dipengaruhi pH

(Sumber : Damodaran, 2007)

Pada pH terjadinya isoelektrik disebut dengan titik isoelektrik. Pada titik isoelektrik, kelarutan asam amino sangat kecil dan bahkan tidak dapat bergerak. Sifat ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi atau pemisahan asam-asam amino.

Tabel 3.2. pH Isoelektrik dari Asam Amino pada Suhu 25°C

Asam Amino	pK <sub>1</sub>	pK <sub>2</sub>	pK <sub>3</sub>	pH Isoelektrik
Alanin	2,34	9,69	-	6,00
Arginin	2,17	9,04	12,48	10,76

Aspartin	2,02	8,80	-	5,41
Asam aspartat	1,88	9,60	3,65	2,77
Sistein	1,96	10,28	8,18	5,07
Glutamin	2,17	9,13	-	5,65
Asam glutamat	2,19	9,67	4,25	3,22
Glisin	2,34	9,60	-	5,98
Histidin	1,82	9,17	6,00	7,59
Isoleusin	2,36	9,68	-	6,02
Leusin	2,30	9,60	-	5,98
Lisin	2,18	8,95	10,53	9,74
Metionin	2,28	9,21	-	5,74
Fenilalanin	1,83	9,13	-	5,48
Prolin	1,94	10,60	-	6,30
Serin	2,20	9,15	-	5,68
Treonin	2,21	9,15	-	5,68
Triptofan	2,38	9,39	-	5,89
Tirosin	2,20	9,11	10,07	5,66
Valin	2,32	9,62	-	5,96

(Sumber : Damodaran, 2007)

pH isoelektrik merupakan pertengahan antara kedua nilai pK dari kedua jenis isoelektrisnya. pH di mana konsentrasi  $\text{COO}^-$  dan  $\text{COOH}$  sama dikenal sebagai  $\text{pK}_1$  (logaritma negatif dari konstanta disosiasi asam  $\text{K}_1$ ) dan pH dimana konsentrasi  $\text{NH}_3^+$  dan  $\text{NH}_2$  sama dikenal sebagai  $\text{pK}_2$ . Selain gugus  $\alpha$ -amino dan  $\alpha$ -karboksil, rantai samping lisin, arginin, histamin, asam aspartat, glutamin, sistein, dan tirosin juga mengandung gugus yang dapat terionisasi. Untuk menghitung pH isoelektris digunakan rumus sebagai berikut:

Untuk asam amino tanpa rantai cabang  $\text{pI} = \frac{1}{2} (\text{pK}_1 + \text{pK}_2)$

Untuk asam amino yang bersifat asam  $\text{pI} = \frac{1}{2} (\text{pK}_1 + \text{pK}_3)$

Untuk asam amino yang bersifat basa  $pI = \frac{1}{2} (pK_2 + pK_3)$

Dimana  $pK_1$  mengacu pada  $\alpha$ -karboksil,  $pK_2$  mengacu pada  $\alpha$ -amino dan  $pK_3$  mengacu pada gugus rantai cabang yang terionisasi.

### 3.4 Sifat Asam Amino

#### 3.4.1 Hidrofobisitas Asam Amino

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi sifat fisikokimia dari protein dan peptida seperti struktur, kelarutan, sifat pengikat lemak, dan lain sebagainya adalah hidrofobisitas dari asam amino penyusunnya. Hidrofobisitas dapat didefinisikan sebagai energi bebas berlebih dari zat terlarut yang terlarut dalam air dibandingkan dengan yang ada dalam pelarut organik dalam kondisi serupa. Cara langsung dan yang paling sederhana untuk memperkirakan sifat hidrofobik dari rantai cabang asam amino adalah dengan penentuan eksperimental perubahan energi bebas untuk pelarutan rantai samping asam amino dalam air dan pelarut organik, seperti oktanol atau etanol.

Rantai cabang asam amino dengan nilai  $\Delta G_{tr}^0$  (perubahan energi bebas dari oktanol ke air) positif yang besar bersifat hidrofobik, lebih suka berada dalam fase organik daripada dalam fase air. Dalam protein, asam amino ini cenderung menempatkan dirinya di bagian dalam molekul protein, dimana polaritas dari lingkungannya mirip dengan polaritas pada fase organik. Asam amino dengan nilai  $\Delta G_{tr}^0$  negatif bersifat hidrofilik, dan asam amino ini cenderung menempatkan dirinya pada bagian permukaan molekul protein. Hidrofobisitas asam amino non polar berkorelasi linier dengan luas permukaannya.

### 3.4.2 Kelarutan

Kelarutan tiap asam amino berbeda-beda dan sangat bervariasi (dapat dilihat pada tabel 2). Serin, prolin, lisin dan arginin merupakan asam amino yang sangat larut, glisin dan alanin juga cukup larut. Asam-asam amino lain secara signifikan sedikit larut, terutama tirosin yang memiliki kelarutan sangat rendah. Adanya penambahan asam atau basa dapat meningkatkan kelarutannya, karena dapat membentuk garam. Kehadiran asam amino lain juga dapat meningkatkan kelarutan. Jadi, tingkat kelarutan asam amino dalam protein yang dihidrolisis berbeda dengan kelarutan asam amino untuk masing-masing komponen.

Kelarutan asam amino dalam pelarut organik tidak terlalu baik karena asam amino memiliki sifat polar. Seluruh asam amino tidak dapat larut dalam eter, dan hanya sistein dan prolin yang relatif larut dalam etanol dengan kelarutan 1,5g/100g etanol pada suhu 19°C. Metionin, arginin dan leusin (0,0217g/100g etanol pada suhu 25°C), asam glutamat (0,00035g/100 g etanol pada suhu 25°C), fenilalanin, histidin dan triptofan sedikit larut dalam etanol. Kelarutan isoleusin dalam etanol panas relatif tinggi yaitu 0,09 g isoleusin /100 g etanol panas pada suhu 20°C dan 0,13 g isoleusin / 100 g etanol panas pada suhu sekitar 78°C -80°C.

Beberapa sifat dari asam amino seperti berat molekul, kelarutan, titik lebur dan hidrofobisitas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.3. Sifat Asam Amino

Asam Amino	Berat Molekul	Kelarutan (g/L) (pada 25°C)	Titik lebur	Hidrofobisitas (kcal/mol) <sup>a</sup> (pada 25°C)
Alanin	89,1	167,2	297	0,4
Arginin	174,2	855,6	230	-1,4
Aspartin	132,1	28,5	236	-0,8

Asam aspartat	133,1	5,0	289	-1,1
Sistein	121,1	-	-	2,1
Glutamin	146,1	7,2 (37°C)	186	-0,3
Asam glutamat	147,1	8,5	237	-0,9
Glisin	75,1	249,9	223	0
Histidin	155,2	-	287	0,2
Isoleusin	131,2	34,5	284	2,5
Leusin	131,2	21,7	337	2,3
Lisin	146,2	739,0	255	-1,4
Metionin	149,2	56,2	283	1,7
Fenilalanin	165,2	27,6	283	2,4
Prolin	115,1	620,0	220	1,0
Serin	105,1	422,0	228	-0,1
Treonin	119,1	13,2	257	0,4
Triptofan	204,2	13,6	289	3,1
Tirosin	181,2	0,4	344	1,3
Valin	117,1	58,1	315	1,7

\*a = Nilai  $\Delta G$  relatif terhadap glisin berdasarkan koefisien distribusi rantai cabang antara 1-oktanol dan air

(Sumber : Damodaran, 2007; Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 3.4.3 Penyerapan Sinar UV

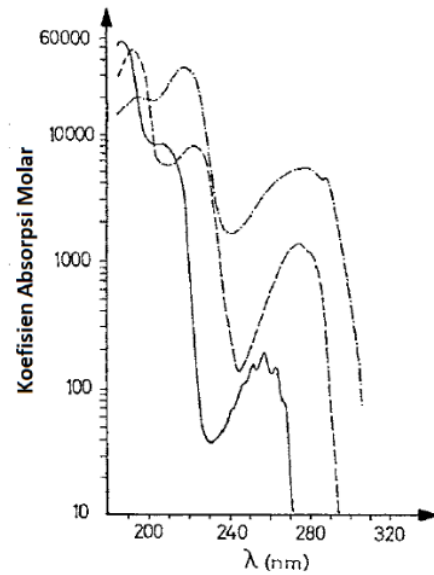
Asam amino aromatik seperti fenilalanin, tirosin dan triptofan menyerap rentang spektrum UV dengan absorpsi maksimal masing-masing 260 nm, 278 nm, dan 275 nm. Selain itu triptofan dan tirosin juga menunjukkan adanya fluoresensi di wilayah ultraviolet. Asam-asam amino ini bertanggung jawab atas sifat penyerapan sinar ultraviolet pada protein dalam kisaran 250-300 nm, dengan penyerapan maksimum sekitar 280 nm untuk sebagian besar protein.

Tabel 3.4. Penyerapan Sinar Ultraviolet pada Asam Amino Aromatik



Asam Amino	Absorpsi Panjang Gelombang Maksimal ( $\lambda_{maks}$ )	Koefisien Absorpsi Molar ( $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )
Fenilalanin	260	190
Triptofan	278	5500
Tirosin	275	1340

(Sumber : Damodaran, 2007)



Gambar 3.13. Spektrum Serapan Sinar Ultraviolet Beberapa Asam Amino  
(-.-.-Triptofan. ---Tirosin. — Fenilalanin)

(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

Pembacaan absorpsi pada 280 nm digunakan untuk penentuan protein dan peptida. Asam amino histidin, sistein, dan metionin menyerap sinar ultraviolet pada panjang gelombang antara 200 dan 210 nm.

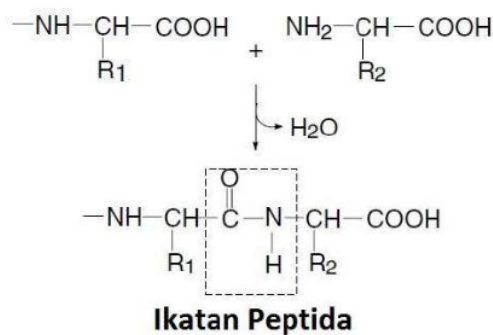
## BAB 3

### Peptida dan Ikatan yang Terdapat dalam Protein

Ikatan peptida merupakan ikatan yang membentuk polipeptida atau protein. Beberapa ikatan yang terdapat dalam polipeptida atau protein adalah ikatan disulfida, ikatan hidrogen, ikatan hidrofobik dan ikatan hidrogen. Ikatan-ikatan molekuler ini berperan dalam menstabilkan struktur protein dalam konformasi asli yang spesifik, dimana ikatan-ikatan tersebut dapat mempengaruhi kelenturan molekul, ukuran dan bentuk molekul protein.

#### 4.1 Ikatan Peptida

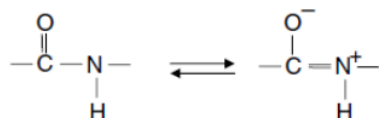
Pada prinsipnya, pembentukan ikatan peptida ( $-\text{CONH}-$ ) adalah penggabungan gugus amino dan gugus  $\alpha$ -karboksil dari dua residu asam amino dengan melepas satu molekul air. Protein dengan jumlah  $n$ -asam amino memiliki jumlah ikatan peptida  $n-1$ . Unsur asam amino penyusun peptida disebut dengan residu asam amino.



Gambar 4.1. Ikatan Peptida

(Sumber : Damodaran, 2007)

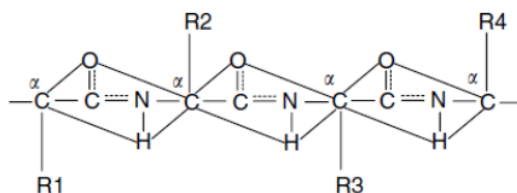
Meskipun ikatan  $\text{-CONH-}$  digambarkan sebagai ikatan kovalen tunggal, pada kenyataannya ikatan ini memiliki karakter ikatan rangkap parsial karena struktur resonansinya yang disebabkan oleh adanya delokalisasi elektron.



Gambar 4.2. Delokalisasi Elektron pada Ikatan  $\text{-CONH-}$

(Sumber : Damodaran, 2007)

Adanya delokalisasi elektron menyebabkan beberapa implikasi struktural penting dalam protein. dimana struktur resonansi dapat menghalangi protonasi gugus peptida N-H, dan karena adanya sifat ikatan rangkap parsial, rotasi ikatan  $\text{-CONH-}$  dibatasi hingga maksimum  $6^\circ$ , yang dikenal sebagai sudut  $\omega$ . Setiap segmen 6 atom ( $\text{C}\alpha\text{-CO-NH-C}\alpha\text{-}$ ) dari tulang punggung peptida terletak dalam satu bidang, karena batasan ini,.



Gambar 4.3. Tulang Punggung Peptida ( $\text{C}\alpha\text{-CO-NH-C}\alpha\text{-}$ )

(Sumber : Damodaran, 2007)

Kebebasan rotasi yang terbatas secara drastis akan mengurangi fleksibilitas tulang punggung, karena ikatan peptida membentuk sekitar sepertiga dari total ikatan kovalen pada tulang punggung peptida. Hanya ikatan  $\text{N-C}\alpha$  dan  $\text{C}\alpha\text{-C}$  yang memiliki kebebasan rotasi, masing-masing disebut sudut dihedral  $\phi$  (phi) dan  $\psi$  (psi). Sudut ini juga dikenal sebagai sudut torsi rantai utama. Dimana, untuk rantai

peptida yang diperpanjang sudut  $\varphi_i$  (phi) sebesar  $180^\circ$  dan  $\psi_i$  (psi) sebesar  $180^\circ$ .

Posisi dari rantai cabang dapat juga dijelaskan oleh serangkaian sudut  $\chi_i^{1-n}$ .

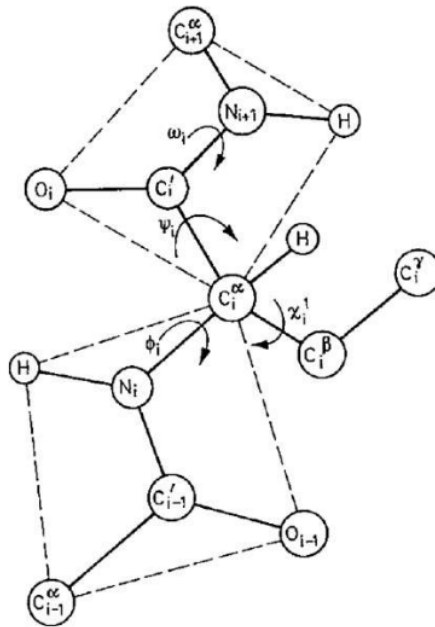
$\omega_i = 0^\circ$ , untuk  $C_i\alpha-C_i$  atau  $N_{i+1}-C\alpha_{i+1}$  → Cis

$\psi_i = 0^\circ$ , untuk  $C_i\alpha-N_i$  atau  $C_i-O_i$  → Trans

$\phi_i = 0^\circ$ , untuk  $C_i-C_i$  atau  $N_i-H$  → Trans

$\chi_i = 0^\circ$ , untuk  $C_i\alpha-N_iC_i\beta-C_i$  → Cis

Sudutnya positif jika rotasi searah jarum jam dan dilihat dari sisi N- terminal suatu ikatan atau (untuk X) dari atom yang lebih dekat ke rantai utama.



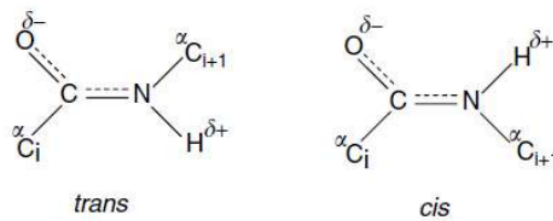
Gambar 4.4. Sudut Torsi pada Rantai Peptida

(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

Delokalisasi elektron juga dapat memberikan muatan negatif parsial pada atom oksigen karbonil dan muatan positif parsial pada atom hidrogen dari gugus

NH, oleh sebab itu ikatan hidrogen (interaksi dipol-dipol) antara gugus tulang punggung peptida C=O dan N-H dimungkinkan dalam kondisi yang sesuai.

Akibat lain dari sifat ikatan rangkap parsial dari ikatan peptida yaitu, empat atom yang terikat pada ikatan peptida dapat berada dalam konfigurasi cis atau trans, tetapi hampir semua ikatan peptida protein ada dalam konfigurasi trans. Keadaan ini disebabkan konfigurasi trans secara termodinamika lebih stabil daripada konfigurasi cis.



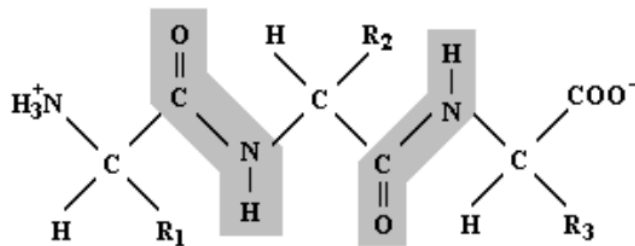
Gambar 4.5. Konfigurasi Cis dan Trans

(Sumber : Damodaran, 2007)

Isomerisasi ikatan peptida tidak dapat terjadi pada protein, karena transformasi trans  $\rightarrow$  cis dapat meningkatkan energi bebas ikatan peptida sebesar 8,3 kkal/mol, kecuali pada ikatan peptida yang melibatkan residu prolin. Pada suhu tinggi ikatan peptida ini terkadang mengalami isomerisasi trans  $\rightarrow$  cis, karena perubahan energi bebas untuk transformasi ikatan peptida trans  $\rightarrow$  cis yang melibatkan residu prolin hanya sekitar 1,86 kkal/mol,. Meskipun ikatan N-C $\alpha$  dan C $\alpha$ -C benar-benar merupakan ikatan tunggal. Dengan demikian sudut dihedral N dan P secara teoritis dapat memiliki kebebasan rotasi 360°. Pada kenyataannya kebebasan rotasinya dibatasi oleh hambatan sterik dari atom rantai samping. Pembatasan ini semakin menurunkan fleksibilitas rantai polipeptida.

Penamaan peptida didasarkan pada banyaknya residu asam amino penyusunnya, dimana umumnya peptida disusun oleh 2 <sup>1</sup> residu asam amino atau lebih. Peptida yang disusun oleh dua residu asam amino disebut dengan tripeptida. <sup>1</sup> Peptida yang disusun oleh tiga residu asam amino disebut dengan tripeptida, peptida yang disusun oleh empat residu asam amino disebut dengan tetrapeptida, dan selanjutnya. Peptida dengan residu asam amino kurang dari 10 disebut dengan oligopeptida dan peptida dengan <sup>1</sup> lebih dari sepuluh residu asam amino disebut dengan polipeptida. Umumnya polipeptida terdiri dari sekitar 100 residu asam amino dengan berat molekul sekitar 10 kdal.

<sup>1</sup> Struktur peptida ditulis dengan ketentuan “residu N-terminal berada di sebelah kiri dan C-terminal berada di sebelah kanan”.



Gambar 4.6. Struktur Polipeptida  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

<sup>1</sup> Tulang punggung polipeptida berupa rantai zig-zag yang menghubungkan antara gugus-gugus  $-NH_3^+$ ,  $-COO^-$ , dan  $C\alpha$ . Gugus  $C\alpha$ ,  $CO$ , dan  $NH$  letaknya berselang-seling.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  merupakan gugus rantai samping yang sesuai. Tulang punggung polipeptida dapat digambarkan sebagai unit berulang  $-N-C-C\alpha-$  atau  $-C\alpha-C-N$ . Ikatan  $-NH-C\alpha HR-CO-$  berhubungan dengan residu asam amino, sedangkan  $-C\alpha HR-CO-NH-$  yang mewakili unit peptida.

<sup>1</sup> Pada umumnya penulisan polipeptida tidak ditulis secara konvensional seperti di atas, tetapi ditulis dengan menggunakan singkatan kimianya, misalnya :

**Glu-Lys-(Ala,Glu,Tyr)-His-Ala**

**N-terminal**

**C-**

**terminal**

atau ditulis:

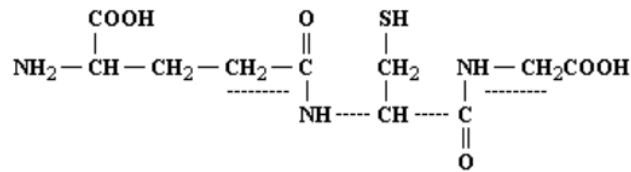
**E K (A,E,Y) H A**

Pada struktur di atas, N-terminal berupa glutamat (Glu atau E) dan C-terminal berupa alanin (Ala atau A). Antara nama asam amino dengan nama singkatan tiga huruf diberi tanda penghubung (-), sedangkan untuk nama singkatan satu huruf tidak diberi tanda penghubung. Nama-nama yang berada diantara tanda kurung melambangkan bahwa struktur asam aminonya tidak pasti.

Peptida tersebar secara luas di alam. Peptida umumnya terlibat dalam aktivitas biologis tertentu seperti peptida hormon, peptida toksin, peptida antibiotik dan lain-lain. Beberapa peptida yang menarik dalam bidang pangan yaitu glutathione, carnosine, anserin dan balenin serta nisin.

#### A. Glutathione

Glutathione ( $\gamma$ -L-glutamyl-L-sisteinil-glisin) merupakan <sup>1</sup> tripeptida yang mengandung asam glutamat, sistein dan glisin. Glutathione tersebar luas pada hewan, tumbuhan dan mikroorganisme dan ditemukan dalam konsentrasi yang sangat tinggi (sekitar 5 milimolar) pada kebanyakan sel. Konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi yang sama dengan glukosa, kalium dan kolesterol dalam sel.



Gambar 4.7. Struktur Glutathione  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Beberapa bahan pangan memiliki kandungan glutathione yang tinggi seperti daging sapi 200 mg/kg, brokoli 140 mg/kg, bayam 120 mg/kg, Peterseli 120 mg/kg, ayam 95 mg/kg, kembang kol mg/kg, kentang 71 mg/kg, paprika 49 mg/kg dan jeruk 40 mg/kg. Dalam glutathione, ikatan peptida pada asam glutamat terbentuk pada gugus  $\gamma$ -karboksil.

Glutathione memiliki fungsi terhadap pertahanan antioksidan, proses metabolisme dan proses regulasi dalam tubuh yaitu sebagai berikut :

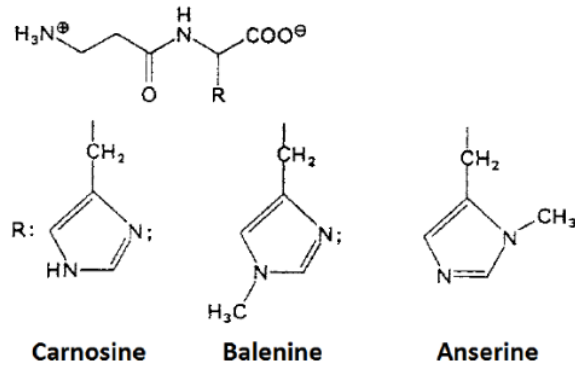
1. Kofaktor untuk beberapa enzim antioksidan
2. Regenerasi vitamin C dan E
3. Netralisasi radikal bebas yang dihasilkan oleh metabolisme dalam hati dari racun kimiawi tahap 1
4. Transportasi merkuri keluar dari sel dan otak
5. Mengatur proliferasi seluler dan apoptosis
6. Berperan penting dalam fungsi mitokondria dan pemeliharaan DNA mitokondria (mtDNA)

#### B. Carnosine, Anserine dan Balenine

Peptida-peptida ini mengandung asam  $\beta$ -amino,  $\beta$ -alanin yang terikat pada L-histidin atau 1 metil- atau 3 metil-L-histidin dan terdapat dalam ekstrak daging dan otot vertebrata. Carnosine banyak terdapat dalam jaringan otot



daging sapi, anserine banyak terdapat dalam daging ayam dan balenine merupakan penyusun karakteristik otot ikan paus, kecuali ikan paus sperma.



Gambar 4.8. Struktur Carnosine, Anserine dan Balenine

(Sumber : Belitz, *et.al.* 2009)

Tabel 4.1. Kandungan Carnosine, Anserine dan Balenine pada Daging (%)

Daging	Carnosine	Anserine	Balenine	Jumlah Peptida $\beta$ -alanin
Jaringan otot daging sapi				0,2-0,4
Ekstrak daging sapi	0,15-0,35	0,01-0,05		4,4-6,2
Daging ayam (tanpa lemak dan tulang)	3,1-5,7	0,4-1,0		
Ekstrak daging ayam	0,7-1,2	2,5-3,5		
Daging ikan paus				Sekitar 0,3
Ekstrak daging ikan paus (campuran beberapa paus)	3,1-5,9	0,2-0,6	13,5-23,0	16-30
Ekstrak daging ikan paus (campuran beberapa paus dengan ikan paus sperma)	2,5-4,5	1,2-3,0	1-5,2	3,5-12

(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

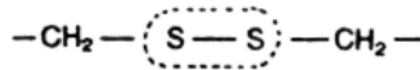
Ketiga peptida ini digunakan secara analisis untuk mengidentifikasi ekstrak daging. Peran fisiologis peptida-peptida belum diketahui secara



menekan mikroorganisme anaerob dalam produk keju, terutama pada keju keras dan keju olahan untuk menghambat fermentasi asam butirat. Penggunaan nisin dalam pengalengan sayuran pun memungkinkan sayuran dalam kondisi sterilisasi ringan

## 4.2 Ikatan Disulfida

Ikatan disulfida ( $-S-S-$ ) merupakan ikatan yang terbentuk antara dua residu asam amino yang saling berhubungan. Ikatan disulfida adalah satu-satunya ikatan silang rantai cabang kovalen yang ditemukan dalam protein. Ikatan ini dapat terjadi secara intramolekul dan antarmolekul.

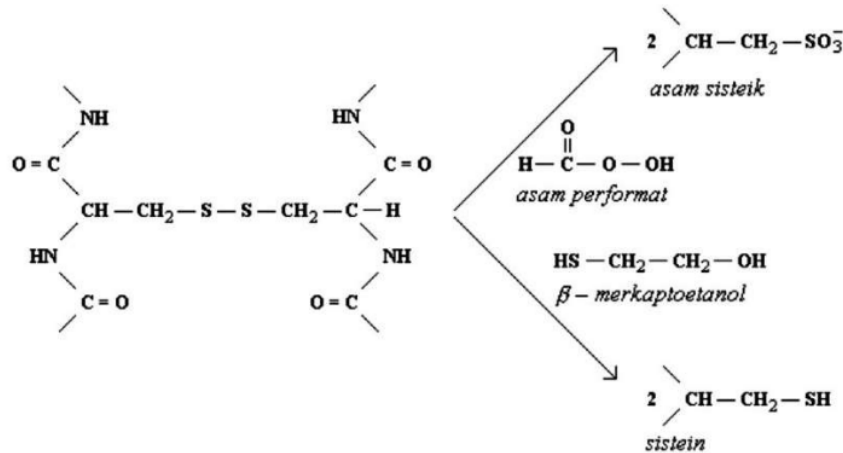


Gambar 4.10. Ikatan Sulfida Pada Protein

(Sumber : Winarno, 1992)

Ikatan disulfida merupakan ikatan yang paling kuat dalam mempertahankan struktur tersier dari protein karena ikatan ini relatif stabil dan cenderung resisten terhadap penyebab denaturasi protein. Ikatan sulfida terdapat pada protein yang hanya terdiri dari satu rantai peptida seperti sistin yang merupakan hasil dari dua residu sistein yang dihubungkan dengan ikatan disulfida. Ketika dua residu sistein didekatkan dengan orientasi yang tepat, oksidasi gugus sulfhidril oleh oksigen molekuler menghasilkan pembentukan ikatan disulfida. Setelah terbentuk, ikatan disulfida yang terbentuk akan membantu menstabilkan struktur protein yang terlipat.

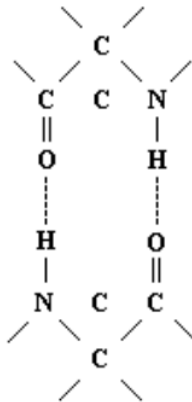
1 Beberapa senyawa yang mampu memecah ikatan disulfida dari sistin antara lain asam performat yang menghasilkan dua asam sisteik dan  $\beta$ -merkaptoetanol yang menghasilkan dua sistein.



Gambar 4.11. Pemecahan Ikatan Disulfida Pada Sistin  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

#### 4.3 1 Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen terbentuk antara residu pengikat yang terdapat pada rantai samping ikatan peptida asam amino dan ikatan yang terbentuk antara atom hidrogen dengan atom oksigen dari ikatan peptida sendiri. Ikatan hidrogen melibatkan interaksi antara atom hidrogen yang terikat secara kovalen ke atom elektronegatif seperti atom N, O atau S dengan atom elektronegatif lain.



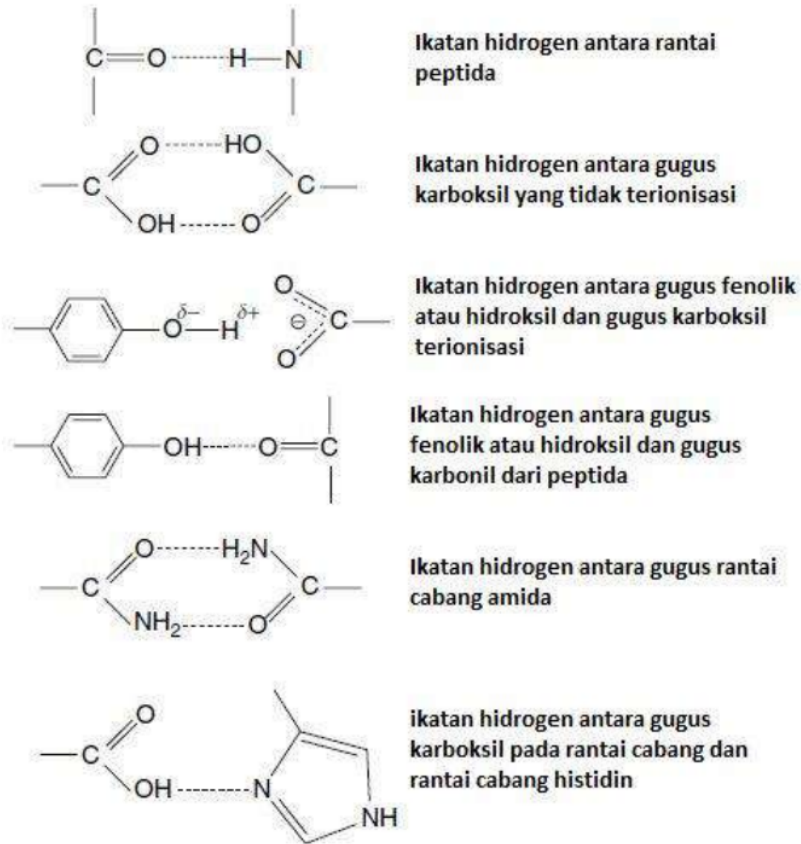
Gambar 4.12. Ikatan Hidrogen Pada Protein  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Ikatan hidrogen terdapat pada ujung rantai asam amino polar, misalnya pada asam glutamat, asparagin, dan glutamin. Ikatan hidrogen memiliki peran penting dalam mempertahankan struktur primer dari protein. Kekuatan ikatan hidrogen berkisar antara 2 hingga 7,9 kkal/mol, tergantung pada pasangan atom elektronegatif yang terlibat dan sudut dari ikatan hidrogen tersebut.

Protein mengandung beberapa kelompok yang mampu membentuk ikatan hidrogen (Gambar 3.13), yaitu pada kelompok protein yang memiliki gugus fungsi amida, hidroksil dan fenolik. Ikatan hidrogen antara rantai peptida ( $\text{N-H} \cdots \text{O=C}$ ) yang tidak berdekatan akan menghasilkan pembentukan struktur sekunder protein seperti  $\alpha$ -heliks dan  $\beta$ -berlipat.

Stabilitas ikatan hidrogen bergantung pada konstanta dielektrik lingkungannya. Stabilitas ikatan hidrogen dalam struktur sekunder disebabkan oleh dielektrik rendah yang ditimbulkan oleh adanya interaksi antara residu asam amino non polar. Rantai cabang yang besar ini dapat mencegah akses air ke ikatan

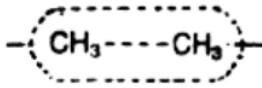
hidrogen N-H ··· O=C. Ikatan hidrogen tersebut hanya stabil selama dilindungi dari adanya air.



Gambar 4.13. Macam-macam Ikatan Hidrogen pada Protein  
(Sumber : Damodaran, 2007)

#### 4.4 Ikatan Hidrofobik

Ikatan hidrofobik terjadi antara ikatan-ikatan non polar molekul. Dalam larutan air, ikatan hidrofobik antara gugus non polar merupakan hasil dari interaksi yang tidak menguntungkan secara termodinamika antara air dan gugus non polar. Ikatan hidrofobik terdapat pada leusin, valin, fenilalanin dan metionin.



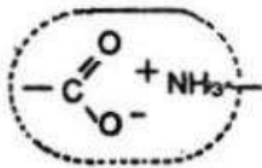
Gambar 4.14. Ikatan Hidrofobik Pada Protein

(Sumber : Winarno, 1992)

Pada larutan air, rantai cabang non polar <sup>1</sup> dari asam amino netral pada protein cenderung berkumpul, meskipun hal tersebut tidak stoikiometri. Oleh karena itu area yang kontak langsung dengan air dapat diminimalisir. Hal tersebut berperan penting dalam mempertahankan struktur protein. Oleh sebab itu, ikatan <sup>1</sup> hidrofobik mempunyai kemampuan yang besar untuk menstabilkan struktur tersier dari protein. Selain itu disebabkan pula pada sebagian besar protein globular, residu asam amino non polar menempati sekitar 40%-50% dari permukaan molekul protein yang dapat diakses oleh air.

#### 4.5 Ikatan Ionik

Ikatan ionik <sup>1</sup> merupakan ikatan garam antara gugus yang memiliki muatan yang berlawanan pada rantai cabang asam aminonya.



Gambar 4.15. Ikatan Ionik Pada Protein

(Sumber : Winarno, 1992)

Ikatan ionik tidak memiliki peran penting terhadap struktur protein. Namun gugus yang memiliki muatan, sebagian besar terdapat di bagian dalam protein, dimana permitivitasnya lebih rendah daripada air dan biasanya membentuk garam

dengan energi interaksi yang kuat. Energi interaksi elektrostatik dari ikatan ionik ini dapat berkisar antara  $\pm 0.84$  dan  $\pm 110$  kkal /mol tergantung pada jarak dan permitivitas lokal.

Meskipun ikatan ionik tidak memiliki peran penting terhadap struktur protein, kecenderungan gugus bermuatan untuk tetap terpapar pada lingkungan yang berair dapat mempengaruhi struktur protein. Ikatan ionik mempunyai kecenderungan bereaksi dengan ion-ion lain di sekitar protein. Ikatan ionik terdapat pada lisin, arginin, asam aspartat dan asam glutamat. Lisin memiliki muatan bersih  $1+$  (positif) dan asam aspartat atau glutamat memiliki muatan bersih  $1-$  (negatif), sehingga keduanya saling bereaksi secara ionik untuk menstabilkan struktur protein.



## BAB 4

### Protein

Seperti peptida, protein dibentuk dari asam amino melalui ikatan peptida. Membutuhkan sekitar 100 residu asam amino atau lebih untuk bergabung dalam satu rantai untuk menjadi protein. Struktur suatu protein bergantung pada urutan asam amino (struktur primer) yang menentukan konformasi molekul (struktur sekunder dan tersier). Protein terkadang muncul sebagai agregat molekul yang tersusun dalam bentuk geometris yang teratur (struktur kuartener).

#### 5.1 Struktur Protein

Struktur protein berdasarkan susunan gugus-gugus rantai polipeptida dan posisinya dalam molekul dapat dikelompokkan menjadi empat, yaitu struktur primer, struktur sekunder, struktur tersier dan struktur kuartener.

##### 5.1.1 Struktur Primer

Struktur primer merupakan protein dengan susunan linier (rantai lurus tidak bercabang) yang berikatan melalui ikatan peptida secara kovalen. Karena protein struktur primer disusun oleh protein rantai lurus, maka akan diperoleh protein yang berbentuk sangat panjang dan pipih.



Gambar 5.1. Ilustrasi Protein Struktur Primer

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Dalam struktur primer yang berbentuk linier ini, semua residu asam amino berada dalam konfigurasi L (levorotatori). <sup>1</sup> Berat molekul, komposisi asam amino dan posisi residu asam amino dalam polipeptida penyusun protein sangat berperan dalam protein struktur primer. <sup>1</sup> Protein struktur primer jarang sekali dijumpai di alam dan merupakan suatu rangkaian unik dari asam amino yang dapat menentukan sifat dasar dari berbagai protein dan memungkinkan terjadinya banyak reaksi dengan senyawa lain. Struktur primer secara umum menentukan bentuk dari struktur sekunder dan tersier.

Fraksi dan distribusi residu hidrofilik dan hidrofobik pada struktur primer mempengaruhi beberapa sifat fisikokimia protein. Misalnya, bentuk molekul protein ditentukan oleh urutan asam aminonya. Jika protein mengandung sejumlah besar residu hidrofilik yang didistribusikan secara seragam dalam urutannya, maka protein tersebut akan memiliki bentuk memanjang atau seperti batang. Penyebabnya, untuk massa tertentu, bentuk memanjang memiliki rasio luas permukaan-volume yang besar sehingga lebih banyak residu hidrofilik dapat ditempatkan di permukaan. Pada sisi lainnya, jika protein mengandung sejumlah besar residu hidrofobik, protein akan berbentuk bulat). Kondisi ini meminimalkan rasio luas permukaan terhadap volume, memungkinkan lebih banyak residu hidrofobik terkubur di interior protein. Diantara protein globular, umumnya ditemukan bahwa molekul yang lebih besar mengandung fraksi asam amino non polar yang lebih besar daripada molekul yang lebih kecil.

Struktur primer protein mengacu pada urutan ikatan peptida yang terkait dengan asam amino, yang dijelaskan dari N-terminal ke C-terminal. Struktur primer

juga mencakup struktur terikat kovalen lainnya, seperti lokasi jembatan disulfida dan lokasi modifikasi rantai samping pasca translasi (misalnya metilasi, glikosilasi, fosforilasi). Setiap residu dalam urutan struktur primer dapat ditempati oleh salah satu dari 20 asam amino protein yang memiliki potensi sangat besar terdapat dalam berbagai bentuk yang sangat beragam.

### 5.1.2 Struktur Sekunder

Struktur sekunder dari protein merupakan bentuk tiga dimensi dengan rantai-rantai cabang yang tersusun saling berdekatan. Struktur sekunder merupakan bentuk berulang dari struktur primer. Struktur sekunder dari protein mengacu pada pengaturan spasial yang teratur dari residu asam amino pada bagian tertentu dari rantai polipeptida. Struktur sekunder ditentukan oleh planaritas ikatan peptida, ikatan hidrogen antara akseptor C=O dan gugus donor N-H dari ikatan peptida serta kemungkinan adanya rotasi di sekitar N-C dan C-C obligat. Struktur yang teratur ini muncul ketika residu asam amino yang berurutan dalam suatu bagian dan rantai peptida tidak berada dalam bentuk yang diperpanjang atau tidak dilipat yang diasumsikan memiliki sudut torsi  $\phi$  (phi) dan  $\psi$  (psi) yang sama ( $\phi, \psi = 180^\circ$ ).

Secara umum struktur sekunder mempunyai 2 bentuk yang teratur, yaitu **5** bentuk spiral ( $\alpha$ -heliks) dan bentuk lipatan ( $\beta$ -berlipat). Bentuk heliks terdapat pada kolagen, sedangkan bentuk lipatan terdapat pada molekul-molekul sutra.

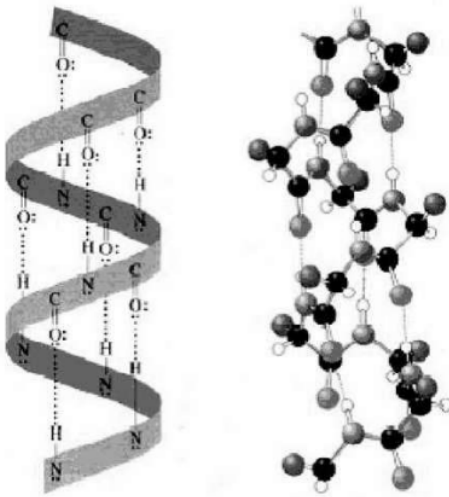
#### A. Struktur Heliks

Struktur heliks dari protein terbentuk ketika sudut  $\phi$  dan  $\psi$  dari residu asam amino yang berurutan diputar ke nilai yang sama. Dengan memilih kombinasi yang berbeda dari sudut  $\phi$  dan  $\psi$ , secara teori dimungkinkan untuk membuat beberapa jenis struktur heliks dengan geometri yang berbeda. Namun pada

protein hanya ditemukan tiga jenis struktur heliks yaitu,  $\alpha$ -heliks,  $3_{10}$ -heliks, dan  $\beta$ -heliks.

Diantara ketiga struktur heliks tersebut,  $\alpha$ -heliks merupakan bentuk utama dan yang paling sering ditemukan.  $\alpha$ -heliks ditemukan pada polipeptida dari L-asam amino dan merupakan bentuk yang paling stabil, dimana  $\alpha$ -heliks distabilkan dengan adanya ikatan hidrogen. Dalam struktur ini, setiap tulang punggung gugus N-H terikat ke gugus C=O dari residu keempat sebelumnya sehingga menghasilkan momen dipol sepanjang sumbu heliks, dengan kutub positif pada ujung-N dan kutub negatif pada ujung-C. Rantai samping residu mengarah jauh dari permukaan heliks, dan banyak heliks memiliki permukaan hidrofilik dan hidrofobik. Tiga belas atom tulang punggung berada dalam putaran ikatan hidrogen dengan 3,6 residu per putaran, sehingga  $\alpha$ -heliks kadang-kadang disebut dengan  $3.6_{13}$  heliks.

$\alpha$ -heliks dapat berada dalam bentuk  $\alpha$ -heliks arah putar kanan atau  $\alpha$ -heliks arah putar kiri (kidal), namun  $\alpha$ -heliks arah putar kanan lebih stabil dari  $\alpha$ -heliks arah putar kiri, karena secara energik  $\alpha$ -heliks arah putar kiri tidak baik untuk L-asam amino. Penyebabnya karena rantai sampingnya berhubungan erat dengan tulang punggung peptida.  $\alpha$ -heliks arah putar kanan dapat ditemukan pada asam poli-D-amino dan poli-( $\beta$ -benzil)-L-aspartat, sedangkan  $\alpha$ -heliks arah putar kiri dapat ditemukan pada protein globular dan sebagai gulungan melingkar pada protein fibrosa.



Gambar 5.2. Struktur  $\alpha$ -heliks  
(Sumber : Damodaran, 2007)

Sebagian besar struktur  $\alpha$ -heliks yang ditemukan dalam protein bersifat amfifilik, dimana setengah dari permukaan heliks ditempati oleh residu asam amino hidrofobik dan setengah lainnya oleh residu asam amino hidrofilik. Pada sebagian besar protein, permukaan non polar dari heliks menghadap ke bagian dalam protein dan umumnya terlibat dalam interaksi hidrofobik dengan permukaan non polar lainnya.

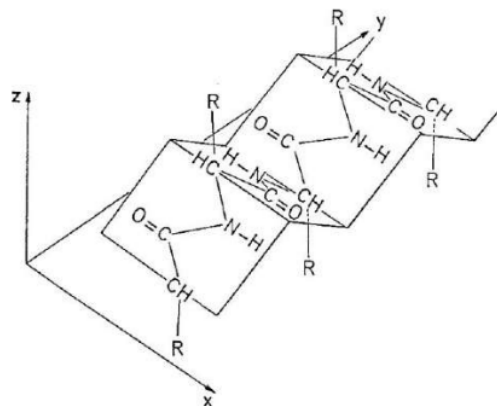
Jenis struktur heliks lain yang ditemukan dalam protein yaitu  $\beta$ -heliks dan  $3_{10}$ -heliks. Keduanya kurang stabil bila dibandingkan dengan  $\alpha$ -heliks dan hanya terdapat sebagai segmen pendek yang melibatkan sedikit residu asam amino dan bukan merupakan bagian yang utama pada sebagian besar protein.  $3_{10}$ -heliks biasanya ditemukan pada ujung rantai  $\alpha$ -heliks bukan sebagai struktur utama.

Dalam residu prolin, terdapat struktur cincin yang dibentuk oleh ikatan kovalen rantai samping propil ke gugus amino, sehingga tidak memungkinkan

adanya rotasi ikatan N-C $\alpha$  sehingga sudut  $\phi$ -nya memiliki nilai tetap  $70^\circ$ . Selain itu, karena tidak ada hidrogen pada atom nitrogen, maka tidak dapat membentuk ikatan hidrogen. Karena kedua alasan tersebut, maka bagian yang mengandung residu prolin tidak dapat membentuk  $\alpha$ -heliks. Protein yang mengandung residu prolin tingkat tinggi cenderung memiliki struktur acak atau aperiodik.

#### B. Struktur Lembaran

$\beta$ -berlipat merupakan struktur yang diperpanjang dengan bentuk geometri yang spesifik dimana kerangka protein memiliki pola zig-zag dengan gugus R mencuat ke atas dan ke bawah karena rantai peptidanya yang selalu terlipat ringan pada atom C $\alpha$ . Pada struktur lembaran ini, gugus C=O dan N-H berorientasi tegak lurus terhadap arah rantai, sehingga ikatan hidrogen hanya mungkin terjadi di intersegmen dan tidak dalam suatu segmen (intrasegmen).  $\beta$ -berlipat memiliki nilai sudut torsi dalam kisaran  $\phi = -120^\circ$  dan  $\psi = +120^\circ$ , sedangkan rantai polipeptida yang sepenuhnya diperpanjang memiliki sudut torsi  $\phi$  dan  $\psi$  yang sama yaitu pada sudut  $180^\circ$ .  $\beta$ -berlipat biasanya memiliki panjang sekitar 5-15 residu asam amino.

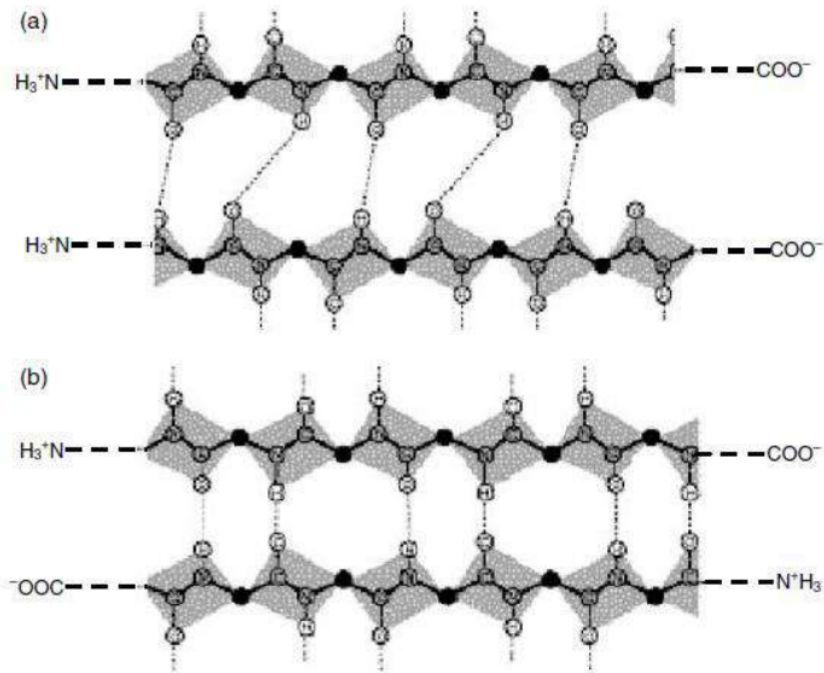


Gambar 5.3. Struktur  $\beta$ -berlipat dari Rantai Peptida

(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

Dalam protein, dua untai  $\beta$  dari molekul yang sama berinteraksi melalui ikatan hidrogen yang membentuk struktur seperti lembaran yang dikenal sebagai  $\beta$ -berlipat. Terdapat dua jenis struktur  $\beta$ -berlipat yaitu  $\beta$ -berlipat paralel dan  $\beta$ -berlipat antiparalel.  $\beta$ -berlipat paralel biasanya terdapat pada bagian rantai tetangga dari protein globular, sedangkan  $\beta$ -berlipat antiparalel biasanya terdapat pada protein dan polipeptida sintetik.

Dalam struktur  $\beta$ -berlipat paralel, arah rantai  $\beta$ -berlipat berjalan paralel satu sama lain karena ikatan hidrogen antar rantai yang terjadi menunjuk ke arah yang sama. Berbeda dengan  $\beta$ -berlipat antiparalel, arah rantai  $\beta$ -berlipat berjalan secara berlawanan satu sama lain karena ikatan hidrogen antar rantai yang terjadi menunjuk ke arah yang berlawanan. Perbedaan arah rantai ini mempengaruhi struktur geometri dari ikatan hidrogen. Dalam  $\beta$ -berlipat antiparalel, atom N-H ... O terletak pada garis lurus yang dapat meningkatkan stabilitas dari ikatan hidrogen. Sedangkan dalam  $\beta$ -berlipat paralel, atom N-H ... O terletak pada suatu sudut, dimana dapat mengurangi stabilitas dari ikatan hidrogen. Oleh karena itu,  $\beta$ -berlipat antiparalel lebih stabil daripada  $\beta$ -berlipat paralel.



Gambar 5.4. Rantai  $\beta$ -berlipat (a) Paralel dan (b) Antiparalel

(Sumber : Damodaran, 2007)

Struktur  $\beta$ -berlipat umumnya lebih stabil daripada struktur  $\alpha$ -heliks. Protein yang mengandung fraksi struktur  $\beta$ -berlipat lebih besar biasanya menunjukkan suhu denaturasi yang tinggi. Misalnya pada  $\beta$ -laktoglobulin yang mengandung 51% struktur  $\beta$ -berlipat dan globulin kedelai 11S yang mengandung 64% struktur  $\beta$ -berlipat, memiliki suhu denaturasi termal masing-masing 75,6°C dan 84,5°C. Sedangkan albumin serum sapi, yang memiliki struktur  $\alpha$ -heliks sekitar 64%, memiliki suhu denaturasi sekitar 64°C. Ketika larutan protein tipe  $\alpha$ -heliks dipanaskan dan didinginkan, struktur  $\alpha$ -heliks biasanya berubah menjadi struktur  $\beta$ -berlipat.

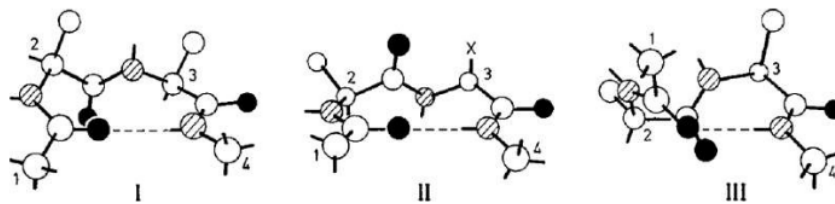
C.  $\beta$ -lekukan



Struktur umum lainnya yang ditemukan dalam protein adalah  $\beta$ -lekukan. Struktur tersebut muncul sebagai akibat terjadinya pembalikan sebesar  $180^\circ$  pada rantai polipeptida yang terlibat dalam pembentukan struktur  $\beta$ -berlipat.  $\beta$ -lekukan merupakan hasil pembentukan  $\beta$ -berlipat antiparalel dan lekukan silang merupakan hasil pembentukan  $\beta$ -berlipat paralel.

Lekukan ini memiliki tipe sudut jepit rambut dimana rantai peptida dapat berubah arah secara tiba-tiba. Biasanya  $\beta$ -lekukan melibatkan 4 bagian residu dimana dua diantaranya termasuk prolin dan glisin yang melipat kembali pada dirinya sendiri dan lekukan tersebut distabilkan oleh ikatan hidrogen. Residu asam amino asam aspartat, sistein, aspartin, glisin, tirosin dan prolin biasa ditemukan pada  $\beta$ -lekukan.

Terdapat beberapa tipe  $\beta$ -lekukan, yaitu tipe I (42% dari 421 putaran yang diperiksa), tipe II (15% dari 421 putaran yang diperiksa) dan tipe III (18% dari 421 putaran yang diperiksa). Pada tipe I, semua residu asam amino diperbolehkan, dengan pengecualian prolin pada posisi 3. Pada tipe II, glisin diperlukan pada posisi 3. Pada tipe III, yang sesuai dengan  $3_{10}$ -helix, semua asam amino diperbolehkan.



Gambar 5.5.  $\beta$ -lekukan Tipe I-III  
(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

Tabel 5.1. Komponen Struktur Sekunder (% Residu Asam Amino) dari beberapa Protein Globular

Protein	$\alpha$ -heliks	$\beta$ -berlipat	$\beta$ -lekukan	aperiodik
Deoksihemoglobin	85,6	0	8,8	5,5
Bovine serum albumin	67,0	0	0	33,0
$\alpha$ <sub>s1</sub> -kasein	15,0	12,0	19,0	54,0
$\beta$ -kasein	12,0	14,0	17,0	57,0
$\kappa$ -kasein	23,0	31,0	14,0	32,0
Kimotripsinogen	11,0	49,4	21,2	18,4
Imunoglobulin G	2,5	67,2	17,8	12,5
Insulin (dimer)	60,8	14,7	10,8	15,7
Bovine tripsin inhibitor	25,9	44,8	8,8	20,5
Ribonuklease A	22,6	46,0	18,5	12,9
Lisozim telur	45,7	19,4	22,5	12,4
Ovomukoid	26,0	46,0	10,0	18,0
Ovalbumin	49,0	13,0	14,0	24,0
Papain	27,8	29,2	24,5	18,5
$\alpha$ -laktalbumin	26,0	14,0	0	60,0
$\beta$ -laktoglobulin	6,8	51,2	10,5	31,5
Kedelai 11S	8,5	64,5	0	27,0
Kedelai 7S	6,0	62,5	2,0	29,5
Paseolin	10,5	50,5	11,5	27,5
Mioglobin	79,0	0	5,0	16,0

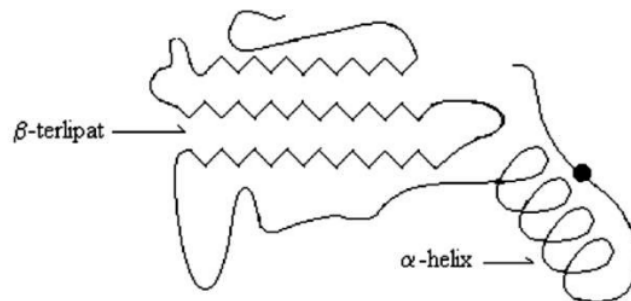
(Sumber : Damodaran, 2007)

Bentuk geometri dari struktur sekunder protein ini mendukung interaksi antara elemen struktural sekunder yang dapat mengarah pada pembentukan struktur *supersecondary*, termasuk *coiled-coils*, *triple helix*, *helix-loop-helix*, motif beta-alfa-beta, motif pengikat DNA dan motif pengikat kalsium. *Triple helix* dari

molekul kolagen dan struktur *coiled-coil* molekul *myosin* adalah contoh yang paling terkenal dari struktur *supersecondary* dalam protein pangan.

### 5.1.3 Struktur Tersier

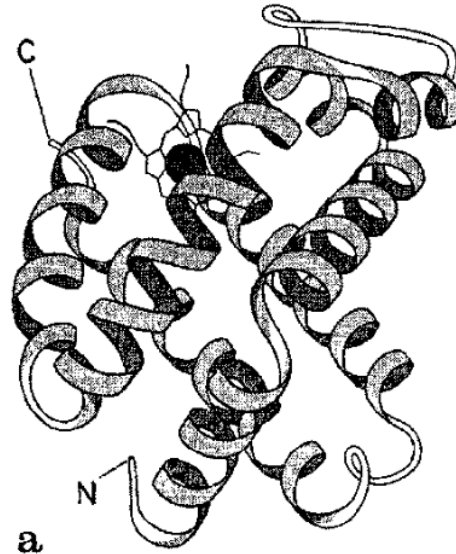
Struktur tersier merupakan gabungan dari struktur sekunder yang satu dengan struktur sekunder yang lain. **Struktur tersier dibentuk oleh adanya interaksi antara rantai cabang dari struktur sekunder dengan residu asam amino**, dimana rantai protein linier (struktur sekunder) terlipat lebih jauh dan membentuk struktur tiga dimensi yang kompak. Struktur tersier memberikan informasi tentang pola lipatan lengkap dari struktur primer dan sekunder molekul protein yang menentukan dimensi ukuran dan bentuk akhirnya. Selain itu, dijelaskan lokasi masing-masing residu asam amino dalam ruang tiga dimensi, sehingga memberikan informasi tentang aksesibilitas atau tingkat keterpaparan dan interaksi non kovalen potensial dari rantai samping.



Gambar 5.6. Struktur Tersier Protein  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Transformasi protein dari struktur primer (linier) menjadi struktur tersier yang terlipat merupakan proses yang kompleks. Pembentukan struktur tersier melibatkan optimalisasi berbagai interaksi antara berbagai kelompok dalam protein

dan konformasi rantai polipeptida. Interaksi tersebut terdiri dari ikatan <sup>1</sup>hidrofobik, ikatan disulfida, ikatan hidrogen, dan ikatan ionik.



Gambar 5.7. Struktur Tersier Hemoglobin

(Bentuk panah menunjukkan  $\beta$ -lipatan dan bentuk silinder menunjukkan  $\alpha$ -heliks)

(Sumber : Belitz, *et.al.*, 2009)

Struktur tersier dari beberapa protein dengan polipeptida tunggal terdiri dari domain. Domain merupakan daerah dari urutan polipeptida yang melipat menjadi struktur tersier secara independen. Pada dasarnya, domain merupakan adalah protein yang kecil dalam satu protein. Stabilitas struktural dari setiap domain sebagian besar tidak bergantung pada domain yang lain. Pada kebanyakan protein rantai tunggal, domain dapat terlipat secara independen dan kemudian berinteraksi satu sama lain untuk membentuk struktur tersier protein yang unik.

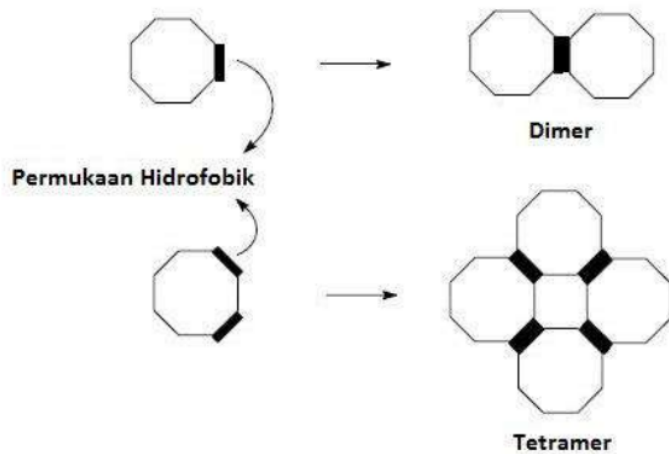
Dalam beberapa protein, struktur tersier bisa memiliki dua atau lebih domain berbeda (entitas struktural) yang dihubungkan oleh bagian rantai polipeptida. Jumlah domain dalam protein biasanya bergantung pada berat

molekulnya. Protein kecil seperti lisozim,  $\beta$ -laktoglobulin, dan  $\alpha$ -laktalbumin yang mengandung 100–150 residu asam amino biasanya membentuk struktur tersier dengan domain tunggal. Sedangkan protein besar, seperti imunoglobulin, mengandung banyak domain. Rantai ringan imunoglobulin G mengandung dua domain dan rantai berat mengandung empat domain. Ukuran masing-masing domain ini sekitar 120 residu asam amino. Albumin serum manusia yang terdiri dari 585 residu asam amino, memiliki tiga domain homolog, dan setiap domain berisi dua subdomain.

#### 5.1.4 Struktur Kuartener

Struktur kuartener protein tersusun oleh dua rantai polipeptida atau lebih yang disatukan oleh gaya non kovalen, yaitu bukan ikatan peptida atau sulfida. Gaya yang menstabilkan agregasi ini pada umumnya ikatan hidrogen dan ikatan elektrostatik yang terbentuk antar residu asam amino pada permukaan rantai peptida. Protein hasil agregasi ini disebut dengan oligomer dan rantai polipeptida penyusunnya disebut dengan protomer atau monomer (sub unit).

Protein oligomer umumnya terdapat 2 monomer (dimer), 3 monomer (trimer), 4 monomer (tetramer), dan sebagainya. Oligomer ini dapat terdiri dari sub unit protein (monomer) yang sama (homogen) atau berbeda (heterogen). Misalnya pada  $\beta$ -laktoglobulin terdapat sebagai dimer pada kisaran pH 5–8, sebagai oktomer pada kisaran pH 3–5, dan sebagai monomer di atas pH 8, dan unit monomer kompleks ini identik. Di sisi lain, hemoglobin merupakan tetramer yang terdiri dari dua monomer yang berbeda yaitu 2 monomer dengan bentuk  $\alpha$  dan 2 monomer dengan bentuk  $\beta$ .



Gambar 5.8. Skema Pembentukan Dimer dan Oligomer pada Protein  
(Sumber : Damodaran, 2007)

Pembentukan struktur oligomer merupakan hasil dari interaksi protein-protein spesifik. Kondisi ini dipengaruhi oleh interaksi non kovalen seperti ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik dan elektrostatis. Fraksi asam amino hidrofobik tampaknya mempengaruhi kecenderungan pembentukan protein oligomer. Protein yang mengandung >30% residu asam amino hidrofobik menunjukkan kecenderungan yang lebih besar untuk membentuk struktur oligomer daripada protein yang mengandung lebih sedikit residu asam amino hidrofobik.

Pembentukan struktur kuaterner dipengaruhi oleh persyaratan termodinamika untuk menghilangkan permukaan subunit hidrofobik yang terpapar. Ketika kandungan asam amino hidrofobik suatu protein >30%, secara fisik tidak mungkin terbentuk struktur tersier yang akan menghilangkan semua residu non polar. Akibatnya, ada kemungkinan adanya tambalan hidrofobik di permukaan, dan interaksi tambalan antara monomer yang berdekatan dapat menyebabkan pembentukan dimer, trimer, dan sebagainya.

Banyak protein pangan, terutama protein sereal sebagai oligomer dari polipeptida yang berbeda. Protein ini biasanya mengandung lebih dari 35% residu asam amino hidrofobik (isoleusin, leusin, triptofan, tirosin, valin, fenilalanin dan prolin). Selain itu protein ini juga mengandung 6%-12% prolin. Oleh karena itu, protein sereal memiliki struktur oligomer yang kompleks.

Protein penyimpanan utama dalam kedelai adalah  $\beta$ -conglycinin dan glycinin, dimana masing-masing mengandung sekitar 41% dan 39% residu asam amino hidrofobik.  $\beta$ -konglycinin adalah protein trimerik yang terdiri dari tiga sub unit yang berbeda. Glycinin terdiri dari 12 sub unit, dimana enam subunit bersifat asam dan yang lainnya basa. Setiap sub unit basa dihubungkan silang ke sub unit asam melalui ikatan disulfida. Enam pasangan asam-basa disatukan dalam keadaan oligomer melalui interaksi non kovalen.

Protein struktur kuaterner biasanya lebih besar dari protein monomer. Sebagai contoh, globulin 11S dari berbagai tumbuhan misalnya pada kedelai, terdiri dari sub unit asam dan basa yang dirangkai dalam struktur heksamerik, dengan berat molekul sekitar  $300.000 \pm 370.000$  dalton ( $1 \text{ dalton} = 1.6605 \times 10^{-21} \text{ mg}$ ). Contoh lain dari kompleks protein dalam bahan pangan yaitu glutenin dari gandum yang memiliki berat molekul lebih dari 1.000.000 dalton.

Beberapa struktur kuaterner protein dapat berasosiasi ke dalam unit-unit yang berfungsi secara biologis dan menjadi struktur protein tingkat kelima. Misalnya pada  $\kappa$ -casein B,  $\alpha_{S1}$ -casein B dan  $\beta$ -casein B dengan berat molekul monomer masing-masing 19.000, 23.500 dan 24.000 dalton, dapat berasosiasi untuk membentuk struktur misel kasein dengan ukuran mulai dari 20 hingga 600 nm.

## 5.2 Klasifikasi Protein

Protein merupakan polimer yang rumit sehingga untuk mengklasifikasikan protein secara baku merupakan hal yang agak sulit. Berdasarkan komponen penyusunnya, protein dikelompokkan menjadi 2, yaitu protein sederhana dan protein kompleks.

### 5.2.1 Protein Sederhana

Protein sederhana merupakan protein yang apabila dihidrolisis hanya akan menghasilkan asam-asam amino atau turunannya saja. Berdasarkan bentuk dan kelarutannya, protein sederhana dikelompokkan menjadi 2 yaitu protein globular dan protein fibrosa.

#### A. Protein Fibrosa (*Scleroprotein*)

Protein fibrosa merupakan protein yang berbentuk serabut atau benang. Berat molekul protein fibrosa sangat besar sehingga sukar ditentukan dan sukar untuk dimurnikan. Susunan molekulnya terdiri dari rantai molekul yang panjang sejajar dengan rantai utama dan bila ditarik memanjang dapat kembali pada keadaan semula. Protein ini memiliki derajat kristalisasi yang tinggi atau hampir tidak membentuk kristal dan larut dalam pelarut-pelarut encer, seperti larutan garam, asam, basa dan alkohol. Protein fibrosa pun tahan terhadap sebagian besar enzim.

Protein ini mempunyai kegunaan untuk membentuk struktur bahan dan jaringan. Contoh dari protein fibrosa adalah kolagen yang terdapat pada jaringan pengikat, epidermis, tulang rawan, miosin pada otot, keratin pada rambut dan fibrin pada gumpalan darah.



## B. Protein Globular (*Spheroprotein*)

Protein globular merupakan protein yang berbentuk bola dan rantai polipeptidanya penuh lipatan-lipatan dan berbelit. Berdasarkan kelarutannya, protein globular dikelompokkan menjadi 6 yaitu, albumin, globulin, glutelin, prolamin, histone dan protamin.

### 1. Albumin

Albumin merupakan protein globular yang bersifat larut dalam air dan larutan garam. Albumin dapat terkoagulasi oleh panas dan terendapkan oleh amonium sulfat. Contoh dari albumin yaitu albumin dalam serum darah, ovalbumin dalam putih telur, laktalbumin dalam susu, legumetin dalam kacang-kacangan dan leucosin dalam gandum.

### 2. Globulin

Globulin merupakan protein globular yang sedikit larut dalam air dan larut dalam larutan garam encer dari asam kuat atau basa kuat. Globulin dapat terkoagulasi oleh adanya panas dan dapat mengendap dalam larutan garam dengan konsentrasi tinggi (*salting out*). Contoh dari globulin yaitu miosinogen dalam otot, laktoglobulin dalam susu, glisin dalam kedelai, arachin dan conarachin dalam kacang tanah, ovoglobulin dalam kuning telur, amandin dalam almond dan legumin dalam kacang-kacangan.

### 3. Glutelin

Glutelin merupakan protein globular yang tidak larut dalam pelarut netral, tetapi larut dalam larutan asam atau basa encer. Contoh dari glutelin yaitu glutelin dalam gandum dan oryzenin dalam jagung dan beras.

### 4. Prolamin atau Gliadin

Prolamin merupakan protein globular yang bersifat larut dalam etanol 50%-80%. Contoh dari prolamin yaitu gliadin dalam gandum, zein dalam jagung dan hordein dalam barley.

#### 5. Histon

Histon merupakan protein globular yang bersifat larut dalam air, asam atau basa encer dan larutan garam, tetapi tidak larut dalam larutan amonia encer. Histon yang terkoagulasi karena pemanasan dapat larut lagi dalam larutan asam encer. Contoh dari histon yaitu histone dalam ikan paus, pankreas dan globin dalam darah.

#### 6. Protamin

Protamin merupakan protein globular yang paling sederhana dibandingkan-protein globular lainnya, tetapi lebih kompleks daripada pepton dan peptida. Protamin larut dalam etanol 70%-80%, tetapi tidak larut dalam air dan etanol murni serta tidak terkoagulasi oleh panas. Protamin bersifat basa kuat dan dengan asam akan membentuk garam kuat. Contoh dari protamin yaitu salmin dalam ikan salmon, klupein dalam ikan *herring*, skombrin pada ikan *mackerel* dan cyprinin dalam ikan *karper*.

Tabel 5.2. Beberapa Contoh Protein Globular

Protein Globular	Sumber	Berat Molekul (Kdal)	Jumlah Sub Unit
Lisozim	Telur ayam	14,6	1
Papain	Getah pepaya	20,7	1
$\alpha$ -kimotripsin	Pankreas (sapi)	23	1
Tripsin	Pankreas (sapi)	23,8	1
Pektinterase	Tomat	27,5	
Kimosin	Lambung (anak sapi)	31	
$\beta$ -laktoglobulin	Susu	35	2
Pepsin A	Lambung (babi)	35	1
Peroksidase	Lobak pedas	40	1
Hemoglobin	Darah	64,5	4
Avidin	Telur ayam	68,3	4
Alkohol dehidrogenase	Hati (kuda)	80	2
	Ragi	150	4
Heksokinase	Ragi	104	2
Laktat dehidrogenase	Hati (babi)	135	4
Glukosa oksidase	<i>P. notatum</i>	152	
Piruvat kinase	Ragi	161	8
	<i>A. niger</i>	186	
$\beta$ -amilase	Ubi	215	4
Katalase	Hati (sapi)	232	4
	<i>M. lisodeiktikus</i>	232	
Adenosin trifosfatase	Jantung (sapi)	284	6
Urease	Kacang <i>jackbeans</i>	483	6
Glutamin sintetase	<i>E. coli</i>	592	12
Arginin dekarboksilase	<i>E. coli</i>	820	10

(Sumber : Belitz, *et. al.*, 2009)

### 5.2.2 Protein Kompleks atau Protein Konjugasi

Protein kompleks atau protein konjugasi merupakan protein yang apabila dihidrolisis akan menghasilkan asam-asam amino dan juga senyawa-senyawa yang bukan asam amino. Senyawa bukan asam amino yang disebut dengan gugus prostetis misalnya adalah lipida, karbohidrat, asam nukleat dan lain-lain. Pemberian nama protein kompleks sesuai dengan gugus prostetis yang ada, misalnya fosfoprotein, glikoprotein, lipoprotein dan nukleoprotein.

#### A. Fosfoprotein

Fosfoprotein merupakan protein kompleks yang mempunyai gugus proteis berupa asam fosfat yang terikat dengan gugus hidroksil pada serin dan treonin melalui ikatan ester. Contoh dari fosfoprotein adalah kasein dalam susu dan vitelin dalam kuning telur.

#### B. Glikoprotein

Glikoprotein merupakan protein kompleks yang mempunyai gugus prostetis berupa karbohidrat dalam bentuk oligosakarida. Glikoprotein merupakan komponen struktural utama pada hewan, misalnya dalam jaringan pengikat tendomusin pada tendon, musin (mucoprotein) pada kelenjar mukosa atau kelenjar air liur.

#### C. Lipoprotein

Lipoprotein merupakan protein kompleks yang mempunyai gugus prostetis berupa lipida terutama lesitin dalam kolesterol. Lipoprotein terdapat dalam serum darah, kuning telur, susu dan sebagainya.

#### D. Kromoprotein (Metaloprotein)

Kromoprotein merupakan protein kompleks yang mempunyai gugus prostetis berupa metaloporfirin (pigmen atau ion logam) seperti klorofil atau

hemin dalam hemoglobin. Enzim-enzim *peroksidase, katalase, sitikrom* dan mioglobin pada otot daging termasuk ke dalam kromoprotein.

#### E. Nukleoprotein

Nukleoprotein merupakan protein kompleks yang mempunyai gugus prostetis berupa asam nukleat yang berikatan dalam bentuk garam dengan protein. Nukleoprotein terdapat dalam inti sel dan kecambah biji-bijian.

#### 5.2.3 Tingkat Degradasi Protein

Protein dapat dibedakan berdasarkan tingkat degradasinya dimana degradasi biasanya merupakan tingkat permulaan denaturasi. Tingkat degradasi protein terdiri dari :

- Protein alami, protein alami merupakan protein yang tidak mengalami degradasi dan berada dalam keadaan seperti di dalam sel.
- Turunan protein, turunan protein merupakan hasil degradasi protein pada tingkat permulaan denaturasi. Turunan protein dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu :
  - Protein primer dan sekunder. Protein primer merupakan hasil hidrolisis yang ringan dari protein, sedangkan protein sekunder merupakan hasil hidrolisis yang berat dari protein.
  - Protean. Protean merupakan hasil hidrolisis protein oleh air, asam encer, atau enzim yang bersifat tidak larut. Contoh dari protean yaitu miosin dan edestin.
  - Metaprotein. Meta protein merupakan hasil hidrolisis protein lebih lanjut oleh asam dan alkali dan bersifat larut dalam asam dan alkali

encer tetapi tidak larut dalam larutan garam netral. Contoh dari metaprotein yaitu asam albuminat dan alkali albuminat.

- Protein terkoagulasi. Protein terkoagulasi merupakan hasil denaturasi protein oleh panas atau alkohol.
- Proteosa. Proteosa merupakan turunan protein yang bersifat larut dalam air dan tidak terkoagulasi oleh panas. Proteosa dapat diendapkan oleh larutan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  jenuh.
- Pepton. Pepton merupakan turunan protein yang bersifat larut dalam air, tidak terkoagulasi oleh panas dan tidak mengalami *salting out* dengan amonium sulfat tetapi mengendap oleh pereaksi alkaloid seperti asam fosfo tungstat.
- Peptida. Peptida merupakan gabungan dua atau lebih asam amino yang terikat melalui ikatan peptida.

## BAB 5

### Sifat Protein

#### 6.1 Reaksi Pewarnaan

Beberapa senyawa yang direaksikan dengan protein akan memberikan warna tertentu dan beberapa reaksi dapat digunakan untuk penentuan protein secara kualitatif, diantaranya sebagai berikut :

##### 6.1.1 Reaksi Xantoprotein

Apabila protein dipanaskan bersama-sama dengan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) pekat akan menghasilkan endapan putih yang segera akan berubah menjadi oranye. Reaksi xantoprotein ini disebabkan oleh adanya gugus aromatik. Gugus aromatik ini antara lain dimiliki oleh fenilalanin, tirosin dan triptofan. Jadi reaksi ini dapat digunakan untuk penentuan asam amino yang mengandung gugus aromatik secara kualitatif.

##### 6.1.2 Reaksi Biuret

Apabila larutan protein ditambahkan  $\text{CuSO}_4$  (kupri sulfat) dalam alkali kuat, maka warnanya akan berubah dari merah ungu menjadi violet (ungu). Reaksi biuret ini disebabkan oleh adanya senyawa yang mengandung dua gugus  $-\text{NH}-\text{CO}-$  yang berikatan secara langsung atau terpisah oleh atom C atau N. reaksi ini dapat digunakan untuk analisa kuantitatif protein berdasarkan pada ikatan peptida.

##### 6.1.3 Reaksi Ninhidrin

Apabila protein, pepton atau asam amino bebas dipanaskan bersama-sama dengan ninhidrin, maka warnanya akan menjadi biru. Reagen ninhidrin ini banyak digunakan untuk penentuan asam amino secara kuantitatif atau kualitatif. Apabila protein dipanaskan bersama senyawa yang mengandung  $\beta$ -naftoquinon sulfonat, maka akan memberikan warna merah.

## 6.2 Sifat Koloid

Protein merupakan partikel koloid karena mempunyai berat molekul sekitar 10.000 sampai 1.000.000. dalam larutan, dapat terjadi kemungkinan penggabungan protein dan membentuk agregat atau misel. Protein globular akan menyerap air dan menggelembung sekali. Ikatan peptida yang melakukan penyerapan terhadap air.

Sifat amfoter suatu protein yaitu muatan elektrostatis yang dimiliki partikel koloid dalam sol protein tergantung pada pH. Untuk mengendapkan protein dari solnya dapat dilakukan dengan adanya suatu koloid atau sejumlah besar ion yang bermuatan berlawanan. Hal tersebut dapat digunakan untuk menguji bahan pewarna pada makanan dengan menggunakan benang wool sebagai bahan pengabsorpsinya.

Molekul protein memiliki gugus-gugus baik gugus hidrofobik maupun gugus hidrofilik. Oleh karena itu, protein dapat berperan sebagai *stabilizer* pada emulsi antara air dan lemak, misalnya pada emulsi kuning telur dan susu dimana butir-butir lemak diselimuti oleh suatu membran yang bagian utamanya merupakan lipoprotein.

## 6.3 Sifat Sensoris



Protein murni tidak berasa, tidak berbau dan tidak berwarna, kecuali monellin mempunyai rasa yang sangat manis. Sedangkan kualitas asam amino tergantung pada konfigurasi dan ikatan peptida, kecuali ester dipeptida manis dari asam aspartat memiliki rasa netral atau pahit tanpa ada hubungannya dengan konfigurasi.

Tabel 6.1 Nilai Ambang Pengenalan (*Recognition Threshold*) dari Berbagai Peptida : Efek Konfigurasi dan Urutan Asam Amino (pada larutan air dengan pH 6-7)

Peptida	Rasa	Intensitas (mmol/L)
Glisin-Leusin	Pahit	19-23
Glisin-D-Leusin	Pahit	20-23
Glisin-Fenilalanin	Pahit	15-17
Glisin-D-Fenilalanin	Pahit	15-17
Leusin-Leusin	Pahit	4-5
Leusin-D-Leusin	Pahit	5-6
D-Leusin-D-Leusin	Pahit	5-6
Alanin-Leusin	Pahit	18-22
Leusin-Alanin	Pahit	18-21
Glisin-Leusin	Pahit	19-23
Leusin-Glisin	Pahit	18-21
Alanin-Valin	Pahit	60-80
Valin-Alanin	Pahit	65-75
Fenilalanin-Glisin	Pahit	16-18
Glisin-Fenilalanin	Pahit	15-17
Fenilalanin-Glisin-Fenilalanin-Glisin	Pahit	1.0-1.5
Fenilalanin-Glisin-Glisin-Fenilalanin	Pahit	1.0-1.5

(Sumber : Belitz, *et. al.*, 2009)

Rasa manis dari asam aspartat dipeptida ester ditemukan secara tidak sengaja pada tahun 1969 untuk  $\alpha$ -L-aspartil-L-fenilalanin metil ester ("Aspartame",

"NutraSweet"). Ester peptida yang sesuai dari asam L-aminomalonik juga memiliki rasa yang manis.

Intensitas rasa pada peptida dipengaruhi oleh hidrofobisitas rantai samping. Intensitas rasa tampaknya tidak bergantung pada urutan asam amino. Peptida yang memiliki rasa pahit terdapat dalam makanan setelah reaksi proteolitik. Misalnya rasa keju yang pahit adalah akibat dari proses pematangan keju yang kurang tepat.

<sup>1</sup> Bahan pangan yang banyak mengandung protein dapat mengalami dekomposisi dan membentuk bau busuk. Bau busuk tersebut dikarenakan hasil dekomposisi berupa molekul-molekul dengan berat molekul rendah yang mengandung nitrogen (N), sulfur (S) atau keduanya. Gugus sulfhidril mudah dilepaskan dari protein membentuk H<sub>2</sub>S misalnya pada pembusukan telur. Bau adonan disebabkan terbentuknya H<sub>2</sub>S dari gluten yang terdapat dalam gandum yang terjadi selama adonan diaduk.

## BAB 7

### Fungsi Protein

#### 7.1 Fungsi Protein Bagi Tubuh

Protein memiliki beberapa macam fungsi bagi tubuh, yaitu sebagai enzim, alat pengangkut, pengatur pergerakan, penunjang mekanis, pertahanan tubuh, media perambatan impuls saraf dan pengendalian pertumbuhan.

##### A. Enzim

Hampir semua reaksi biologis dalam tubuh yang dipercepat atau dibantu oleh enzim, yaitu suatu senyawa makromolekul yang bekerja secara spesifik, seperti pada reaksi yang paling sederhana yaitu transportasi karbon dioksida sampai reaksi yang sangat rumit replikasi kromosom.

Hampir semua enzim memiliki daya katalitik yang luar biasa dan biasanya enzim dapat mempercepat reaksi sampai beberapa juta kali.

##### B. Alat Pengangkut dan Alat Penyimpan

Protein-protein tertentu dapat mengangkut banyak molekul dengan berat molekul kecil serta beberapa ion, misalnya hemoglobin dapat mengangkut oksigen dalam eritrosit dan mioglobin dapat mengangkut oksigen dalam otot. Selain itu protein tertentu dapat menjadi alat penyimpan beberapa ion, misalnya ion besi diangkut dalam plasma darah oleh transferin dan disimpan dalam hati sebagai kompleks dengan feritin, yang merupakan suatu protein yang berbeda dengan transferin.

##### C. Pengatur Pergerakan

Protein merupakan komponen utama dari daging dimana gerakan otot terjadi karena adanya dua molekul protein yang saling bergeseran. Selain itu pergerakan flagela sprema pun disebabkan oleh protein.

#### D. Penunjang Mekanis

Protein tertentu seperti kolagen dapat menunjang kekuatan dan daya tahan robek kulit dan tulang

#### E. Pertahanan Tubuh

Protein yang berfungsi sebagai pertahanan tubuh yaitu antibodi. Antibodi merupakan suatu protein khusus yang dapat mengenal dan menempel atau mengikat benda-benda asing yang masuk ke dalam tubuh seperti bakteri, virus dan sel-sel asing lainnya. Antibodi dapat membedakan benda-benda yang menjadi anggota tubuh dengan benda asing.

#### F. Media Perambatan Impuls Saraf

Protein yang berfungsi sebagai media perambatan impuls saraf biasanya bertindak sebagai reseptor, misalnya rodopsin yaitu suatu protein yang bertindak sebagai reseptor atau penerima warna atau cahaya pada sel mata.

#### G. Pengendalian Pertumbuhan

Protein ini bekerja sebagai reseptor (dalam bakteri) yang dapat mempengaruhi fungsi bagian-bagian DNA yang mengatur sifat dan karakter bahan.

## 7.2 Fungsi Protein Dalam Bidang Pangan

Protein umumnya memiliki pengaruh yang sangat besar pada atribut sensoris dari bahan dan produk pangan. Misalnya, sifat sensoris pada roti terkait

dengan sifat viskoelastik dan pembentuk adonan dari gluten gandum, karakteristik tekstur dan kesegaran daging sebagian besar bergantung pada protein otot (aktin, miosin, aktomiosin, dan beberapa protein daging yang dapat larut), sifat tekstur dan pembentuk dadih susu disebabkan oleh struktur koloid yang unik dari misel kasein, dan struktur beberapa kue dan sifat *whipping* dari beberapa produk *dessert* bergantung pada sifat protein putih telur.

Tabel 7.1. Fungsi Protein Pada Bahan dan Produk Pangan

Fungsi	Mekanisme	Pangan	Jenis Protein
Kelarutan	Hidrofilisitas	Minuman	Protein whey
Viskositas	Pengikat air, ukuran dan bentuk hidrodinamika	Sup, saus salad, <i>desserts</i>	Gelatin
Pengikat Air	Ikatan hidrogen dan hidrasi ionik	Sosis sapi, kue dan roti	Protein otot, protein telur
Gelasi	Penjebakan air dan imobilisasi, formasi <i>network</i>	Daging, gel, <i>bakeries</i> , keju	Protein otot, protein telur dan protein susu
Kohesi Adhesi	Ikatan hidrofobik, ionik dan hidrogen	Daging, sosis, pasta, produk yang dipanggang	Protein otot, protein telur dan protein whey
Elastisitas	Ikatan hidrofobik dan <i>crosslinking</i> disulfida	Daging dan <i>bakery</i>	Protein otot, protein sereal
Emulsifikasi	Adsorpsi dan pembentukan lapisan di permukaan	Sosis, daging bologna, sup, kue dan <i>desserts</i>	Protein otot, protein telur dan protein susu
<i>Foaming</i>	Adsorpsi interfacial dan pembentukan lapisan	<i>Whipped cream</i> , es krim, kue dan <i>desserts</i>	Protein telur dan protein susu

Pengikat Lemak dan flavor	Ikatan hidrofobik dan penjebakan	Produk <i>bakery</i> rendah lemak dan donat	Protein susu, protein telur dan protein sereal
---------------------------	----------------------------------	---	--

(Sumber : Damodaran, 2007)

Protein hewani seperti susu (kasein), telur dan protein daging banyak digunakan dalam makanan olahan pabrik. Protein-protein ini merupakan campuran dari beberapa protein dengan sifat fisikokimia yang luas dan memiliki banyak fungsi. Misalnya putih telur memiliki beberapa fungsi seperti *gelation*, emulsifikasi, *foaming*, pengikat air dan koagulasi panas yang menjadikan putih telur banyak digunakan dalam produk olahan pangan. Fungsi putih telur tersebut akibat adanya interaksi yang kompleks antara penyusun proteinnya yaitu ovalbumin, konalbumin, lisozim, ovomisin dan protein jenis albumin lainnya.

Protein nabati seperti kedelai, kacang-kacangan dan protein oilseed dan protein lainnya seperti protein whey digunakan secara terbatas dalam produk pangan konvensional. Meskipun protein-protein ini juga merupakan campuran dari beberapa protein, kinerjanya tidak sebaik protein hewani pada sebagian besar produk pangan.

Sulit untuk menggambarkan peran masing-masing sifat tersebut sehubungan dengan sifat fungsional tertentu, karena protein memiliki banyak sifat fisik dan kimia. Sifat fisik dan kimia yang mengatur fungsi protein meliputi :

- Ukuran, bentuk, komposisi dan urutan asam amino
- Muatan netral dan distribusi muatan
- Rasio hidrofobitas / hidrofilitas
- Struktur sekunder, tersier, dan kuarterner

- Fleksibilitas/kekakuan molekul
- Kemampuan untuk berinteraksi / bereaksi dengan komponen lain.

Pada tingkat empiris, berbagai sifat fungsional protein pada bahan pangan dapat dilihat sebagai perwujudan dari tiga aspek molekular protein yang terdapat pada tabel di bawah ini

Tabel 7.2. Hubungan Antara Sifat Fisikokimia Protein dan Dampaknya terhadap Fungsi Protein Pada Makanan

Sifat Umum	Fungsi pada Produk Pangan
Hidrasi	Dispersibilitas, <i>wettability</i> , <i>swelling</i> , <i>thickening</i> , penyerapan air, kapasitas menahan air ( <i>water holding</i> )
Aktivitas permukaan	Emulsifikasi, <i>foaming</i> , pengikatan flavor, pengikatan pigmen
Elastisitas Hidrodinamik/ reologi	Viskositas, kohesivitas, kekenyalanm adhesi, <i>stickiness</i> , <i>gelation</i> , pembentukan adonan, teksturisasi

(Sumber : Damodaran, 2007)

### 7.2.1 Kelarutan

Protein merupakan makromolekul yang tidak larut dengan cara yang sama seperti molekul kecil. Namun, rantai samping asam amino pada protein dapat berinteraksi dengan air dan protein dapat tersuspensi dalam air. Sifat ini sering digunakan sebagai indikator denaturasi protein *whey*. Kelarutan protein merupakan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti suhu, pH, keberadaan ion lain. Protein paling tidak larut pada titik isoelektriknya tetapi protein *whey* dapat larut pada berbagai nilai pH. Sifat protein *whey* ini membuat protein *whey* digunakan dalam berbagai macam jenis minuman.

Peningkatan suhu umumnya menghasilkan peningkatan kelarutan zat terlarut dengan berat molekul rendah. Pada protein, peningkatan suhu dapat menyebabkan denaturasi yang menyebabkan penurunan kelarutan. Terdapat korelasi positif antara kelarutan dan entalpi untuk denaturasi protein. Proses Pasteurisasi retentate (sisa dari proses pemisahan) menurunkan kandungan  $\beta$ -laktoglobulin dari konsentrat protein whey yang diproduksi berikutnya.

Protein digunakan dalam produk minuman yogurt, es krim kemasan keras, es krim rendah lemak, es krim tanpa lemak, es krim *soft serve*, yogurt, krim asam dan krimer kopi, karena sifat kelarutannya,.

#### 7.2.2 Viskositas

Viskositas merupakan salah satu sifat bahan atau produk pangan cair dan setengah padat yang menentukan penerimaan konsumen terhadap bahan atau produk pangan tersebut, misalnya seperti teh, sari buah, susu, sup, dll. Viskositas larutan berkaitan dengan ketahanannya untuk mengalir di bawah gaya yang diterapkan.

Viskositas protein merupakan gambaran dari interaksi yang kompleks antara beberapa variabel, termasuk ukuran, bentuk, interaksi protein-pelarut, volume hidrodinamik, dan fleksibilitas molekul dalam keadaan terhidrasi. Ketika larut dalam air, protein menyerap air dan membengkak. Volume molekul protein yang terhidrasi jauh lebih besar daripada volume protein yang tak terhidrasi. Semakin besar kemampuan protein dalam menyerap air, semakin tinggi pula viskositasnya. Protein yang tidak larut dalam air memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi.



Polimer larut dengan berat molekul besar sangat meningkatkan viskositas bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah tetapi tergantung pada beberapa sifat molekulnya seperti ukuran, bentuk, fleksibilitas dan hidrasi. Kebanyakan larutan makromolekul, termasuk larutan protein terutama pada konsentrasi protein tinggi, koefisien viskositasnya akan menurun ketika laju pengadukan meningkat. Keadaan ini disebut dengan *pseudoplastik*.

Perilaku *pseudoplastik* larutan protein muncul karena kecenderungan molekul protein mengarahkan sumbu utamanya ke arah aliran. Larutan protein yang berserat seperti gelatin dan aktomiosin, biasanya tetap berorientasi dan karenanya larutan protein berserat sulit untuk kembali ke viskositas aslinya. Sedangkan larutan protein globular seperti protein kedelai dan protein whey dapat dengan cepat memperoleh kembali viskositasnya saat aliran dihentikan.

Viskositas merupakan sifat dari protein sangat diperlukan pada beberapa produk pangan seperti saus keju, sup krim rendah lemak, saus salad krim, pasta dingin dan selai, sari buah,

### 7.2.3 Gelasi

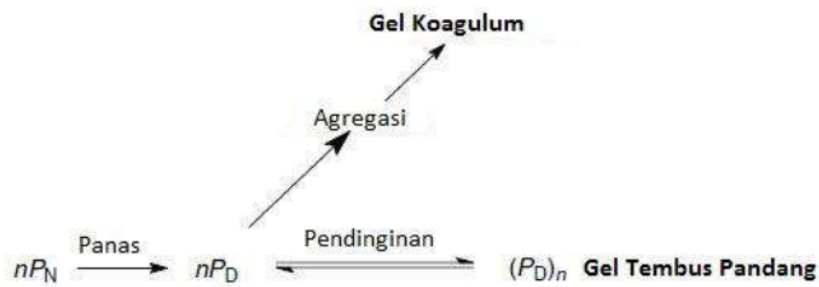
Gel merupakan fase perantara antara fase padat dan cair. Gel terdiri dari polimer yang saling terkait melalui ikatan kovalen atau non kovalen untuk membentuk jaringan yang mampu menjebak air dan zat dengan berat molekul kecil lainnya. Koagulan bukanlah gel dan tidak mampu menjebak air dalam jumlah besar. Gelasi protein mengacu pada transformasi protein dari keadaan sol menjadi keadaan seperti gel. Gelasi protein dapat disebabkan oleh adanya suhu panas, enzim atau kation divalen dalam kondisi tertentu.

Ikatan yang terlibat dalam pembentukan jaringan yaitu ikatan hidrogen, ikatan hidrofobik dan ikatan elektrostatik tergantung dari jenis protein, kondisi pemanasan, tingkat denaturasi dan kondisi lingkungan. Ikatan hidrogen dan ikatan hidrofobik berkontribusi lebih dari ikatan elektrostatik untuk pembentukan jaringan kecuali bila ion multivalen terlibat dalam ikatan silang.

Jaringan gel yang terbentuk oleh ikatan non kovalen bersifat reversibel secara termal, dimana setelah dipanaskan kembali, jaringan gel akan meleleh menjadi bentuk sol, misalnya pada gel gelatin. Hal ini pun berlaku bila jaringan terbentuk oleh ikatan hidrogen. Sedangkan gel yang terbentuk oleh ikatan hidrofobik bersifat ireversibel secara termal karena ikatan hidrofobik kuat pada suhu tinggi, misalnya pada gel putih telur.

Protein yang mengandung gugus sistein dan sistin dapat mengalami polimerisasi melalui reaksi pertukaran sulfhidril-disulfida selama pemanasan dan membentuk jaringan kovalen kontinu setelah pendinginan. Gel semacam itu biasanya tidak dapat diubah secara termal. Contoh gel jenis ini adalah ovalbumin,  $\beta$ -laktoglobulin, dan gel protein whey.

Protein membentuk dua jenis gel, yaitu gel koagulum (buram) dan gel tembus pandang. Jenis gel yang dibentuk oleh protein ditentukan oleh sifat molekuler dan kondisi larutannya. Protein yang mengandung residu asam amino non polar dalam jumlah besar mengalami agregasi hidrofobik setelah denaturasi.



Gambar 7.1. Jenis Gel yang Dihasilkan oleh Protein  
 $P_N$  = keadaan protein asli,  $P_D$  = keadaan protein tidak terlipat,  $n$  = jumlah molekul protein yang mengambil bagian dalam ikatan silang.  
 (Sumber : Damodaran, 2007)

Agregat yang tidak dapat larut ini kemudian diasosiasikan secara acak dan diatur menjadi gel tipe koagulum yang tidak dapat diubah. Protein jenis ini siap membentuk jaringan gel bahkan saat dipanaskan, karena laju agregasi dan pembentukan jaringan lebih cepat daripada laju denaturasi. Kekeruhan gel koagulum ini disebabkan oleh hamburan cahaya, dimana jaringan tak beraturan (isotropik) dari agregat protein yang tidak larut. Gel tipe koagulum umumnya lemah dan rentan terhadap sineresis.

Protein yang mengandung sejumlah kecil residu asam amino non polar membentuk kompleks yang dapat larut pada saat denaturasi. Karena laju asosiasi kompleks terlarut ini lebih lambat daripada laju denaturasi dan jaringan gel sebagian besar dibentuk oleh interaksi ikatan hidrogen, protein sering tidak membentuk gel sampai pemanasan diikuti oleh pendinginan terjadi (biasanya pada konsentrasi protein sekitar 8-12%). Setelah pendinginan, laju asosiasi yang lambat dari kompleks yang dapat larut membentuk jaringan gel tembus pandang yang teratur.

Pada tingkat molekuler, gel tipe koagulum cenderung terbentuk ketika jumlah residu Val, Pro, Leu, Ile, Phe, dan Trp dari protein melebihi 31,5 mol%.

Protein yang mengandung kurang dari 31,5 mol% dari residu hidrofobik di atas biasanya membentuk gel tembus cahaya jika air menjadi pelarutnya. Tetapi kondisi ini tidak terjadi jika pelarut yang digunakan adalah larutan garam. Contohnya kandungan asam amino hidrofobik  $\beta$ -laktoglobulin adalah 32 mol% akan membentuk gel yang tembus pandang di dalam air. Namun ketika NaCl dimasukkan akan membentuk gel tipe koagulum bahkan ketika konsentrasi garam serendah 50 mM. Hal ini terjadi karena adanya netralisasi muatan oleh NaCl, yang mendorong agregasi hidrofobik saat pemanasan.

Gel protein mengandung hingga 98% air dalam beberapa kasus. Gel tembus pandang yang terbentuk terutama oleh ikatan hidrogen yang menahan air lebih banyak daripada gel tipe koagulum dan kurang rentan terhadap sineresis. Hal ini menunjukkan bahwa banyak air yang terikat hidrogen pada gugus C=O dan N-H ikatan peptida ada dalam jaringan air seperti es yang terikat dengan ikatan hidrogen. Kemungkinan juga terdapat air yang tertahan sebagai air kapiler pada pori-pori struktur gel, terutama dalam gel koagulum.

Stabilitas jaringan gel terhadap gaya termal dan mekanik tergantung pada jumlah dan jenis ikatan silang yang terbentuk per rantai monomer. Secara termodinamika, jaringan gel akan stabil hanya jika jumlah energi interaksi monomer dalam jaringan gel lebih besar daripada energi kinetik termalnya. Hal ini tergantung pada beberapa faktor intrinsik seperti ukuran, muatan bersih dan faktor ekstrinsik seperti pH, suhu, kekuatan ion, dll.

Protein globular dengan berat molekul kurang dari 23.000 Da tidak dapat membentuk gel yang diinduksi panas pada konsentrasi protein yang wajar, kecuali mengandung setidaknya satu gugus sulfhidril bebas atau ikatan disulfida. Gugus

sulfhidril dan ikatan disulfida akan membantu polimerisasi sehingga akan meningkatkan berat molekul polipeptida efektif hingga lebih dari 23.000 Da. Gelatin dengan berat molekul efektif kurang dari 20.000 Da tidak dapat membentuk gel.

Pada pH isoelektrik atau mendekati pH isoelektrik, protein biasanya membentuk gel tipe koagulum. Pada pH ekstrim, gel yang terbentuk lemah karena adanya tolakan elektrostatis yang kuat. Derajat keasaman (pH) optimum untuk pembentukan gel adalah sekitar 7-8 untuk kebanyakan protein.

Pembentukan gel protein terkadang dapat dibantu dengan adanya enzim proteolitik. Salah satu contoh yang paling sering digunakan adalah pada keju. Penambahan kimosin (rennin) ke misel kasein dalam susu menghasilkan pembentukan gel tipe koagulum. Selain itu kation divalen seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  juga dapat digunakan untuk membentuk gel protein, dimana Ion-ion ini membentuk ikatan silang antara kelompok molekul protein yang bermuatan negatif. Salah satu contohnya yaitu pembuatan tahu dari protein kedelai. Gel alginat pun dapat terbentuk dengan cara ini.

Gelasi merupakan fungsi penting dari protein karena sangat diperlukan pada beberapa jenis produk pangan seperti produk bakery, makanan yang dipanggang, daging olahan, surimi, *desserts*, dan krim asam.

#### 7.2.4 Emulsifikasi

Emulsifikasi berkaitan dengan perilaku protein pada *interface* minyak-air. Emulsi terbentuk ketika energi diterapkan untuk mendispersikan satu fasa ke fasa lain dari dua fasa yang biasanya tidak bercampur. Jika fase terdispersi adalah minyak dan fase kontinyu adalah air, hasilnya adalah emulsi minyak dalam air.

Ketika fase kontinu adalah minyak dan fase terdispersi adalah air, hasilnya adalah emulsi air dalam minyak.

Emulsi dapat berbentuk cair, semi padat atau padat. Selain mendispersikan dua fase, protein harus menjadi penghalang energi untuk mencegah penggabungan kembali fase terdispersi. Penghalang energi ini dapat dilakukan oleh surfaktan (pengemulsi) dan protein merupakan makromolekul surfaktan.

Beberapa bahan pangan dan produk pangan seperti susu, kuning telur, santan, susu kedelai, mentega, margarin, mayones, olesan, saus salad, *desserts* beku, frankfurter, sosis, dan kue adalah bahan dan produk pangan dengan jenis emulsi, dimana protein memiliki peranan penting di dalamnya yaitu sebagai pengemulsi.

Dalam susu, membran yang terdiri dari lipoprotein akan menstabilkan gumpalan lemak. Ketika susu tersebut dihomogenisasi, lapisan protein yang terdiri dari misel kasein dan protein whey akan menggantikan membran lipoprotein. Susu yang dihomogenisasi akan lebih stabil terhadap pembentukan krim daripada susu yang tidak dihomogenisasi, karena misel kasein dari lapisan proteinnya lebih kuat dibandingkan dengan membran lipoprotein alami.

Sifat-sifat emulsi yang distabilkan oleh protein dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Kelarutan

Kelarutan memiliki peran penting dalam sifat pengemulsi, dimana protein yang sangat tidak larut tidak bekerja dengan baik sebagai pengemulsi. Protein sebagai pengemulsi bekerja dengan baik pada kisaran kelarutan sekitar 25%-80%. Dalam emulsi daging seperti pada sosis, pelarutan protein myofibrillar

dalam 0,5 M NaCl meningkatkan sifat pengemulsi dari emulsi daging tersebut. Beberapa isolat protein kedelai komersial yang diisolasi dengan pemrosesan termal memiliki sifat pengemulsi yang kurang baik karena kelarutannya yang sangat rendah.

## 2. Derajat Keasaman (pH)

Pembentukan dan stabilitas emulsi yang distabilkan oleh protein dipengaruhi oleh pH. Umumnya, protein yang memiliki kelarutan tinggi pada pH isoelektrik (misalnya, serum albumin, gelatin, dan protein putih telur) menunjukkan aktivitas pengemulsi dan kapasitas emulsi yang maksimum pada pH tersebut. Sebagian besar protein seperti kasein, protein whey komersial, protein daging, dan protein kedelai umumnya merupakan pengemulsi yang kurang baik pada pH isoelektrik. Namun, protein tersebut dapat menjadi pengemulsi yang efektif ketika dipindahkan dari pH isoelektriknya.

## 3. Hidrofobisitas

Sifat pengemulsi protein menunjukkan korelasi positif yang lemah dengan hidrofobisitas permukaan, tetapi tidak dengan hidrofobisitas residu rata-rata (yaitu, kcal/mol residu). Sifat pengemulsi beberapa protein, seperti  $\beta$ -laktoglobulin,  $\alpha$ -laktalbumin, dan protein kedelai tidak menunjukkan korelasi yang kuat dengan hidrofobisitas permukaan.

## 4. Denaturasi Protein

Adanya denaturasi sebagian pada protein sebelum proses emulsifikasi yang tidak mengakibatkan ketidaklarutan protein biasanya dapat meningkatkan sifat pengemulsi dari protein karena adanya peningkatan fleksibilitas molekul dan

hidrofobisitas permukaan. Denaturasi panas yang berlebihan dapat merusak sifat pengemulsi yang akan menjadikan protein tidak larut.

#### 5. Pengemulsi dengan BM Kecil

Pengemulsi molekul kecil, seperti fosfolipid yang umumnya ditemukan dalam bahan pangan, bersaing dengan protein untuk adsorpsi pada *interface* minyak-air. Karena surfaktan molekul kecil dapat berdifusi dengan cepat ke *interface* dan tidak memiliki batasan konformasi untuk reorientasi pada *interface*, maka surfaktan tersebut dapat secara efektif menghambat adsorpsi protein pada konsentrasi tinggi. Jika pengemulsi molekul kecil ditambahkan ke emulsi yang distabilkan oleh protein, dapat menggantikan protein dari *interface* dan menyebabkan ketidakstabilan dalam emulsi.

#### 6. Komposisi Protein

Faktor lain yang mempengaruhi emulsi yang distabilkan oleh protein adalah komposisi protein. Protein pangan pada umumnya merupakan campuran dari beberapa komponen protein. Misalnya, protein telur merupakan campuran dari lima protein utama dan beberapa komponen protein minor. Begitu juga dengan whey protein yang merupakan campuran dari  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, dan beberapa protein minor lainnya. Isolat protein kedelai mengandung setidaknya dua fraksi protein utama, yaitu legumins dan vicillins. Selama proses emulsifikasi, komponen protein dari campuran tersebut bersaing satu sama lain untuk adsorpsi ke *interface*.

Sifat pengemulsi protein pada bahan dan produk pangan dapat dievaluasi menggunakan beberapa metode, yaitu:

##### 1. Indeks aktivitas pengemulsi



Sifat dari emulsi yang distabilkan oleh protein bergantung pada ukuran tetesan yang terbentuk dan total area *interface* yang dibuat. Ukuran tetesan rata-rata emulsi dapat ditentukan dengan beberapa metode, seperti mikroskop cahaya (tidak terlalu dapat diandalkan), mikroskop elektron dan hamburan cahaya (spektroskopi korelasi foton).

## 2. Jumlah Protein yang Teradsorpsi

Jumlah protein yang teradsorpsi pada *interface* minyak-air dari emulsi mempengaruhi stabilitasnya. Untuk menentukan jumlah protein yang teradsorpsi, emulsi harus melalui beberapa proses seperti sentrifugasi, serta pemisahan fase air dan krim untuk menghilangkan protein yang teradsorpsi. Jumlah protein yang teradsorpsi ke partikel emulsi ditentukan dari perbedaan antara total protein yang awalnya ada dalam emulsi dan jumlah yang ada dalam cairan pencuci dari fase krim. Umumnya, protein *load* berada pada kisaran sekitar 1-3 mg / m<sup>2</sup> dari area *interface*. Untuk emulsi dengan kandungan lemak tinggi dan tetesan yang berukuran kecil, jelas diperlukan lebih banyak protein untuk melapisi area *interface* dan menstabilkan emulsi.

## 3. Kapasitas Emulsi

Kapasitas emulsi (*Emulsion Capacity/EC*) merupakan volume (mL) minyak yang dapat diemulsi per gram protein sebelum terjadi inversi fase (perubahan dari emulsi minyak-dalam-air menjadi air-dalam-minyak). Metode ini melibatkan penambahan minyak pada kecepatan dan suhu yang konstan ke dalam larutan protein encer yang terus-menerus diaduk. Pembalikan posisi fase ditandai dengan adanya perubahan viskositas atau warna yang tiba-tiba

(biasanya ditambahkan pewarna ke dalam minyak) atau dengan peningkatan hambatan listrik.

#### 4. Stabilitas Emulsi

Emulsi yang distabilkan oleh protein umumnya stabil selama beberapa hari, sehingga pemisahan fase umumnya tidak terjadi dalam jangka waktu yang wajar pada kondisi atmosfer. Oleh karena itu untuk mengevaluasi stabilitas emulsi dilakukan pada kondisi yang tidak biasa seperti penyimpanan pada suhu tinggi atau pemisahan karena adanya gaya sentrifugal. Metode turbidimetri pun dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas emulsi yang dinyatakan sebagai waktu untuk mencapai kekeruhan emulsi (*Emulsion Stability Index/ESI*). Metode yang digunakan untuk menentukan stabilitas emulsi sangat empiris karena berdasarkan penelitian dan pengalaman.

Sifat emulsifikasi sangat diperlukan pada beberapa produk pangan seperti produk olahan daging, susu formula bayi, minuman pengganti makanan, sup, saus, saus salad, es krim dan krimer kopi.

#### 7.2.5 *Foaming*

Busa terdiri dari fase kontinu berair dan fase terdispersi gas (udara). Banyak makanan olahan adalah produk jenis *foam* (busa) seperti *whipped cream*, es krim, kue, meringue, roti, *shouffle*, *mousse*, dan *marshmallow*. Sifat tekstur dan rasa yang unik dari produk jenis busa ini berasal dari gelembung-gelembung udara kecil yang tersebar pada produk. Dalam sebagian besar produk jenis busa ini, protein merupakan zat aktif yang membantu dalam pembentukan dan stabilisasi fase gas yang terdispersi. Umumnya larutan protein yang melalui proses pendidihan, *whipped* atau pengadukan akan menghasilkan busa yang distabilkan oleh protein.

Sifat berbusa dari protein mengacu pada kemampuannya untuk membentuk lapisan tipis yang kuat pada *interface* gas-cair sehingga sejumlah besar gelembung gas dapat digabungkan dan distabilkan.

Sifat-sifat *foaming* yang distabilkan oleh protein dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. pH

*Foaming* yang distabilkan oleh protein lebih stabil pada pH isoelektrik dibandingkan pada pH lainnya dengan catatan tidak ada insolubilisasi protein pada pI. Kurangnya interaksi repulsif mendorong interaksi protein-protein yang menguntungkan dan pembentukan film kental di *interface* di dekat daerah pH isoelektrik. Selain itu, peningkatan jumlah protein yang teradsorpsi ke *interface* di pI karena kurangnya tolakan antara *interface* dan molekul pengadsorpsi. Kedua faktor ini meningkatkan kemampuan berbusa dan stabilitas busa. Pada pH selain pI, kemampuan berbusa protein sangat baik, tetapi stabilitas busanya kurang baik. Protein putih telur menunjukkan sifat berbusa yang baik pada pH 8–9 dan pada pH isoelektrik 4–5.

2. Garam

Sifat *foaming* protein dipengaruhi oleh garam tergantung pada jenis garam dan karakteristik kelarutan protein dalam larutan garam tersebut. Stabilitas busa dan kemampuan membentuk busa pada sebagian protein globular seperti serum albumin bovine, albumin telur, glutenin dan protein kedelai meningkat dengan meningkatnya konsentrasi NaCl. Hal ini disebabkan dengan adanya netralisasi muatan oleh ion garam. Namun beberapa protein seperti protein whey

menunjukkan efek sebaliknya, baik kemampuan membentuk busa maupun stabilitasnya menurun dengan meningkatnya konsentrasi NaCl.

### 3. Gula

Adanya penambahan sukrosa, laktosa dan gula lainnya ke dalam larutan protein sering merusak kemampuan membentuk busa pada protein, tetapi dapat meningkatkan stabilitas busa. Pada produk *desserts* yang mengandung gula dan berjenis busa seperti *meringue*, *souffle*, dan kue, lebih baik menambahkan gula setelah dikocok menjadi busa (jika memungkinkan). Hal ini memungkinkan protein untuk menyerap, membuka, dan membentuk lapisan yang stabil, dan kemudian gula yang ditambahkan akan meningkatkan stabilitas busa dengan meningkatkan viskositas cairan lamella. Gula menstabilkan busa karena dapat meningkatkan viskositas larutan dan mengurangi laju drainase cairan lamella.

### 4. Lemak

Lipid (terutama fosfolipid) pada konsentrasi  $> 0,5\%$  dapat merusak sifat *foaming* protein. lipid lebih aktif pada permukaan dibandingkan protein sehingga lipid dapat dengan mudah teradsorpsi pada *interface* udara-air dan menghambat adsorpsi protein selama pembentukan busa. Dengan demikian, isolat protein whey dan protein whey bebas lipid, protein kedelai serta protein telur tanpa kuning telur memiliki sifat *foaming* yang lebih baik dibandingkan protein yg terdapat pada lipid.

### 5. Konsentrasi Protein

Beberapa sifat *foaming* dipengaruhi oleh konsentrasi protein Semakin besar konsentrasi protein, maka akan semakin kaku busanya. Kekakuan busa dihasilkan dari ukuran gelembung yang kecil dan viskositas larutan yang tinggi.

Stabilitas busa ditingkatkan dengan konsentrasi protein yang lebih besar karena dapat meningkatkan viskositas dan membentuk lapisan protein yang kohesif dan multilayer pada *interface*. Kemampuan berbusa protein umumnya mencapai nilai maksimum di beberapa titik selama peningkatan konsentrasi protein. Beberapa protein, misalnya albumin serum, mampu membentuk busa yang relatif stabil pada konsentrasi protein 1%, sedangkan protein seperti isolat protein whey dan protein kedelai memerlukan minimal 2%–5% untuk membentuk busa yang relatif stabil. Umumnya sebagian besar protein menampilkan kemampuan berbusa maksimum pada konsentrasi sekitar 2%-8%.

#### 6. Denaturasi

Denaturasi panas parsial dapat meningkatkan sifat *foaming* protein, misalnya pemanasan isolat protein whey pada suhu 70°C selama 1 menit akan meningkatkan sifat pembusaan protein, sedangkan pemanasan pada suhu 90°C selama 5 menit akan menurunkan sifat berbusa. Penurunan sifat *foaming* ini disebabkan oleh adanya polimerisasi protein dan terikat silang sehingga tidak dapat teradsorpsi ke *interface* udara-air.

Sifat *foaming* protein pada bahan dan produk pangan dapat dievaluasi menggunakan beberapa metode, yaitu:

##### 1. *Overrun*

*Overrun* didefinisikan sebagai pengembangan volume atau kenaikan volume dari produk dalam kondisi stabil dengan rumus :

$$\text{Overrun} = \frac{\text{Volume busa}}{\text{Volume larutan awal}} \times 100$$

##### 2. Daya *foaming* (FP)

Daya *foaming* (*Foaming Power/FP*) umumnya meningkat dengan konsentrasi protein sampai nilai maksimum tercepat, hal ini dipengaruhi oleh metode yang digunakan untuk pembentukan busa. FP pada konsentrasi protein tertentu sering digunakan sebagai dasar untuk membandingkan sifat pembusaan berbagai protein.

Tabel 7.3. FP Berbagai Larutan Protein pada pH 8,0

Tipe Protein	FP pada Konsentrasi Protein 0,5% (w/v) (%)
Bovine serum albumin	280
Isolat protein whey	600
Albumin telur	240
Ovalbumin	40
Plasma bovine	260
B-laktoglobulin	480
Fibrinogen	360
Protein kedelai (terhidrolisis enzim)	500
Gelatin (kulit babi yang diproses oleh asam)	760

(Sumber : Damodaran, 2007)

### 3. Stabilitas *Foaming*

Stabilitas *foaming* mengacu pada kemampuan protein untuk menstabilkan busa terhadap tekanan gravitasi dan mekanis. Stabilitas *foaming* sering dinyatakan sebagai sebagai waktu yang dibutuhkan untuk 50% cairan mengalir dari busa atau untuk pengurangan volume busa sebesar 50%. Ukuran stabilitas busa yang paling langsung adalah pengurangan area *interface* busa sebagai fungsi waktu.

### 4. Kekuatan *Foaming*

Kekuatan atau kekakuan *foaming* mengacu pada berat maksimum yang dapat ditahan oleh kolom busa sebelum runtuh. Kekuatan *foaming* juga dapat dinilai dengan mengukur viskositas *foaming*.

Metode pembentukan busa mempengaruhi sifat *foaming* dari protein. Masuknya udara dengan cara *bubbling* biasanya menghasilkan busa yang basah dengan ukuran gelembung yang relatif besar. Pengocokan dengan kecepatan sedang umumnya menghasilkan busa dengan gelembung berukuran kecil karena adanya gaya yang menyebabkan denaturasi parsial sebelum terjadinya adsorpsi. Tetapi pengocokan dengan kecepatan tinggi dapat menurunkan daya *foaming* karena adanya denaturasi, agregasi dan pengendapan protein yang ekstensif.

Beberapa produk makanan jenis busa seperti *marshmallow*, kue dan roti mengalami pemanasan setelah busa terbentuk. Adanya pemanasan dapat menyebabkan pecahnya gelembung dan kerusakan busa. Gelatin, gluten, dan putih telur menunjukkan sifat *foaming* dan pembentuk gel yang baik sehingga digunakan untuk produk *foaming* yang mengalami proses pemanasan.

#### 7.2.6 Pengikat Flavor

Protein tidak memiliki aroma, tetapi protein dapat mengikat senyawa flavor sehingga dapat mempengaruhi sifat sensorik dari produk pangan. Beberapa protein terutama protein oilseed dan konsentrat protein whey membawa flavor yang tidak diinginkan sehingga penggunaannya dalam produk pangan sangat terbatas. Flavor yang tidak diinginkan ini utamanya disebabkan oleh adanya aldehida, keton dan alkohol yang dihasilkan oleh oksidasi asam lemak tidak jenuh. Setelah terbentuk, senyawa karbonil tersebut akan mengikat protein dan memberikan flavor yang khas.

Protein juga dapat mengikat flavor yang diinginkan karena dapat digunakan sebagai pembawa flavor atau mengubah flavor dalam produk pangan. Agar protein berfungsi sebagai pembawa flavor yang baik, protein harus mengikat flavor dengan erat, menahannya selama proses pengolahan dan melepaskannya pada saat makanan di dalam mulut.

Pada flavor berbasis air, mekanisme pengikatan flavor pada protein bergantung pada kadar airnya, tetapi interaksi biasanya tidak kovalen. Bubuk protein kering mengikat flavor akibat adanya gaya van der Waals, ikatan hidrogen, dan ikatan elektrostatis. Dalam produk pangan dengan kadar air tinggi, mekanisme pengikatan flavor oleh protein disebabkan oleh interaksi senyawa flavor non polar (ligan) dengan rongga hidrofobik pada permukaan protein. Selain interaksi hidrofobik, senyawa flavor dengan gugus hidroksil dan karboksil juga dapat berinteraksi dengan protein melalui ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis. Setelah mengikat daerah hidrofobik permukaan, aldehida dan keton mungkin dapat berdifusi ke dalam rongga hidrofobik molekul protein. Tingkat pengikatan flavor oleh protein yang terhidrasi tergantung pada jumlah daerah pengikatan hidrofobik yang tersedia pada permukaan protein.

Suhu memiliki pengaruh yang sangat kecil pada pengikatan flavor, kecuali jika terjadi pembukaan termal protein yang signifikan. Protein yang terdenaturasi secara termal menunjukkan peningkatan kemampuan untuk mengikat flavor, tetapi konstanta pengikatan biasanya rendah dibandingkan dengan protein asli. Pengikatan flavor biasanya lebih meningkat pada pH basa daripada pada pH asam. Hal ini karena protein cenderung mengalami denaturasi lebih luas pada pH basa dibandingkan pada pH asam.



### 7.2.7 Teksturisasi

Teksturisasi mengandung arti transformasi protein dari keadaan globular menjadi struktur fisik berserat yang memiliki karakteristik rasa di mulut seperti daging. Berbagai sifat fungsional yang diharapkan dimiliki oleh produk protein bertekstur meliputi kekenyalan, elastisitas, kelembutan, dan *juiciness*. Protein nabati biasanya menjadi sumber protein untuk pembuatan protein bertekstur, terutama karena protein nabati memiliki kekurangan sifat fungsional yang diinginkan seperti yang ada pada protein hewani.

Prinsip umum yang terlibat dalam pembuatan protein berserat ini adalah denaturasi termal atau alkali protein, penataan kembali protein yang didenaturasi dalam bentuk jaringan berserat, pengikatan serat menggunakan pengikat protein dan flavor pada produk akhir. Protein nabati bertekstur semakin banyak digunakan pada produk daging yang dihaluskan (roti daging, saus, burger, dll.) dan sebagai pengganti daging atau daging tiruan (analog).

Protein nabati bertekstur dapat diproduksi menggunakan dua proses yaitu proses tekstur serat pintal dan tekstur ekstrusi.

#### 2. Tekstur Serat Pintal

Pada proses ini, larutan isolat protein kedelai yang sangat pekat (sekitar 20% w/v) dengan pH sekitar 12-13 diproses ke dalam alat pemintal, yaitu sebuah alat dengan plat yang berisi ribuan lubang berukuran mikron. Protein tersebut kemudian dilewatkan melalui bak yang mengandung asam fosfat dan garam pada pH 2,5. Protein akan menggumpal secara instan dalam bak ini dan menjadi protein berserat.

Serat tersebut kemudian "ditarik" melalui gulungan baja, dimana serat tersebut dikompresi dan diregangkan untuk meningkatkan kekuatannya. Serat tersebut kemudian dilewatkan melalui bak cuci dimana kelebihan keasaman dan garam dihilangkan. Serat yang dicuci kemudian melewati serangkaian tangki yang berisi lemak, perasa, warna dan pengikat tergantung pada produk akhir. Serat tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 80°C -90°C untuk menginduksi gelasi protein pengikat.

### 3. Tekstur Ekstrusi

Dalam proses ini, tepung kedelai atau konsentrat protein kedelai tanpa lemak dengan indeks kelarutan protein tinggi diatur kadar ainya menjadi sekitar 20%-25%. Kemudian protein tersebut dimasukkan ke dalam mesin ekstruder dengan suhu sekitar 150°C -180°C sehingga protein akan terdenaturasi dan meleleh (lelehan termoplastik). Jika diinginkan produk padat, protein didinginkan terlebih dahulu sebelum keluar dari cetakan. Protein ekstrudat tersebut kemudian dipotong-potong dan diproses lebih lanjut tergantung pada penggunaannya.

## BAB 8

### Reaksi Kimia yang Melibatkan Protein

#### 8.1. Denaturasi Protein

Denaturasi diartikan sebagai proses perubahan konformasi (bentuk atau susunan ruang) dari <sup>1</sup>rantai polipeptida yang tidak mempengaruhi struktur primernya. Perubahan yang terjadi adalah pada struktur sekunder, tersier dan kuartener dari protein, karena ikatan yang mempertahankan ketiga jenis struktur tersebut sangat lemah.

Denaturasi merupakan peristiwa dimana keadaan awal protein yang didefinisikan dengan baik dan terbentuk dibawah kondisi fisiologis berubah menjadi keadaan yang tidak jelas dibawah kondisi non fisiologis oleh beberapa zat yang menyebabkan denaturasi seperti <sup>1</sup>adanya perlakuan asam atau basa kuat, panas, detergen ionik (amfitat), garam pekat (urea, guanidin), logam berat (Ag, Pb, Hg) dan pelarut-pelarut organik (etil alkohol, fenol).

Perubahan konformasi dalam protein selalu mempengaruhi beberapa sifat kimia dan fisiknya seperti absorbansi ultraviolet, fluoresensi, viskositas, koefisien sedimentasi, rotasi optik, reaktivitas gugus sulfhidril, dan aktivitas enzim. Dengan demikian, denaturasi protein dapat dipelajari dengan memantau perubahan sifat fisik dan kimiawi tersebut, karena mengetahui denaturasi protein melalui strukturnya bukanlah hal yang dapat diukur dengan mudah.

Sebagian besar protein globular mudah mengalami <sup>1</sup>denaturasi. Pada protein globular, denaturasi umumnya merusak jala-jala polipeptida karena lipatan-lipatan

polipeptidanya akan terbuka dan mengembang sehingga berubah bentuk menjadi *random coil*. Proses denaturasi dapat bersifat reversibel dan ireversibel.

Denaturasi umumnya bersifat reversibel ketika rantai peptida distabilkan dalam keadaan tidak terlipat oleh denaturan dan konformasi asli protein dapat dibangun kembali setelah pelepasan denaturan. Denaturasi yang bersifat ireversibel terjadi ketika rantai peptida yang tidak terlipat distabilkan oleh interaksi dengan rantai lain (misalnya pada protein telur selama perebusan). Selama tidak terlipatnya kelompok reaktif seperti kelompok tiol yang “terkubur” atau diblokir dapat terpapar. Pembentukan ikatan disulfida juga dapat menyebabkan denaturasi yang bersifat ireversibel.

Umumnya denaturasi bersifat negatif atau tidak dikehendaki dalam proses pengolahan makanan karena mengindikasikan hilangnya beberapa sifat dari protein. Dalam protein makanan, denaturasi biasanya menyebabkan protein mengalami penurunan kemampuan untuk larut sehingga terjadi pengendapan serta terbentuknya gel. Tetapi dalam beberapa kasus denaturasi memang dikehendaki dalam proses pengolahan makanan. Misalnya denaturasi parsial protein antara udara dan air serta minyak dan air yang dapat meningkatkan sifat pembusaan dan pengemulsi. Sedangkan denaturasi akibat adanya panas yang berlebihan pada protein kedelai dapat mengurangi sifat pembusaan dan pengemulsi. Selain itu, denaturasi akibat adanya panas dapat meningkatkan daya cerna protein tumbuhan kacang polong karena adanya inaktivasi dari tripsin inhibitor.

Protein yang mengalami proses denaturasi umumnya lebih mudah dicerna dibandingkan dengan protein yang tidak mengalami denaturasi. Minuman yang mengandung protein tinggi membutuhkan kelarutan dan dispersibilitas yang tinggi

dari protein. Adanya denaturasi parsial pada protein selama proses pengolahan dapat menyebabkan flokulasi dan pengendapan selama proses penyimpanan sehingga dapat mempengaruhi atribut sensorik dari produk. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan strategi proses pengolahan yang tepat untuk memiliki pemahaman mendasar tentang faktor lingkungan dan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi stabilitas protein dalam bahan dan produk pangan.

#### 8.1.1. Faktor Penyebab Denaturasi

Denaturasi protein dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu panas, tekanan, pengadukan, pH, pelarut organik, senyawa organik, deterjen dan garam. Masing-masing faktor mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap denaturasi protein.

##### 1. Suhu

Suhu tinggi merupakan penyebab denaturasi yang paling umum digunakan dalam proses pengolahan dan pengawetan produk pangan. Protein mengalami berbagai tingkat denaturasi selama proses pengolahan. Hal ini dapat mempengaruhi sifat fungsional protein dalam produk pangan.

Protein tersebut mengalami transisi tajam dari keadaan asli ke keadaan terdenaturasi ketika larutan protein dipanaskan secara bertahap di atas suhu kritis,. Mekanisme denaturasi protein yang diinduksi oleh suhu menyebabkan destabilitas ikatan non kovalen di dalam protein. Dalam hal ini, ikatan hidrogen dan ikatan ionik yang bersifat eksotermik menjadi tidak stabil, sedangkan ikatan hidrofobik yang bersifat endotermik distabilkan dengan meningkatnya suhu, dimana kekuatan dari ikatan hidrofobik mencapai maksimum pada suhu sekitar 70°C -80°C. Selain ikatan

non kovalen, konformasi entropi mempengaruhi suhu dalam mempertahankan stabilitas protein. konformasi entropi dari rantai akan meningkat seiring dengan adanya kenaikan suhu yang mempengaruhi protein dalam keadaan tidak terlipat.

Dalam protein globular, sebagian besar gugus yang bermuatan terdapat pada permukaan molekul protein, dimana permukaan tersebut sepenuhnya terpapar pada media berair yang memiliki dielektrik yang tinggi, yang menyebabkan ikatan ionik pada residu yang memiliki muatan akan sangat berkurang sehingga pengaruh ikatan ionik dalam mempertahankan stabilitas protein tidak signifikan. Demikian pula dengan ikatan hidrogen yang tidak stabil dalam lingkungan berair, dimana stabilitasnya dalam protein bergantung pada ikatan hidrofobik. Dapat disimpulkan bahwa selama keadaan non polar dipertahankan, ikatan hidrogen pada protein akan tetap utuh walaupun suhu dinaikkan.

Seringkali diasumsikan bahwa semakin rendah suhu, maka semakin tinggi kestabilan protein. Namun hal ini tidak selalu benar, karena beberapa protein dapat terdenaturasi pada suhu rendah. Sebagai contoh, mioglobin memiliki stabilitas maksimum pada suhu sekitar 12,5°C. Di bawah dan di atas suhu tersebut mioglobin menjadi kurang stabil. Ketika disimpan di bawah suhu 0°C, mioglobin mengalami denaturasi akibat adanya suhu dingin. Temperatur stabilitas maksimum (energi bebas minimum) dari protein bergantung pada pengaruh temperatur relatif pada kekuatan stabilisasi dan destabilisasi dalam protein. Protein yang distabilkan oleh ikatan hidrofobik lebih stabil pada suhu ruang daripada pada keadaan suhu dingin. Ikatan sulfida intramolekul dalam protein cenderung menstabilkan protein pada suhu rendah dan tinggi, karena ikatan tersebut dapat melawan entropi konformasi dari rantai protein.

Beberapa protein makanan mengalami disosiasi dan denaturasi yang reversibel pada suhu rendah. *Glycinin*, yang merupakan salah satu protein penyimpanan kedelai, akan menggumpal dan mengendap saat disimpan pada suhu 2°C. *Glycinin* akan larut kembali pada suhu ruang. Ketika susu skim disimpan pada suhu 4°C,  $\beta$ -kasein akan berdisosiasi dari misel kasein dan mengubah sifat fisikokimia dari misel kasein tersebut.

Komposisi asam amino dari protein dapat mempengaruhi stabilitas termal dari protein. Protein yang mengandung proporsi yang lebih besar dari residu asam amino hidrofobik, terutama valin, isoleusin, leusin, dan fenilalanin, akan cenderung lebih stabil daripada protein yang lebih hidrofilik. Asparagin dan glutamin memiliki sifat rentan terhadap deamidasi pada suhu tinggi, sedangkan sistein, metionin dan triptofan dapat dengan mudah teroksidasi pada suhu tinggi. Umumnya protein yang termostabil memiliki kandungan asam amino isoleusin dan prolin yang tinggi.

Denaturasi termal dari sebagian besar protein globular monomer bersifat reversibel. Misalnya, ketika enzim monomerik dipanaskan di atas suhu denaturasinya atau bahkan suhunya ditahan sebentar pada 100°C. Kemudian segera didinginkan hingga suhu ruang, maka enzim tersebut akan kembali aktif sepenuhnya. Namun denaturasi termal dapat menjadi ireversibel ketika protein dipanaskan pada suhu sekitar 90°C -100°C untuk waktu yang lama, bahkan pada pH netral. Keadaan ini terjadi karena beberapa perubahan kimiawi pada protein, seperti deamidasi residu asparagin dan glutamin, pemecahan ikatan peptida pada residu asam aspartat, penghancuran residu sistein dan sistin, serta adanya agregasi.

Tabel 0.1. Suhu Denaturasi Termal dan Rata-Rata Hidrofobisitas Protein

Protein	Suhu Denaturasi	Rata-Rata Hidrofobisitas (kcal/mol residu)
Tripsinogen	55	0,89
Kimotripsinogen	57	0,90
Elastase	57	-
Pepsinogen	60	0,97
Ribonuklease	62	0,78
Karboksipeptidase	63	-
Alkohol dehidrogenase	64	-
Bovine serum albumin	65	1,02
Hemoglobin	67	0,96
Lisozim	72	0,90
Insulin	76	1,00
Albumin telur	76	0,97
Inhibitor tripsin	77	-
Mioglobin	79	1,05
$\alpha$ -laktalbumin	83	1,03
Sitokrom C	83	1,06
$\beta$ -laktoglobulin	83	1,09
Avidin	85	0,92
Glycinin kedelai	92	-
Protein 11S <i>broadbean</i>	94	-
Protein 11S bunga matahari	95	-
Globulin oat	108	-

(Sumber : Damodaran, 2007)

Adanya kandungan air sangat mempengaruhi denaturasi suhu pada protein. Serbuk protein kering sangat stabil terhadap denaturasi suhu. Suhu denaturasi akan menurun tajam dengan meningkatnya kadar air dari 0 menjadi 0,35g air /g protein.



Peningkatan kadar air dari 0,35 menjadi 0,75 g air /g protein hanya menyebabkan sedikit penurunan suhu denaturasi. Suhu denaturasi pada protein dengan adar air di atas 0,75 g air /g protein sama seperti suhu denaturasi pada larutan protein encer. Dalam keadaan kering, protein memiliki struktur statis, yaitu segmen polipeptida memiliki mobilitas terbatas. Saat kadar air meningkat, hidrasi dan masuknya air ke dalam rongga permukaan menyebabkan pembengkakan protein. Pembengkakan protein meningkatkan mobilitas rantai dan fleksibilitas. Ketika dipanaskan, struktur fleksibel dinamis ini memberikan akses yang lebih besar dari air ke jembatan garam dan ikatan hidrogen peptida daripada yang dimungkinkan dalam keadaan kering, menghasilkan suhu denaturasi yang lebih rendah.

Zat aditif seperti garam dan gula dapat mempengaruhi termostabilitas protein dalam larutan air. Gula seperti sukrosa, laktosa, glukosa, dan gliserol dapat menstabilkan protein terhadap denaturasi akibat suhu. Penambahan 0,5 M NaCl ke protein seperti  $\beta$ -laktoglobulin, protein kedelai, serum albumin, dan globulin oat, secara signifikan dapat meningkatkan suhu denaturasinya.

## 2. Tekanan

Salah satu peristiwa termodinamika yang dapat menyebabkan denaturasi protein adalah tekanan. Jika pada protein terdenaturasi akibat suhu panas pada suhu sekitar 40°C -80°C dengan tekanan 1 atm, maka protein yang mengalami denaturasi akibat tekanan akan terdenaturasi pada suhu 25°C jika tekanannya cukup besar. Sebagian besar protein mengalami denaturasi akibat tekanan dalam kisaran 1-12 kbar.

Denaturasi protein akibat tekanan terjadi karena protein memiliki sifat yang fleksibel dan dapat dipadatkan (dimampatkan). Meskipun residu asam amino padat

terdapat di bagian dalam protein globular, namun terdapat juga ruang hampa di bagian dalam protein globular dan hal ini yang menyebabkan protein dapat dimampatkan. Sebagian besar protein fibrosa tidak memiliki ruang hampa, oleh karena itu protein fibrosa lebih stabil terhadap tekanan hidrostatik daripada protein globular.

Denaturasi protein globular yang disebabkan oleh tekanan biasanya disertai dengan penurunan volume, dimana penurunannya sekitar 30-100 ml/mol. Penurunan volume ini disebabkan oleh dua faktor yaitu hilangnya ruang hampa saat lipatan protein terbuka dan adanya hidrasi pada residu asam amino non polar yang selama lipatan protein terbuka.

Lipatan protein hanya terbuka sebagian pada tekanan yang tinggi, bahkan pada tekanan setinggi 10 kbar. Hal ini disebabkan protein hanya mengalami perubahan sekitar 0,5% pada denaturasi oleh tekanan, dimana protein globular yang lipatannya benar-benar terbuka seharusnya mengalami perubahan volume sekitar 2%.

Denaturasi protein yang disebabkan oleh tekanan bersifat sangat reversibel. Dalam kasus protein dan enzim oligomer yang mengalami denaturasi tekanan, sub unit pertama kali berdisosiasi pada tekanan sekitar 0,001–2 kbar dan kemudian sub unit mengalami denaturasi pada tekanan yang lebih tinggi. Ketika tekanan tersebut diturunkan ke tekanan atmosfer, sub unit akan bergabung kembali. Aktivitas protein dan enzim oligomer akan kembali setelah beberapa jam.

Tekanan tinggi dapat menginaktivasi mikroba dan bahkan dapat membuat bahan atau produk pangan terdenaturasi dan berubah bentuk menjadi gel. Tekanan yang tinggi (sekitar 2-10 kbar) akan merusak membran sel secara permanen dan

menyebabkan disosiasi organel dalam mikroorganisme, sehingga mikroorganisme vegetatif akan di non aktifkan. Tekanan sekitar 1-7 kbar selama 30 menit pada suhu 25°C pada putih telur, dimana larutan protein kedelai dengan konsentrasi 16% atau larutan aktomiosin dengan konsentrasi 3% akan menyebabkan denaturasi dan pembentukan gel. Gel yang terbentuk lebih lembut dari gel yang terbentuk dari denaturasi akibat suhu panas.

Denaturasi akibat tekanan tidak seperti denaturasi akibat suhu panas yang dapat merusak asam amino esensial, warna dan rasa alami serta tidak menyebabkan terbentuknya senyawa beracun. Pengolahan bahan pangan dengan tekanan yang tinggi akan menguntungkan untuk produk pangan tertentu, tetapi pengolahan dengan tekanan tinggi membutuhkan biaya yang tinggi juga.

### 3. Pengadukan

Adanya gaya mekanis yang tinggi yang dihasilkan dengan cara pengadukan, *kneading*, *whipping* dan sebagainya dapat menyebabkan denaturasi protein. Banyak protein yang dapat terdenaturasi dan mengendap ketika diaduk dengan kuat. Denaturasi terjadi karena adanya penggabungan gelembung udara dan adsorpsi molekul protein ke perbatasan antara fase gas dan fase cair. Protein mengalami perubahan konformasi pada perbatasannya, karena energi perbatasan antara fase gas dan fase cair lebih besar daripada energi fase massal.

Tingkat perubahan konformasi tergantung pada fleksibilitas protein. Protein yang sangat fleksibel terdenaturasi lebih mudah pada perbatasan antara fase gas dan fase cair dibandingkan dengan protein yang kaku. Residu non polar dari protein yang terdenaturasi berorientasi pada fase gas sedangkan residu polar berorientasi pada fase air.

Beberapa proses pengolahan bahan dan produk pangan melibatkan tekanan tinggi, pengadukan dan suhu tinggi. Contohnya pada proses ekstruksi, pencampuran dengan kecepatan tinggi dan homogenisasi. Semakin besar laju pengadukannya, maka akan semakin tinggi pula derajat denaturasinya. Kombinasi antara suhu tinggi dan pengadukan dengan kecepatan tinggi menyebabkan denaturasi protein yang bersifat irreversibel. Misalnya pada larutan protein whey dengan konsentrasi 10-20% pada pH 3,5–4,5 dan pada 80–120°C dikenakan laju pengadukan 7,500–10,000/detik, maka akan membentuk partikel makrokoloid bulat yang tidak dapat larut dan memiliki diameter sekitar 1  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Derajat Keasaman (pH)

Protein lebih stabil terhadap denaturasi pada titik isoelektriknya dibandingkan pada pH lainnya. Pada pH netral, sebagian besar protein memiliki muatan negatif dan beberapa diantaranya memiliki muatan positif. Sebagian besar protein bersifat stabil pada kondisi pH netral, karena energi tolakan elektrostatis netral lebih kecil dibandingkan dengan interaksi lain yang menguntungkan. Namun, tolakan elektrostatis intramolekul yang kuat yang disebabkan oleh muatan netral yang tinggi pada nilai pH yang ekstrim mengakibatkan pembengkakan dan terbukanya lipatan dari molekul protein. Tingkat terbukanya lipatan protein lebih besar pada kondisi pH basa yang ekstrim daripada pada kondisi pH asam ekstrim. Hal ini dapat dikaitkan dengan ionisasi dari gugus karboksil, fenolik, dan sulfhidril yang terkubur sebagian yang menyebabkan rantai polipeptida terurai saat mencoba ke lingkungan berair. Denaturasi yang disebabkan oleh pH sebagian besar bersifat reversibel. Namun dalam beberapa kasus, hidrolisis parsial ikatan peptida,

deamidasi asparagin dan glutamin, penghancuran gugus sulfhidril pada pH basa, atau agregasi dapat mengakibatkan denaturasi protein yang bersifat irreversibel.

#### 5. Pelarut Organik

Pelarut organik dapat menyebabkan denaturasi protein karena dapat mempengaruhi stabilitas ikatan hidrofobik, ikatan hidrogen dan ikatan ionik pada protein dengan cara yang berbeda-beda pada setiap ikatan. Rantai cabang dari protein non polar memiliki sifat lebih larut dalam pelarut organik daripada dalam air, sehingga pelarut organik dapat melemahkan ikatan hidrofobik dari protein non polar.

Pada beberapa kasus, pelarut organik tertentu dapat memperkuat atau membantu pembentukan ikatan hidrogen pada peptida, misalnya pelarut organik 2-kloroetanol yang dapat menyebabkan peningkatan pembentukan  $\alpha$ -heliks pada protein globular. Pelarut organik dapat mengurangi permitivitas, sehingga akan meningkatkan ikatan ionik antara kelompok yang memiliki muatan berlawanan dan juga dapat meningkatkan tolakan antara kelompok yang memiliki muatan serupa.

Efek netral dari pelarut organik pada struktur protein biasanya tergantung pada besarnya efek tersebut pada berbagai ikatan polar dan non polar. Pada konsentrasi rendah, beberapa pelarut organik dapat menstabilkan beberapa enzim dari proses denaturasi, sedangkan pada konsentrasi tinggi semua pelarut organik menyebabkan denaturasi protein karena dapat melarutkan rantai cabang non polar dari protein.

#### 6. Zat Terlarut dengan Berat Molekul Kecil

Beberapa zat terlarut dengan berat molekul kecil seperti urea, guanidin hidroklorida (GuHCl), deterjen, gula dan garam netral dapat mempengaruhi stabilitas protein dalam larutan air. Urea, GuHCl dan deterjen dapat mendestabilisasi konformasi asli dari protein, sedangkan gula cenderung menstabilkan struktur asli protein. Garam netral yang seperti sulfat, fosfat dan garam florida natrium dapat menstabilkan struktur protein sedangkan garam lain seperti bromida, iodida, perklorat dan tiosianat dapat mendestabilisasi struktur protein.

Zat terlarut yang memiliki sifat mendestabilisasi struktur protein bekerja dengan mengikat permukaan protein dan menyebabkan dehidrasi protein. Molekul air dikeluarkan dari daerah sekitar protein dan konsentrasi zat terlarut daerah tersebut akan lebih tinggi daripada di pelarut.

#### A. Urea dan Guanidin Hidroklorida (GuHCl)

Umumnya protein globular mulai mengalami denaturasi dengan konsentrasi urea sekitar 4-6 M dan GuHCl sekitar 3-4 M pada suhu ruang. Protein terdenaturasi sepenuhnya pada urea dengan konsentrasi sekitar 8 M dan GuHCl sekitar 6 M. GuHCl merupakan denaturan yang lebih kuat daripada urea karena karakter ioniknya. Banyak protein globular yang tidak mengalami denaturasi penuh, bahkan dalam urea konsentrasi 8 M. Sedangkan dalam GuHCl konsentrasi 8 M protein globular biasanya terdenaturasi sepenuhnya. Denaturasi akibat adanya urea atau GuHCl umumnya bersifat reversibel.

#### B. Deterjen

Deterjen, seperti natrium dodesil sulfat (SDS) merupakan denaturan protein yang kuat. SDS pada konsentrasi 3-8 mM mendenaturasi sebagian besar protein

globular. Deterjen dapat mengikat molekul protein yang didenaturasi secara kuat. Hal ini menyebabkan pergeseran keseimbangan antara “status” protein sebagai protein asli atau protein terdenaturasi. Karena itu denaturasi akibat deterjen bersifat irreversibel.

### C. Garam

Garam mempengaruhi stabilitas protein dengan dua cara yang berbeda. Pada konsentrasi rendah, ion berinteraksi dengan protein melalui interaksi ionik yang tidak spesifik. Netralisasi muatan protein ionik ini biasanya dapat menstabilkan struktur protein. Netralisasi muatan lengkap oleh ion terjadi pada atau di bawah kekuatan ionik dengan konsentrasi 0,2 M dan hal ini tidak bergantung pada sifat dari garam itu sendiri. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi (> 1 M), garam memiliki efek spesifik ion yang mempengaruhi stabilitas struktural protein.

Garam seperti  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NaF}$  dapat menstabilkan struktur protein, sedangkan  $\text{NaSCN}$  dan  $\text{NaClO}_4$  dapat mendestabilkan struktur protein. Struktur protein lebih dipengaruhi oleh anion daripada oleh kation.

Garam mendenaturasi protein dengan mengikat dan mengubah sifat hidrasi dari protein. Garam yang menstabilkan struktur protein akan meningkatkan hidrasi protein dan mengikat dengan lemah, sedangkan garam yang mendestabilkan struktur protein akan menurunkan hidrasi protein dan mengikat dengan kuat. Efek dari denaturasi akibat garam ini terkait dengan destabilisasi interaksi hidrofobik dalam protein. Garam yang menstabilkan struktur protein juga meningkatkan struktur air yang terikat hidrogen. Garam yang

mendestabilisasi struktur protein juga memecah struktur air bebas dan menjadikannya pelarut yang lebih baik untuk molekul non polar.

## **8.2. Reaksi Maillard**

Roti, kopi dan steak panggang memiliki aroma yang memikat karena rangkaian reaksi kimia yang pertama kali dilaporkan lebih dari 100 tahun yang lalu oleh ahli kimia Prancis Louis-Camille Maillard. Fenomena reaksi Maillard pertama kali ditemukan pada tanah, yaitu pada sedimen pasir laut. Sedimen pasir laut kaya polimer nitrogen dan gula pereduksi yang berasal dari organisme. Menurut Maillard pada tahun 1912 terjadi suatu reaksi yang dinamakan reaksi Maillard dengan adanya polimer yang mengandung nitrogen dan gula pereduksi serta terjadi pemanasan. Louis-Camille Maillard adalah orang yang pertama mengamati pembentukan warna coklat dari reaksi antara gula pereduksi dengan asam amino. Pengamatan tersebut terjadi ketika Maillard melakukan percobaan cara sintesis protein dari campuran D-glukosa dengan asam amino sistem larutan pekat semi kering. Reaksi yang menimbulkan pencoklatan tersebut akhirnya disebut reaksi Maillard yang juga dikenal dengan nama reaksi pencoklatan non enzimatis. Penemuan Maillard pada tahun 1912 mendorong ilmuwan lain melakukan penyelidikan lanjut tentang fenomena-fenomena yang terjadi pada reaksi gula pereduksi dengan asam amino. Sekitar 40 tahun kemudian, yakni pada tahun 1950-an diketahui reaksi Maillard berkontribusi terhadap pembentukan aroma, warna, rasa dan perubahan tekstur bahan pangan terolah dengan panas dan tersimpan dalam waktu yang relatif lama. Pengertian pembentukan aroma tersebut menjadi lebih jelas setelah teknik analisis kromatografi gas-spektrometer masa (CG-MS) berkembang pada tahun 1960-an





Gambar...Louis-Camille Maillard Penemu Reaksi Maillard

Pada tahun 1953, seorang ahli kimia Afrika-Amerika bernama John E. Hodge, yang bekerja di Departemen Pertanian AS di Peoria, Illinois, menerbitkan sebuah makalah yang membentuk mekanisme untuk reaksi Maillard (J. Agric. Food Chem. 1953, 1, 928). Menurut Vincenzo Fogliano, seorang ahli kimia makanan di University of Naples, Federico II, Maillard menemukan reaksi tetapi Hodge memahaminya dengan penjelasan yang lebih rinci. Bahkan, karena kutipan dari kertas Hodge jauh lebih banyak daripada yang ada di Maillard, ada beberapa pendapat untuk memberikan penamaan ulang reaksi tersebut menjadi Reaksi "Maillard-Hodge". Tetapi gagasan itu belum menarik perhatian.

Menurut model Hodge, reaksi Maillard memiliki tiga tahap. Pertama, gugus karbonil gula bereaksi dengan gugus amino pada protein atau asam amino untuk menghasilkan air dan glikosilamin yang tidak stabil. Kemudian, glikosilamin mengalami penyusunan ulang Amadori untuk menghasilkan serangkaian senyawa aminoketosa. Terakhir, banyak molekul, termasuk beberapa dengan rasa, aroma,

dan warna, diciptakan ketika senyawa *aminoketose* menjalani sejumlah penataan, konversi, penambahan, dan polimerisasi lebih lanjut. Reaksi ini membentuk ribuan senyawa dalam makanan dan hanya sebagian kecil yang berulang kali berkontribusi pada bau dan rasa makanan yang dimasak, seperti 2,3-butanedione dalam popcorn dan steak panggang.

Selama beberapa dekade terakhir, ada upaya besar oleh para ilmuwan makanan untuk mencari tahu bagaimana mempengaruhi produk akhir. Mereka telah melihat berbagai gula awal dan protein serta bagaimana perbedaan suhu, tingkat pH, tingkat kelembaban, dan bahan-bahan lainnya memengaruhi penciptaan produk aroma, roma yang diinginkan dan tidak diinginkan. Idenya adalah untuk mengetahui bagaimana mengontrol proses Maillard yang tidak bisa diatur seperti yang terjadi dalam makanan. Misalnya asam amino utamanya yang mendorong kualitas bau, bukannya gula. Reaksi glisin menghasilkan bau seperti bir, reaksi valin menghasilkan bau roti gandum khas, dan sistein adalah asam amino yang bertanggung jawab untuk banyak aroma daging dan kerupuk.

Reaksi Maillard juga dapat mengubah tekstur dan konsistensi makanan. Sebagai contoh, reaksi Maillard digunakan untuk menambahkan gula ke protein lactalbumin, yang kemudian digunakan untuk membuat yogurt agar-agar. Sementara itu, menambahkan gula ke protein yang disebut  $\beta$ -laktoglobulin dalam keju olahan membuat produk lebih lembut dan lebih kental. Meskipun menghasilkan beberapa rasa makanan yang dimasak lebih menyenangkan serta warna coklat yang menarik seperti kerak roti, kecap, dan daging panggang, sebenarnya reaksi Maillard juga memiliki "sisi gelap" dimana menghasilkan akrilamida dan furan yang menyebabkan kanker dalam makanan, khususnya

makanan yang dilakukan pengolahan atau dibakar. Peneliti medis juga telah menemukan bahwa reaksi Maillard terjadi secara spontan di jaringan manusia, dan produk-produknya telah dikaitkan dengan berbagai penyakit, termasuk diabetes dan katarak.



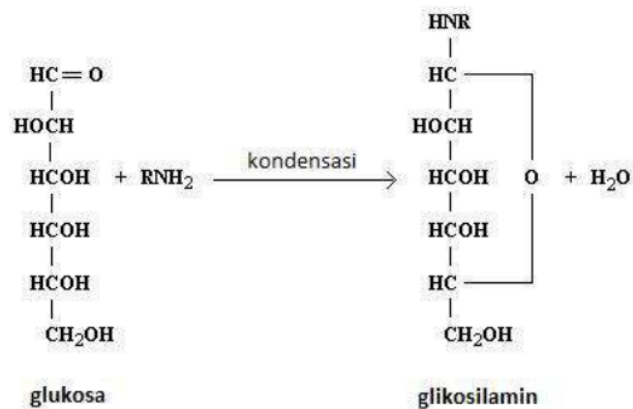
Gambar. Contoh Produk Hasil Reaksi Maillard

*Browning* pada produk pangan yang dihasilkan dari proses pemanasan atau penyimpanan biasanya karena reaksi kimia antara gula pereduksi, terutama D-glukosa dan gugus amino primer (asam amino bebas atau gugus amino pada rantai samping molekul protein). Reaksi ini disebut reaksi Maillard. Ketika senyawa karbonil (aldosa atau ketosa) dipanaskan dengan amina, terjadi berbagai reaksi yang menghasilkan banyak senyawa, tetapi kedua reaktan tersebut menghilang secara perlahan. Beberapa senyawa yang dihasilkan diantaranya adalah rasa, aroma, dan warna kecoklatan yang dapat dikehendaki atau tidak dikehendaki.

<sup>1</sup> Reaksi maillard melalui 5 tahapan, yaitu kondensasi karbonil amino, perubahan glikosilamin menjadi amadori, dehidrasi ketosamin, degradasi stecker dan polimerisasi.

### 1. Kondensasi Karbonil Amino

Pada tahap ini terjadi reaksi antara gugus karbonil (aldehida maupun keton yang berasal dari gula reduksi) yaitu glukosa dengan gugus amino yang berasal dari asam amino, peptida, protein (protein primer maupun protein sekunder misalnya asam amino glisin). Apabila reaktannya berupa senyawa amina dan aldosa (glukosa), maka hasil reaksinya yaitu aldosamin, dan apabila amina bereaksi dengan glukosa akan terbentuk glikosilamin. Sebelum terbentuk glikosilamin, terbentuk basa Schiff (RHC=NHR') terlebih dahulu, kemudian segera berubah menjadi glikosilamin dan reaksi ini disebut reaksi karbonil amino.



Gambar 2. Reaksi Karbonil Amino

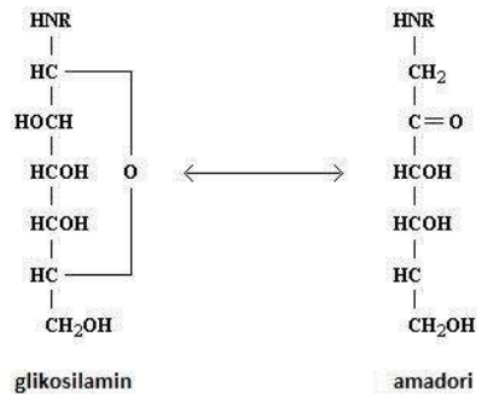
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Senyawa hasil reaksi ini masih tetap tidak berwarna. Aktivitas kedua reaktan tersebut satu sama lain tergantung pada jenis gula maupun jenis asam amino. Pentosa lebih reaktif daripada heksosa. Aldosa pada umumnya lebih reaktif daripada ketosa, monosakarida lebih reaktif daripada disakarida.

Reaksi ini bersifat reversibel dan senyawa glikosilamin mudah terhidrolisa oleh larutan asam. Adanya gugus  $\text{NH}_2$  dari amin, asam amino atau protein akan menghambat reaksi kondensasi karena senyawa tersebut akan menurunkan pH. Oleh karena itu, diharapkan untuk menaikkan kecepatan reaksi kondensasi diperlukan pH tinggi atau pH alkalis.

## 2. Perubahan Glikosilamin menjadi Amadori

Glikosilamin mengalami perubahan menjadi fruktosamin atau 1-amino-1-deoksi-d-fruktosa yang disebut dengan amadori. Senyawa amadori merupakan senyawa perantara awal dalam urutan reaksi *browning*.



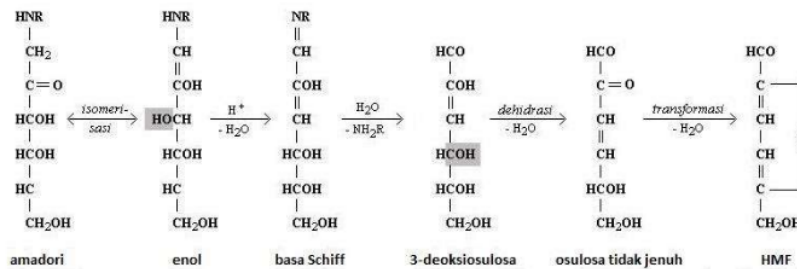
Gambar 3. Perubahan Amadori  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

## 3. Dehidrasi Ketosamin

Pada tahap ini hasil-hasil perubahan Amadori mengalami perubahan lebih lanjut melalui berbagai jalan dalam pembentukan pigmen warna, yaitu melalui jalan media asam atau netral dan melalui jalan media kering atau melalui reduktan.

### a. Melalui Media Asam atau Netral

Senyawa amadori mengalami transformasi melalui empat jalur menjadi empat senyawa perantara. Hasilnya merupakan campuran kompleks dari senyawa perantara dan produk. Tiga dari senyawa perantara yang terbentuk adalah 1-,3-dan 4-deoksidikarbonil, yang biasa dikenal dengan 1-,3-dan 4-deoksiosulosa. Pembentukan zat perantara ini paling mudah terjadi pada kondisi pH 4–7. Paling lazim dari zat perantara ini biasanya 3-deoksiosulosa (lebih tepat disebut 3-deoksiheksosulosa).<sup>1</sup> Kemudian senyawa tersebut mengalami eliminasi hidroksil pada C<sub>4</sub> melalui hidrolisa menghasilkan *osulosa* tidak jenuh yang umumnya terjadi pada suhu tinggi dan pH 5 atau lebih rendah.<sup>1</sup> *Osulosa* tersebut akan mengalami transformasi membentuk *Hydroxy Methyl Furfural* (HMF) dengan jalan mengeluarkan molekul air.

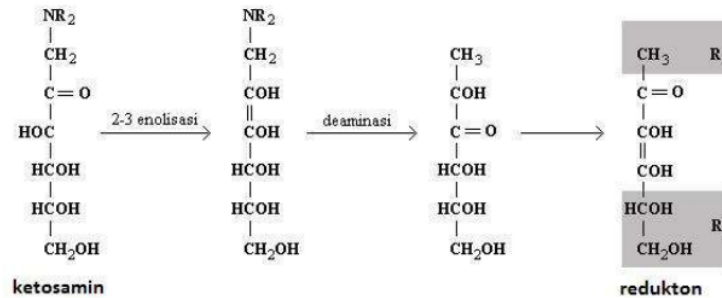


Gambar 4. Pembentukan HMF Melalui Media Asam atau Netral  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

<sup>1</sup> Dengan terakumulasinya HMF, maka segera akan terbentuk pigmen berwarna gelap. Oleh karena itu, dengan menentukan jumlah HMF menggunakan spektrofotometer dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan *browning* suatu bahan pangan yang disimpan atau diolah.

b. Melalui Media Kering

Mekanisme pembentukan HMF melalui media kering ini terbentuk senyawa perantara berupa redukton yang rumusnya  $R_1\text{-COH=COHCO-R}_2$ .



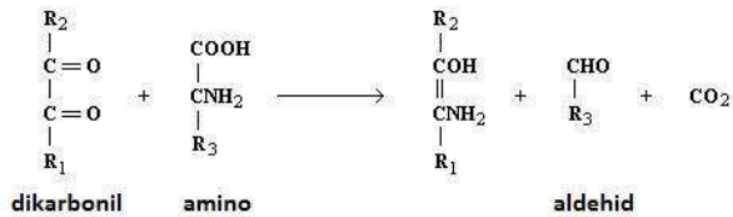
Gambar 5. Pembentukan Redukton

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Redukton merupakan antioksidan. Redukton mempunyai daya mereduksi sangat tinggi atau sangat kuat. Redukton mengalami dehidrasi, kondensasi dengan amin dan akhirnya terjadi polimerisasi membentuk melanoidin. Di samping itu juga terbentuk senyawa berberat molekul lebih kecil seperti diasetil, asam asetat, piruvaldehid dan sebagainya.

#### 4. Degradasi Stecker

Adanya senyawa dikarbonil tertentu, maka asam amino akan mengalami dekarboksilasi dan deaminasi asam amino menjadi aldehid. Reaksi ini disebut degradasi Stecker. Pada tahap ini terjadi proses degradasi dan pemecahan. Aldehid yang terbentuk (yang berasal dari asam amino) jumlah atom C-nya berkurang dan terlepas sebagai  $\text{CO}_2$ .



Gambar 6. Degradasi Stecker

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

1 Terbentuknya aldehid dalam reaksi ini dapat menyebabkan terjadinya flavor tertentu sebagai akibat tercampurnya beberapa macam senyawa pada reaksi *browning* non enzimatis. Senyawa flavor yang dapat terbentuk diantaranya adalah 3-metiltiopropanal (metional,  $\text{CH}_3\text{-S-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHO}$ ) dari L-metionin, fenil asetaldehida ( $\text{Ph-CH}_2\text{-CHO}$ ) dari L-fenilalanin, metilpropanal ( $(\text{CH}_3)_2\text{-CH-CHO}$ ) dari L-valin, 3-metilbutanal ( $(\text{CH}_3)_2\text{-CH-CH}_2\text{-CHO}$ ) dari L-leusin dan 2-metilbutanol ( $(\text{CH}_3\text{-CH}_2)(\text{CH}_3)\text{-CH-CHO}$ ) dari L-isoleusin.

##### 5. Polimerisasi

1 Senyawa perantara seperti furfural dan derivatnya, deoksiosula dan osulosa tidak jenuh, aldehid dari degradasi *Strecker*, aldehid dan keton dari pemecahan gula dan sebagainya merupakan senyawa yang reaktif. Kemudian akan terjadi polimerisasi membentuk senyawa kompleks yang mengandung nitrogen dengan berat molekul tinggi berwarna coklat yang disebut melanoidin. Senyawa melanoidin bersifat larut dalam air dan senyawa ini belum diketahui strukturnya. Masing-masing polimer (HMF, furfural dan lainnya) yang membentuk melanoidin bervariasi dalam warna (coklat hingga hitam), berat molekul, kandungan nitrogen, dan kelarutan.



Produk dari reaksi maillard, termasuk polimer yang larut dan tidak larut, terbentuk dimana gula pereduksi dan asam amino, protein dan/atau senyawa yang mengandung nitrogen dipanaskan bersama. Reaksi maillard yang diinginkan pada proses memanggang, misalnya pada roti dan kue serta daging panggang. Senyawa volatil yang dihasilkan oleh reaksi Maillard selama proses memanggang, menggoreng, dan sebagainya sering memberikan flavor yang diinginkan.



Gambar 7. Reaksi Maillard yang Diinginkan pada Roti  
(Sumber : reddit.com)

Produk reaksi maillard juga merupakan kontributor penting untuk rasa pada coklat susu, karamel, dan kopi, dimana gula pereduksi bereaksi dengan protein susu. Reaksi Maillard juga menghasilkan rasa, terutama zat pahit yang mungkin diinginkan, misalnya dalam kopi. Di sisi lain, reaksi Maillard dapat menyebabkan rasa tidak enak dan aroma tidak sedap, misalnya pada proses memanggang daging atau ikan.



Gambar 8. Kopi yang Belum Dipanggang (Kiri) dan Kopi yang Sudah Dipanggang dan Mengalami reaksi Browning  
(Sumber : greencoffes.org)

Tabel 2. Aroma yang Terbentuk dari Berbagai Asam Amino dengan Glukosa

Jenis Asam Amino yang Tercampur Dengan Glukosa	Aroma yang Timbul Pada Pemanasan	
	100°C	180°C
-	-	Karamel
Valin	Seperti roti	Seperti coklat
Leusin	Seperti permen coklat	Seperti keju terbakar
Prolin	Seperti protein terbakar	Sedap
Glutamin	Seperti coklat	Seperti mentega
Aspartat	Seperti permen batu	Seperti karamel
Lisin	-	Seperti roti

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Produk lain dari reaksi maillard adalah protein yang dimodifikasi. Modifikasi protein utamanya merupakan hasil reaksi rantai samping unit l-lisin dan l arginin dengan senyawa yang mengandung gugus karbonil seperti gula pereduksi, oson, furfural, HMF dan turunan pirol. Misalnya, reaksi gugus  $\epsilon$ -amino dari unit l-lisin dalam molekul protein yang diikuti oleh penataan ulang amadori akan mengubah unit l-lisin menjadi unit N-fruktofuranosil-lisin. Reaksi lebih lanjut menghasilkan cincin furan dan pirol tersubstitusi yang dibentuk dari unit

fruktofuranosil dan melekat pada molekul protein. Reaksi semacam ini menghancurkan asam amino. Karena l-lisin adalah asam amino esensial, hal ini menyebabkan pengurangan kualitas gizi dari bahan pangan. Kehilangan lisin dan arginin sekitar 15%–40% dalam bahan pangan yang dipanggang adalah hal yang umum terjadi.

Campuran produk yang terbentuk dari reaksi maillard tergantung dari suhu, waktu, pH, sifat gula pereduksi dan sifat asam amino. Gula yang berbeda mengalami reaksi pencoklatan dengan laju yang berbeda. Misalnya, d-glukosa mengalami reaksi pencoklatan lebih cepat daripada d-fruktosa. Amina sekunder menghasilkan produk reaksi yang berbeda dari amina primer. Penggunaan panas umumnya diperlukan, karena reaksinya memiliki energi aktivasi yang tinggi.

Laju reaksi Maillard juga dipengaruhi oleh aktivitas air ( $a_w$ ) dari produk pangan dan mencapai nilai maksimum pada  $a_w$  pada kisaran 0,60-0,70. Jadi, untuk beberapa produk pangan, reaksi maillard dapat dikontrol dengan mengendalikan aktivitas air serta dengan mengontrol konsentrasi reaktan, waktu, suhu, dan pH.

Variabel reaksi yang dapat dikontrol untuk menambah atau mengurangi reaksi maillard adalah sebagai berikut:

1. Suhu yang digunakan dan waktu pada suhu tersebut. Penurunan suhu akan menurunkan laju reaksi.
2. Derajat keasaman (pH), dimana penurunan pH akan menurunkan laju reaksi.
3. Penyesuaian kadar air. Laju reaksi maksimum terjadi pada nilai aktivitas air 0,60-0,70 (sekitar 30% kelembaban).
4. Gula

5. Keberadaan ion logam transisi yang mengalami oksidasi satu elektron dalam kondisi yang mendukung energi, seperti ion Fe (II) dan ion Cu (I) (reaksi radikal bebas mungkin terlibat di dekat akhir proses pembentukan pigmen).

### 8.3. Pembentukan Ikatan Silang (*Crosslinking*)

*Crosslinking* adalah proses kimia bergabung dua atau lebih molekul dengan ikatan kovalen. Reagen pengikat silang adalah molekul yang mengandung dua atau lebih ujung reaktif yang mampu secara kimiawi mengikat gugus fungsi tertentu (amina primer, sulfhidril, dll.) pada protein atau molekul lain. Crosslinker dapat digunakan untuk mempelajari struktur dan komposisi protein dalam sampel yang dimurnikan atau kompleks. Percobaan menggunakan reagen amina, karboksil atau sulfhidril reaktif yang berbeda dapat membantu dalam identifikasi dan kuantifikasi asam amino tertentu atau untuk penentuan jumlah, lokasi, dan ukuran subunit. Eksperimen dengan panjang yang berbeda dari pengikat silang yang identik dapat mengungkapkan jarak molekuler antara gugus fungsi tertentu dalam struktur protein sekunder, tersier atau kuaterner. Misalnya, jika pengikat silang amina-ke-amina pendek, maka tidak akan bisa berhasil menghubungkan subunit protein dimer, tetapi pengikat silang sedikit lebih panjang. Dapat disimpulkan bahwa asam amino yang relevan dalam struktur dimer asli ada pada jarak yang kira-kira sama dengan panjang crosslinker yang lebih panjang.

Reagen pengikat silang protein biasanya mengandung dua atau lebih ujung reaktif kimia yang menempel pada gugus fungsi yang ditemukan dalam protein dan molekul lain. Reaksi semacam itu membuat molekul cukup stabil. Selain itu, ikatan silang antarmolekul juga dapat digunakan untuk mengkatalisis produksi konjugat

spesifik untuk mengidentifikasi interaksi protein yang tidak diketahui, mengkonjugasikan enzim, pemurnian protein, dan memfasilitasi penyimpanan peptida dengan memasukkannya ke protein pembawa yang lebih besar.

Ada tiga jenis reagen pengikat silang:

1. Reagen pengikat silang homobifungsional
2. Reagen pengikat silang heterobifungsional
3. Reagen pengikat silang fotoreaktif

Reagen pengikat silang homobifungsional memiliki gugus reaktif yang identik dan oleh karena itu digunakan untuk mengikat seperti gugus fungsi sedangkan reagen pengikat silang heterobifungsional memiliki gugus reaktif yang berbeda dan dapat digunakan untuk menghubungkan gugus fungsi yang tidak sama. Jenis pertama terutama digunakan untuk membentuk ikatan silang intramolekul dan dalam pembuatan polimer dari monomer, sedangkan yang terakhir digunakan untuk menghasilkan beberapa ikatan silang antarmolekul dan konjugasi menggunakan dua biomolekul yang berbeda. Reagen pengikat silang fotoreaktif merupakan jenis khusus pengikat silang heterobifungsional yang hanya menjadi reaktif ketika terkena sinar UV atau cahaya tampak.

Untuk menentukan pengikat silang protein mana yang akan digunakan dalam aplikasi tertentu, maka harus mempertimbangkan reaktivitas kimia dan sifat kimia lainnya dari reagen tertentu. Pilihan reagen pada akhirnya akan tergantung pada spesifisitas kimianya (apakah itu mengikat dengan kelompok reaktif yang sama atau berbeda), apakah pengikat silang dapat dibalik atau dibelah, permeabilitas membran sel dan kelarutan dalam air. Harus mempertimbangkan pula

apakah menginginkan reagen segera bereaksi dengan sampel atau apakah Anda lebih suka mengaktifkannya pada waktu tertentu.

Interaksi protein-protein terdiri dari mekanisme molekuler yang mendasari banyak proses biologis yang kompleks. Interaksi antara protein intraseluler dapat bersifat sementara, dimana dua atau lebih protein bergabung dalam katalisis suatu langkah jalur biosintetik. Kompleks multiprotein yang stabil diperlukan dalam kinerja beberapa fungsi biologis. Kompleks pendamping molekuler merupakan contoh yang sangat baik dari rakitan multi-protein, dimana aksi kooperatif dari beberapa komponen diperlukan untuk melipat/membuka transmembran protein. Ikatan silang kimia menawarkan metode langsung untuk mengidentifikasi interaksi sementara dan sifatnya stabil. Teknik ini melibatkan pembentukan ikatan kovalen antara dua protein dengan menggunakan reagen bifungsional yang mengandung gugus akhir reaktif yang bereaksi dengan gugus fungsi seperti amina primer dan sulfhidril dari residu asam amino. Di dalam sel, protein tunggal sering terlibat dalam interaksi sementara dengan berbagai protein lainnya dalam jalur tertentu. Jika dua protein berinteraksi secara fisik satu sama lain, maka dapat dihubungkan silang secara kovalen. Pembentukan ikatan silang antara dua protein yang berbeda adalah bukti langsung dan meyakinkan dari kedekatan kedua protein tersebut.

#### 8.4. Rasemisasi

Rasemisasi adalah reaksi yang menghasilkan perubahan isomer optik asam amino 0 menjadi 1 (Oavidek *et. al.*, 1990, Muchtadi *et. al.*, 1993). Muchtadi *et. al.*, (1993) menambahkan bahwa ikatan peptida 1-0, 0-1 atau 0-0 terbentuk karena terjadinya rasemisasi asam amino. Pada manusia 0-lisin, 0-treonin, 0- triptofan, 0-leusin, 0-isoleusin dan 0-valin tidak dapat digunakan sama sekali. 0- fenilalanin

sebagian dapat digunakan sama seperti l-fenilalanin, sedangkan 0- metionin dapat digunakan sama seperti l-metionin. Menurut Oavidek et al. (1990) asam 0-aspartat ditemukan secara nyata lebih tinggi pada permukaan daging panggang yang berwarna gelap. Sebagai gambaran, jika kita diberi dua kantong kacang jeli, satu dengan yang merah dan satu dengan yang biru. Jika mengambil kedua tas, membuangnya ke dalam mangkuk besar, dan kemudian mencampurnya bersama-sama, maka dikatakan memiliki campuran kacang jeli yang mengandung warna merah dan biru. Selama mencampur jumlah yang sama dari yang merah dengan yang biru, secara akurat mengatakan bahwa kita memiliki campuran kacang jeli 50:50. Hal ini sama seperti rasemisasi..

Rasemisasi dalam kimia organik terjadi ketika suatu senyawa mengalami reaksi dan transformasi menghasilkan campuran yang sama dari kedua *enansiomer*, yang kadang-kadang disebut campuran rasemat. Asam amino atau bahan penyusun protein sebenarnya bisa mengalami rasemisasi jika terkena kondisi basa. Reaksi terus menerus bolak-balik, sehingga pada waktu tertentu terdapat campuran 50:50 dari kedua enansiomer.

## 9. Perubahan Protein Akibat Proses <sup>1</sup> Pengolahan

Pengolahan pada bahan pangan mengandung protein yang tidak terkontrol dengan baik dapat menurunkan nilai gizi proteinnya. Pengolahan yang sering dilakukan adalah pengolahan dengan menggunakan pemanasan seperti pemasakan, pengeringan suhu tinggi, pemanggangan dan pengukusan. Protein <sup>1</sup> merupakan senyawa reaktif dimana sisi aktif beberapa asam amino dalam protein dapat bereaksi dengan komponen lain misalnya gula pereduksi, polifenol, lemak dan produk oksidasinya, serta bahan kimia aditif seperti alkali, belerang dioksida, atau hidrogenperoksida. Selain itu perlakuan dengan alkali menyebabkan terjadinya rasemisasi asam amino dan reaksi antar asam amino yaitu terbentuknya lisinolanin dari lisin dan alanin. Pengolahan yang dilakukan tersebut <sup>1</sup> dapat menyebabkan menurunnya nilai gizi protein dan menurunnya ketersediaan asam amino esensial.

Protein dapat mengalami kerusakan oleh pengaruh-pengaruh panas, reaksi kimia dengan asam atau basa, guncangan dan sebab-sebab lainnya. Sebagai contoh, protein di dalam larutan pada pH tertentu dapat mengalami denaturasi dan mengendap. Perubahan-perubahan tersebut di dalam makanan mudah dikenal dengan terjadinya penggumpalan atau pengerutan. Protein juga dapat mengalami degradasi yaitu pemecahan molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana oleh pengaruh asam, basa atau enzim. Hasil-hasil degradasi protein dapat berbentuk sebagai proteosa, pepton, polipeptida, peptida, asam amino,  $\text{NH}_3$  dan unsur N.

Perubahan protein yang dapat dianggap positif atau negatif dapat terjadi secara bersamaan selama pengolahan. Hasil akhir dari perubahan ini tampaknya menjadi



penyeimbang terjadinya masing-masing fenomena tersebut. Terjadinya setiap fenomena tergantung pada kondisi yang diterapkan, tetapi juga pada sumber dan jenis protein yang diproses. Korelasi antara entalpi denaturasi setelah pengolahan dan kecernaan protein tampaknya bergantung pada sumber proteinnya. Panas menjadi parameter pengolahan dengan pengaruh terbesar pada perubahan struktur protein. Pengaruh kelembaban biasanya terbatas pada aplikasi panas secara simultan, tetapi peningkatan tingkat kelembaban selama pengolahan akan meningkatkan perubahan struktural pada protein tersebut.

Pengolahan pangan dengan panas digunakan oleh banyak industri pengolahan makanan untuk memberikan ciri khas/atribut pada produknya, dan banyak prosedur yang berbeda pada suhu dan lama pemasakan, pasteurisasi, dan sterilisasi. Pengolahan menggunakan panas (termal) memiliki efek menguntungkan dan merugikan pada sistem pangan, oleh karena itu, ilmuwan pangan berupaya mengoptimalkan efek menguntungkan dan meminimalkan efek negatif dari pemrosesan panas tersebut. Panas juga merupakan salah satu faktor utama dalam peningkatan palatabilitas sebagian besar makanan, dengan banyak perubahan palatabilitas yang bermanfaat terkait dengan protein makanan. Perubahan ini melibatkan komponen rasa dan struktural, seperti yang diinginkan oleh sebagian besar konsumen. Produk pangan yang dimasak dengan benar umumnya lebih enak dibandingkan dengan bahan masih dalam keadaan mentah atau bahkan terlalu matang. Faktor lain yang harus dipertimbangkan, selain umur simpan dan kelezatannya adalah perubahan sifat gizi protein yang disebabkan oleh pemanasan.

### **9.1. Perubahan Pada Telur**

Telur telah digunakan dalam banyak produk pangan karena sifat fungsional protein putih telur dan kuning telur. Beberapa produk pangan yang dikenal memanfaatkan sifat-sifat fungsional protein telur ini adalah: kue, biskuit, *mayonaise*, *custard*, dan lainnya. Sifat fungsional yang menguntungkan dari protein telur adalah karena terjadinya denaturasi dan koagulasi pada suhu spesifik tertentu serta pembentukan matriks yang stabil pada proses koagulasi. Mayoritas protein telur mengental pada suhu antara 60° C sampai 75° C. Namun, suhu koagulasi dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi garam, karena garam dan pH mengubah karakteristik ikatan hidrogen protein. Hidrogen sulfida, dihasilkan dari sulfhidril dan disulfida kelompok dalam protein yang mulai dilepaskan ketika telur dipanaskan hingga suhu melebihi 60° C. Warna hijau terbentuk pada permukaan kuning telur telur matang adalah hasil dari pembebasan hidrogen sulfida dari albumin dan interaksinya dengan besi dari kuning telur. Perubahan warna hijau ini dapat dikurangi dengan mengontrol suhu pemanasan dan pendinginan

### **9.2. Perubahan Pada Buah-buahan dan sayur-sayuran**

Enzim merupakan salah satu komponen protein pada buah-buahan dan sayuran. Jika aktivitas enzim ini tidak dibatasi, maka penurunan kualitas makanan dapat terjadi. Fenolase adalah salah satu enzim tersebut dan bertanggung jawab pada pencoklatan enzimatik produk buah dan sayuran. Peroksidase, enzim lainnya yang terdapat dalam buah-buahan dan sayuran dapat menyebabkan menurunnya nutrisi, warna, dan rasa makanan buah dan sayuran tersebut. Fenolase relatif tidak stabil terhadap panas dan dapat dinonaktifkan oleh perlakuan panas dengan suhu

rendah, sedangkan enzim peroksidase jauh lebih tahan terhadap panas dan membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk menginaktifkannya. Kedua contoh ini menggambarkan efek pengolahan menggunakan panas pada protein enzimatik dalam makanan, dan bagaimana kontrol spesifik dari enzim ini melalui denaturasi dan koagulasi yang selektif, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk pangan.

### **9.3. Perubahan Pada Sereal gandum**

Selama pencampuran adonan roti, pertukaran tiol disulfida merupakan reaksi penting pada elastisitas matriks protein dalam pengembangan adonan yang diinginkan. Aktivitas enzim amilase dibutuhkan untuk degradasi pati dalam matriks adonan dan untuk produksi maltosa yang diperlukan pada fermentasi ragi. Kontrol suhu sangat penting untuk pengembangan adonan, memastikan aktivitas yang tepat dari enzim amilase, dan pengembangan interaksi ikatan yang tepat antara protein gluten. Suhu harus diubah tergantung pada kandungan enzim dan dan gluten dalam adonan.

Selama pemanggangan roti, pada saat suhu naik maka ragi aktivitas ragi akan meningkat sampai inaktivasi terjadi pada suhu 54°C. Sekitar suhu 65 ° C, butiran pati mulai mengalami gelatinisasi, memungkinkan enzim amilase untuk menguraikan pati dan menghasilkan konsistensi remah. Enzim amilase tidak aktif pada sekitar 75 ° C, pada saat itu jaringan gluten juga mulai mengalami denaturasi dan koagulasi. Koagulasi berlanjut sampai pemanggangan selesai dilakukan. Permukaan roti akan mencapai suhu 150°C-160°C. Warna dan rasa yang dihasilkan merupakan hasil dari terjadinya reaksi Maillard pada permukaan roti. Lamanya waktu pemanggangan akan menentukan menentukan tingkatan reaksi

Maillard. Reaksi Maillard juga penting dalam beberapa produk roti, dimana waktu pemanggangan yang sangat lama pada suhu sedang menghasilkan jumlah gula yang cukup besar dari sebagai akibat dari aktivitas amilase. Reaksi dari gula ini dengan gugus amino dalam reaksi tipe Maillard menghasilkan roti yang sangat keras dengan rasa yang khas. Hasil dari dari sejumlah besar reaksi Maillard ini, akan menyebabkan nilai protein berkurang.

Bahan pangan hasil ternak, khususnya daging, merupakan sumber nutrisi yang sangat berkualitas untuk kehidupan manusia. Sebagai sumber protein, selain kandungan proteinnya yang tinggi, daging juga memiliki kualitas protein yang tinggi pula. Hal tersebut ditinjau dari komposisi asam-asam amino penyusun dan daya cerna proteinnya. Nilai gizi protein ditentukan oleh kandungan dan daya cerna asam-asam amino esensial. Daya cerna akan menentukan ketersediaan asam-asam amino tersebut secara biologis. Proses pengolahan selain dapat meningkatkan daya cerna suatu protein, dapat pula menurunkan nilai gizinya (Muchtadi *et al.*, 1993). Selanjutnya Muchtadi (1993) menambahkan bahwa peningkatan daya cerna protein pada proses pemasakan dapat terjadi sebagai akibat denaturasi protein dan inaktivasi senyawa-senyawa antinutrisi. Penurunan nilai gizi suatu protein dapat disebabkan oleh perlakuan suhu yang tidak terkontrol yang dapat merusak asam-asam amino bahan pangan hasil ternak.

Proses pengolahan yang melibatkan pemanasan dapat mengubah kuantitas dan kualitas protein karena beberapa reaksi yang dapat terjadi.

1) Denaturasi, yaitu perubahan konformasi dasar protein yang terjadi pada struktur sekunder, tersier dan kuartener, tetapi tidak pada struktur primer (Davidek *et al.*, 1990). Menurut Torberg (2005) denaturasi protein miofibril dalam larutan mulai terjadi pada suhu 30-32°C. 2) Pembentukan ikatan silang (cross-linkage) antar asam-asam amino protein, contohnya lisinoalanin (Baardseth, 1977; Davidek *et al.* 1990; Muchtadi, 1993). 3) <sup>4</sup> Reaksi Maillard, yaitu reaksi antara protein dengan gula pereduksi (Muchtadi *et al.*, 1993; Belitz dan Grosch, 1999). 4) Rasemisasi asam-asam amino, yaitu perubahan isomer optik asam amino L menjadi bentuk D (Davidek *et al.*, 1990 dan Muchtadi, 1993).

<sup>4</sup> Pengolahan bahan makanan dilakukan dengan berbagai tujuan, diantaranya: 1) meningkatkan nilai tambah, 2) memperpanjang masa simpan, 3) meningkatkan nilai gizi, 4) meningkatkan penerimaan terhadap produk, dan 5) menganekaragamkan produk olahan pangan. Selain <sup>4</sup> memenuhi tujuan-tujuan tersebut dalam proses pengolahan daging harus tetap mempertimbangkan bagaimana mempertahankan nilai gizi, khususnya protein dalam pengolahan daging. Hal ini mengingat pentingnya daging sebagai sumber protein hewani, dan harga bahan sumber protein yang relatif lebih mahal dibandingkan sumber zat gizi lain, seperti karbohidrat.

Banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang berbagai teknik pengolahan daging, akan tetapi aspek yang dianalisis hanya terbatas pada sifat fisik, kimia, mikrobiologi dan organoleptik. Aspek pengaruh berbagai teknik pengolahan daging, khususnya yang biasa dilakukan di masyarakat, terhadap nilai gizi proteinnya relatif masih jarang diungkap, padahal

seharusnya nilai gizi protein merupakan faktor penentu yang harus dipertimbangkan dalam memilih makanan. Berdasarkan kenyataan tersebut maka diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh berbagai teknologi pengolahan daging terhadap protein, baik kualitas maupun kuantitas.

Pengolahan daging menjadi bakso dan sosis meskipun menghasilkan kadar protein yang rendah, tetapi nilai kecernaannya lebih tinggi dari daging segar. Hal ini terjadi karena pada proses pengolahan bakso dan sosis, yang terjadi proses denaturasi protein yang menyebabkan struktur protein berubah dari berlipat-lipat menjadi terbuka dan lurus (Belitz dan Grosch, 1999; dan Davidek *et al.*, 1990 ), sehingga memudahkan penetrasi enzim untuk memutuskan ikatan-ikatan peptida protein. Selain itu kemungkinan terjadinya reaksi Maillard dan pembentukan ikatan silang antar asam amino pada proses pengolahan bakso dan sosis sangat kecil, mengingat produk olahan yang dihasilkan tidak dalam bentuk kering. Sebaliknya pada pengolahan dendeng, abon dan daging panggang meningkatkan reaksi Maillard, dan pembentukan ikatan silang antar asam amino yang membentuk protein yang tidak bisa dicerna. Hal ini terjadi karena pada proses pengolahan ketiga produk tersebut ditambahkan gula sebagai bumbu, serta mengalami pemanasan suhu tinggi pada keadaan rendah kadar air. Menurut Belitz dan Grosch (1999) reaksi Maillard dan pembentukan ikatan silang akan meningkat bila kadar air rendah dan suhu tinggi.

Pada reaksi Maillard terjadi pembentukan ikatan-ikatan silang (cross-linkage) antara bermacam-macam asam amino dan dengan gula pereduksi yang menghasilkan pigmen coklat, yang disebut melanoidin (Muchtadi *et al.*, 1993). Selain itu reaksi Maillard menghasilkan senyawa volatil yang merupakan senyawa beraroma, substansi yang pahit, reduktan yang dapat berperan sebagai anti oksidan, kehilangan asam-asam amino esensial (Cys, Met), senyawa bersifat mutagenesis, serta senyawa yang menyebabkan ikatan silang pada protein (Belitz dan Grosch, 1999). Produk lanjutan reaksi Maillard yaitu melanoidin (yang berwarna \_ coklat gelap) dan premelanoidin (yang berwarna coklat lebih terang) yang diberikan pada tikus percobaan, menunjukkan bahwa 27% premelanoidin dan 4% melanoidin terbuang melalui urin, 64% premelanoidin dan 87% melanoidin terbuang langsung melalui feses (Muchtadi *et al.*, 1993). Namun demikian reaksi

Maillard juga bertanggung jawab terhadap aspek warna, flavor dan tekstur olahan pangan (Gerrard, 2005). Rendahnya nilai pencernaan protein pada abon, dendeng dan daging panggang selain disebabkan reaksi di atas, kemungkinan dapat pula terjadi akibat reaksi rasemisasi. Yaitu reaksi yang menghasilkan perubahan isomer optik asam amino D menjadi L (Davidek *et al.*, 1990, Muchtadi *et al.*, 1993). Muchtadi *et al.* (1993) menambahkan bahwa ikatan peptida L-D, D-L atau D-D terbentuk karena terjadinya rasemisasi asam amino. Pada manusia D-Lisin, D-treonin, D- triptofan, D-leusin, D-isoleusin dan D-valin tidak dapat digunakan sama sekali. D- fenilalanin sebagian dapat digunakan sama seperti L-fenilalanin, sedangkan D-metionin dapat digunakan sama seperti L-metionin. Menurut Davidek *et al.* (1990) asam D-aspartat ditemukan secara nyata lebih tinggi pada permukaan daging panggang yang berwarna gelap.

Berdasarkan data kadar protein kasar dan nilai pencernaan secara in vitro dapat dihitung nilai dugaan protein yang dapat diserap oleh tubuh, seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Pengolahan daging menjadi abon menghasilkan nilai dugaan protein yang dapat diserap tubuh paling tinggi daripada metode pengolahan lainnya. Sebaliknya, nilai dugaan protein yang dapat diserap tubuh pada bakso dan sosis relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya. Hal tersebut berlaku untuk semua ternak.

Metode pengolahan kering seperti abon meskipun nilai pencernaan in vitro-nya rendah, akan tetapi karena kadar proteinnya relatif lebih tinggi, maka menghasilkan nilai dugaan protein yang dapat diserap tubuh yang lebih tinggi. Hal ini berlaku pula pada dendeng dan daging panggang. Rendahnya nilai dugaan protein yang dapat diserap tubuh pada bakso dan sosis disebabkan karena kadar protein bakso dan sosis yang lebih rendah dari daging segar dan hasil olahan lainnya meskipun nilai pencernaan in vitro-nya paling tinggi.

Selain mengubah kadar protein dan pencernaan secara in vitro, pengolahar juga mengubah jenis dan karakter protein yang terbentuk pada hasil olahan. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan pita-pita protein dengan BM yang beragam pada produk hasil olahan. Perubahan yang terjadi sangat tergantung kepada stabilitas protein daging, bahan-bahan yang ditambahkan serta perlakuan panas yang diberikan selama pengolahan.

Pengolahan pada semua sampel daging menurunkan jumlah jenis protein yang dapat dideteksi (Gambar 1). Jumlah jenis protein daging segar yang dapat dideteksi



sekitar 19, pada sapi, 20, pada domba, 19 pada ayam kampung dan 23 pada ayam broiler. Penurunan jenis protein paling besar terjadi pada daging sapi dan domba, sedangkan protein ayam kampung penurunannya relatif lebih kecil. Pada daging sapi, protein yang dapat terdeteksi adalah yang memiliki berat molekul (BM) 15,04-114,55 kD, domba 15,07-114,55 kD, ayam kampung 18,42- 114,55 kD, serta ayam broiler 14,29-114,55kD. Protein yang dapat terdeteksi jelas pada semua daging segar adalah protein dengan BM 114,55; 98,37; 45,94 dan 27,65 kD. Protein tersebut tidak terdeteksi pada semua hasil olahan, atau dengan kata lain telah mengalami perubahan.

Protein pada produk hasil olahan menunjukkan adanya protein-protein dengan berat jenis molekul yang masih sama dengan daging segar. Protein tersebut adalah protein dengan berat molekul 114,55 kD, yang masih terdeteksi pada dendeng dan daging panggang ayam kampung, serta dendeng ayam broiler, tetapi tidak terdapat pada hasil olahan daging sapi dan domba. Protein 98,37 kD terdeteksi pada bakso sapi, abon domba, dendeng dan abon ayam kampung, serta sosis dan dendeng ayam broiler.

Beberapa protein dengan BM yang berbeda dari daging segar muncul pada hasil olahan. Protein dengan BM 48,33 kD yang tidak terdapat pada daging segar muncul pada abon domba, dendeng, abon dan daging panggang ayam kampung, serta sosis dan dendeng ayam broiler. Protein dengan BM 43,66 kD yang terdeteksi muncul pada hasil olahan bakso daging sapi, dendeng dan abon daging ayam kampung, serta sosis, dendeng dan abon ayam broiler.

Pada beberapa hasil olahan muncul protein dengan BM yang berbeda dengan daging segar. Pengolahan mengakibatkan perubahan protein yang berupa hilangnya

protein native dan atau munculnya protein dengan BM yang berbeda dari asalnya. Hal tersebut kemungkinan dapat terjadi karena: 1) protein-protein daging segar •mengalami perubahan atau kerusakan akibat perlakuan pengolahan, 2) adanya bahan tambahan pada produk olahan yang akan memberikan kontribusi jenis protein yang berbeda dari daging segar.

Protein dengan BM 114,55 kD relatif lebih tidak stabil daripada protein dengan BM 98,37 kD. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Hoffman (1977) protein dengan BM lebih rendah relatif lebih stabil terhadap panas daripada protein dengan BM tinggi. Kecuali untuk bakso, protein ayam kampung relatif lebih stabil terhadap pengolahan daripada sapi dan domba. Hal ini ditunjukkan dengan masih terdeteksinya protein dengan BM tinggi dan jumlah protein yang terdeteksi relatif lebih banyak daripada hasil olahan sapi dan domba.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanto, M. dan Rujiah. 2017. *Kimia Pangan*. Trussmedia Grafika. Yogyakarta.
- Arntfield, S. D. 2004. *Proteins form Oil-Producing Plants*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 146-175.
- Bhavesh L. Jani and Devani BM. 2014. *Peanut Protein: Rich Source as Vegan Protein*. Department Of Processing And Food Engineering, College Of Agricultural Engineering And Technology, Junagadh Agricultural University, Junagadh, Gujarat, India
- Belitz, H.D., Grosch, W., dan Schieberle, P. (Editor). 2004. *Food Chemistry*, Springer-Verlag, Berlin, Chap. 4.
- Böck, A., Forchhammer, K., Heider, J., dan Baron, C. 1991. *Selenoprotein Synthesis: An Expansion of The Genetic Code*. Di dalam : *Biochemical Sciences*. Vol. 16, No. 12. Hal: 463–7.
- Boland, M., Kaur, L., Chian, F. M., dan Astruc, T. 2018. *Muscle Protein. Reference Module in Food Science*. 10.1016/B978-0-08-100596-5.21602-8. Hal-02000883
- Caldarelli, G. and P. De Los Rios. 2001. Cold and warm denaturation of proteins. *J. Biol. Phy.* 27:229–241.
- Creighton, T. E. 1993. *Proteins: Structures and Molecular Properties*. W. H. Freeman Co. New York. Hal : 158–159.

- Damodaran, S. *Amino Acids, Peptides, and Proteins*. Di dalam : Damodaran, S., Parkin, K. L., dan Fennema, O.R. (editor). *Fennema's Food Chemistry Fourth Edition*. Hal : 219-329.
- Deeth, H. dan Bansal, N. 2019. *Chapter 1 – Whey Proteins : An Overview*. Di dalam *Whey Proteins From Milk to Medicine*. Hal : 1-50.
- Friedli, Georges- Louis. 2006. *Interaction Of SWP With Bovine Serum Albumin (BSA)*. [www.friedli.com/research/PhD/chapter5.html](http://www.friedli.com/research/PhD/chapter5.html)
- Fukushima, D. 2004. *Soy Proteins*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 123-145.
- Fox, P.F., dan Kelly, A.L. 2004. *The Caseins*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 29-71.
- Gianibelli, M. C., Larroque, O.R., Maritchie, F., dan Wringley, C. W. 2001. *Biochemical, genetic and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits*. Di dalam : *Cereal Chemistry*. Vol. 78. Hal : 635-646.
- Girardet, J. M. dan Linden, G. 1996. *PP3 Component of Bovine Milk : a Phosphorylated Whey Glycoprotein*. Di dalam : *Journal Dairy Res*, Vol. 63. Hal 333-350.
- Guerrieri, N. 2004. *Cereal Proteins*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 176-196.
- Guha, S., Majumder, K., dan Mine, Y. 2018. *Egg Proteins*. Elsevier, Inc.
- Górska-Warsewicz, H., Laskowski, W., Kulykovets, O., Czeczotko, A. K., dan Rejman, K. 2018. *Food Products as Sources of Protein and Amino Acids. The Case of Poland*. Di dalam : *Nutrients*. Vol. 10. No. 1977.
- Hashim, Y. Z. H., Ismail, I., Jamal, P., dan Othman, R. 2014. *Production of Cysteine : Approaches, Challenges and Potential Solution*. Di dalam : *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, Vol. 3, No. 3. Hal : 95-101.
- Hou YY, Ojo O, Wang LL, Wang Q, Jiang Q, Shao XY, and Wang XH. 2018. A Randomized Controlled Trial to Compare the Effect of Peanuts and Almonds on the Cardio-Metabolic and Inflammatory Parameters in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Nutrients*. Oct 23;10(11). pii: E1565. doi: 10.3390/nu10111565. PubMed PMID: 30360498; PubMed Central PMCID: PMC6267433.

- Kelly, A. L. dan McSweeney, P. L. H. 2003. *Indigenous Proteinases in Milk*. Di dalam : Fox, P. F. Dan McSweeney, P. L. H. (editor). *Advanced Dairy Chemistry*, Vol. 1, Proteins, 3rd edition. *Kluwer Academic - Plenum Publishers*. New York, Hal : 495-522.
- Kilara, A. 2004. *Whey Proteins*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 72-99.
- Kovacs-Nolan, J., Phillips, M., Mine, Y. 2005. *Advances in The Value of Eggs and Egg Components for Human Health..* Di dalam : *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol 53, No. 22.
- Li-Chan, E. C. Y., Powrie, W. D., dan Nakai, S. 1995. *The Chemistry of Eggs and Egg Products*. In: Stadelman, W. J., dan Cotterill, O. J. (editor). *Egg Science and Technology, fourth ed.* Food Products Press. New York. Hal : 105–175.
- Marnila, P. dan Korhonen, H. 2011. *Immunoglobulins*. Di dalam : *Encyclopedia of Dairy Sciences, Second Edition*, Vol. 3, Hal : 807-815.
- Morrissey, M. T. Dan Tan, S. M. 2000. *World Resources for Surimi*. Di dalam : Park. J. W. *Surimi and Surimi Seafood*. Marcell. Dekker, Inc. New York. Hal : 1-21.
- National Cancer Institute. 2020. *Selenocysteine*. Di dalam : *National Cancer Institute Thesaurus*. [www.ncit.nci.nih.gov](http://www.ncit.nci.nih.gov).
- Onwulata, C.I.H. dan Peter, J. 2008. *Whey Processing- Functionality and Health Benefits*. Vol. 1. Wiley-Blackwell, Ames. Iowa, USA.
- Patni, N., Tripathi, N. Dan Bosmia, S. 2015. *Casein Extraction from Various Milk Samples and its Role as a Viable Substitute for Conventional Plastics*. Di dalam : *International Journal of Applied Engineering Research*.
- Pizzorno, J. 2014. *Glutathione*. Di dalam : *Integrative Medicine : A Clinician's Journal*, Vol. 13, No. 1. Hal : 8-12.
- Rasheed, F.; Newson, W.R.; Plivelic, T.S.; Kuktaite, R.; Hedenqvist, M.S.; Gällstedt, M.; Johansson, E. (2014). Structural architecture and solubility of native and modified gliadin and glutenin proteins: Non-crystalline molecular and atomic organization. *RSC Adv*. 2014, 4, 2051–2060
- Sacks FM, Lichtenstein AH, Wu JHY, Appel LJ, Creager MA, Kris-Etherton PM, Miller M, Rimm EB, Rudel LL, Robinson JG, Stone NJ, Van Horn LV. 2017. *Dietary Fats and Cardiovascular Disease: A Presidential Advisory*

From the American Heart Association. *Circulation*. 2017 Jul 18;136(3):e1-e23. doi: 10.1161/CIR.0000000000000510. Epub 2017 Jun 15. Review. Erratum in: *Circulation*. 2017 Sep 5;136(10 ):e195. PubMed PMID: 28620111.

Seidemann SB, Claggett B, Cheng S, Henglin M, Shah A, Steffen LM, Folsom AR, Rimm EB, Willett WC, Solomon SD. 2018. *Dietary carbohydrate intake and mortality: a prospective cohort study and meta-analysis*. *Lancet Public Health*. 2018 Sep;3(9):e419-e428. doi: 10.1016/S2468-2667(18)30135-X. PubMed PMID: 30122560; PubMed Central PMCID: PMC6339822.

Shukla, R. dan Cheryan, M. 2001. *Zein: The Industrial Protein from Corn*. Di dalam : *Industrial Crops and Products an International Journal*. Vol. 13. Hal : 171-192.

Singh, B. dan Singh, U. 1991. *Peanut as a Source of Protein For Human Foods*. Di dalam : *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 41. Hal : 165-177.

Singh, M., Rao, D.M., Pande, S., Battu, S., Mahalakshmi, K., Dutt, K. R., dan Ramesh, M. 2011. *Medicinal Uses of L-Lysine : Past and Future*. Di dalam : *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. Vol. 2. No. 4 Hal : 637-642.

Suryati T., Komariah, Jakaria, Darwati S., dan Nuraini, H., 2006. Perubahan-Protein yang Diakibatkan oleh Proses Pengolahan pada Daging Sapi, Domba dan Ayam, Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor.

Susanti, R. dan Hidayat, E. 2016. Profil Protein Susu dan Produk Olahannya. Di dalam : *Jurnal Mipa*. Vol. 39, No. 2, Hal : 98-106.

U.S. Department of Health and Human Services and U.S. 2015. Department of Agriculture. 2015–2020 Dietary Guidelines for Americans. 8th Edition. Available at <http://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/>.

Utsumi, S., Matsumura, Y. Dan Mori. T. 1997. *Structure-Function Relationships of Soy Proteins*. Di dalam : Damodaran, S., dan Paraf, A. *Food Proteins and Their Applications*. Marcel Dekker, Inc. New Yor. Hal : 257-291.

Ventkesh, A. dan Prakash, V. 1993. *Low molecular weight proteins from sunflower (Helianthus annuus L) seed : Effect of acidic butanol treatment on the physicochemical properties*. Di dalam : *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 41. Hal : 193-198.

Winarno, F. G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta. Gramedia.

Xiong, Y. L. 2004. *Muscle Proteins*. Di dalam : Yada R. Y (editor). *Proteins in Food Processing*. Hal : 100-122.

# Buku Protein

## ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Internet Source

5%

2

[apipah.com](https://apipah.com)

Internet Source

1%

3

[pkjaya.blogspot.com](https://pkjaya.blogspot.com)

Internet Source

1%

4

[id.scribd.com](https://id.scribd.com)

Internet Source

1%

5

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Internet Source

1%

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 1%