

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistematika dan Morfologi Ikan Patin

Ikan patin berasal dari golongan familia Pangasidae yaitu jenis ikan berkumis yang hidup di perairan air tawar yang berarus lambat seperti sungai atau muaramuara sungai yang tersebar di sebagian wilayah Sumatera dan Kalimantan. Ikan patin (*Pangasius* sp) berasal dari perairan umum dengan distribusi penyebarannya meliputi Thailand, Kamboja, Myanmar, Laos, Vietnam dan Indonesia. Di Indonesia dikenal dua jenis ikan patin yaitu Ikan Patin Lokal (*Pangasius* sp) dan Ikan Patin Siam (*Pangasius hypophthalmus*). Salah satu jenis varietas ikan patin lokal yang telah menjadi komoditas ekspor hasil perikanan adalah ikan patin jambal (*Pangasius djambal*) (Djarijah, 2001). Adapun klasifikasi penamaan ikan patin (Saenin, 1984) sebagai berikut :

Filum : Chordata

Kelas : Pisces

Sub – Kelas : Teleostei

Ordo : Ostariophysi

Subordo : Siluroidea

Famili : Pangasidae

Genus : *Pangasius*

Spesies : *Pangasius pangasius*

Karakteristik fisiologi ikan patin adalah kulit halus dan memiliki dua pasang sungut yang relatif pendek sehingga sering disebut sebagai *catfish* serta terdapat patil di sirip punggung dan sirip dadanya. Ciri khas ikan patin lainnya yaitu jari-jari sirip punggung dan sirip dada sempurna dengan tujuh jari-jari bercabang, sirip dubur panjang dan bersambung dengan sirip ekor, sedangkan sirip ekor berbentuknya seperti gunting. Ukuran kepala ikan patin relatif kecil, dengan mulut terletak diujung kepala agak sebelah bawah dan pada sudut mulutnya terdapat dua pasang kumis pendek yang berfungsi sebagai peraba (Susanto dan Amri, 1998). Selain itu, ikan ini memiliki warna khas pada tubuhnya kelabu kehitaman, sedangkan warna perut dan sekitarnya putih.

2.2. Komposisi Daging Ikan Patin

Pada umumnya, komposisi daging ikan terdiri dari 15 – 24% protein, 0.1 – 22% lemak, 1 – 3% karbohidrat, 0.8 – 2% substansi anorganik dan 66 – 84% air (Suzuki, 1981). Sedangkan komposisi daging ikan patin siam (*Pangasius hypophthalmus*) mengandung protein 19.26%, lemak 5.8%, abu 1.13%, dan air 79.16% dengan rendemen daging sekitar 40% (Suryaningrum *et al.* 2007). Kandungan lemak dalam daging ikan bervariasi tergantung pada spesies, umur, kondisi sebelum atau setelah perkembangbiakan (bertelur) dan kondisi pakan. Semakin tinggi kandungan lemaknya, maka semakin rendah kandungan air daging ikan (Suzuki, 1981).

Pada daging merah ikan lebih banyak mengandung lemak dari pada daging putih, sedangkan kandungan protein dalam daging merah lebih sedikit dari pada

daging putih. Protein daging ikan terdiri dari protein sarkoplasmik dan miofibrilar, yang dihubungkan oleh jaringan sel yang mengandung stroma. Protein sarkoplasmik terdapat di dalam membran plasma yang mengandung protein terlarut dalam air (*water soluble protein*) disebut miogen dan diperoleh dari proses penekanan daging ikan, atau dengan cara ekstraksi dalam larutan garam yang berkekuatan ion rendah. Pada beberapa spesies ikan, kandungan protein sarkoplasmik di dalam daging merah lebih sedikit daripada di dalam daging putih (Suzuki. 1981).

Protein miofibrilar ini berperan dalam pembentukan koagulasi dan gel dari daging (Sikorski. 2001). Protein ini diekstrak dari daging ikan dalam larutan garam netral dengan kekuatan ionik. Aktin dan miosin diekstraksi secara berurutan dapat membentuk aktomiosin. Ketika protein miofibrillar diekstrak dengan larutan garam, diperoleh ekstrak dalam waktu singkat (terutama miosin) yang memiliki nilai viskositas lebih rendah dari pada ekstrak yang diperoleh dari ekstraksi dalam waktu yang lebih lama (aktomiosin). Protein miofibrilar mengalami perubahan selama rigor mortis, pemecahan rigor mortis dan penyimpanan beku dalam waktu lama. Tekstur produk ikan dan pembentukan gel daging ikan lunak dipengaruhi oleh perubahan ini (Suzuki. 1981).

2.3. Proksimat Daging Ikan Patin (*Pangasius pangasius*)

Daging fillet ikan patin (*Pangasius pangasius*) mempunyai kadar air yang tinggi ($75,26 \pm 3,15\%$), kandungan protein yang relatif rendah ($<15\%$), dan kandungan lemak yang relatif rendah ($<5\%$). Hal yang serupa juga dikemukakan oleh Orban *et al.* (2008). Menurut Swasono (2007), ikan patin mempunyai kadar air

81,31%, kadar protein sebesar 16,05%, kadar lemak 1,09%, dan kadar abu 1,10%. Nilai komposisi kimia dari ikan dapat berbeda-beda tergantung faktor intrinsik dan ekstrinsik. Yang termasuk faktor intrinsik adalah jenis dan golongan ikan, umur ikan, jenis kelamin dan sifat warisan. Sedangkan yang termasuk faktor ekstrinsik adalah daerah kehidupan ikan, musim, dan jenis makanan yang tersedia (Hadiwiyoto 1993).

Tabel 1. Proksimat daging ikan patin (*Pangasius hypophthalmus*) segar

Komposisi	Nilai
Air	75,26 ± 3,15
Abu	1,18 ± 0,00
Protein	13,50 ± 0,51
Lemak	1,58 ± 0,002

Berdasarkan Tabel 1, daging ikan patin (*Pangasius pangasius*) mempunyai kadar air yang tinggi (75,26 ± 3,15%), kandungan protein yang relatif rendah (<15%), dan kandungan lemak yang relatif rendah (<5%). Hal yang serupa juga dikemukakan oleh Orban *et al.* (2008). Menurut Swasono (2007), ikan patin mempunyai kadar air 81,31%, kadar protein sebesar 16,05%, kadar lemak 1,09%, dan kadar abu 1,10%. Nilai komposisi kimia dari ikan dapat berbeda-beda tergantung faktor intrinsik dan ekstrinsik. Yang termasuk faktor intrinsik adalah jenis dan golongan ikan, umur ikan, jenis kelamin dan sifat warisan. Sedangkan yang termasuk faktor ekstrinsik adalah daerah kehidupan ikan, musim dan jenis makanan yang tersedia (Hadiwiyoto 1993).

2.4. Keamanan Pangan

Keamanan pangan merupakan syarat penting untuk siap dikonsumsi. Pangan yang bermutu dan aman dapat dihasilkan dari dapur rumah tangga atau industri pangan. Oleh karena itu industri pangan merupakan salah satu faktor penentu beredarnya pangan yang mempunyai standar mutu dan keamanan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah. Keamanan pangan bukan hanya merupakan isu dunia tapi juga menyangkut kepedulian individu. Jaminan akan keamanan pangan merupakan hak asasi konsumen. Pangan termasuk kebutuhan dasar terpenting dan sangat esensial dalam kehidupan manusia. Keamanan pangan selalu menjadi pertimbangan pokok dalam perdagangan, baik perdagangan nasional maupun internasional. Di seluruh dunia kesadaran dalam hal keamanan pangan semakin meningkat. Pangan semakin penting dan vital perannya dalam perdagangan dunia, untuk itu perlu diketahui aspek keamanan pangan, analisis bahaya keamanan pangan dan berbagai peluang untuk menguranginya.

2.4.1. Foodborne Diseases

Lebih dari 90% penyakit yang diderita manusia terkait dengan makanan yang disebabkan oleh kontaminasi mikrobiologi yaitu meliputi penyakit tipus, disentri amoeba, botulism, intoksikasi bakteri lainnya, serta hepatitis A, dan trichinellosis. *Food borne disease* dikenal dengan istilah keracunan makanan. WHO mendefinisikan sebagai penyakit yang bersifat infeksi atau racun yang disebabkan oleh agen yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan yang dicerna.

Foodborne diseases baik yang disebabkan oleh mikroba atau sebab lain meliputi bakteri, parasit, virus, ganggang air tawar, ganggang air laut, racun mikrobial dan toksin fauna terutama marine fauna. Komplikasi, kadar, gejala, dan waktu lamanya sakit juga sangat bervariasi tergantung penyebabnya.

Patogen utama dalam pangan adalah *Salmonella sp*, *Staphylococcus aureus* serta toksin yang diproduksinya, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Campylobacter sp*, *Helicobacter sp*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*. Patogen yang dianggap memiliki penyebaran yang luas terdiri dari *salmonellosis*, *cholera*, penyakit parasitik, dan enterovirus. Sedangkan yang memiliki penyebaran sedang adalah toksin ganggang dan yang memiliki penyebaran terbatas meliputi *S aureus*, *B cereus*, *C perfringens* dan *botulism*.

2.4.2. Pengendalian Kontaminasi Pangan

Pemerintah di berbagai belahan dunia menggunakan deretan usaha atau langkah pengendalian kontaminan pangan melalui inspeksi, registrasi, analisa produk akhir, untuk menentukan apakah suatu perusahaan pangan memproduksi produk pangan yang aman. Masalah utama yang dihadapi adalah tingginya biaya yang diperlukan untuk pengendalian. Salah satu sistem baru bagi penjaminan (asuransi) keamanan pangan yang disampaikan pada tahun 1971 dalam suatu *National Conference of Food Protection* adalah Sistem *The Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP).

HACCP adalah suatu sistem yang dianggap rasional dan efektif dalam penjaminan keamanan pangan dari sejak dipanen sampai dikonsumsi. HACCP adalah

suatu sistem yang mampu mengidentifikasi hazard (ancaman) yang spesifik seperti biologi, kimia serta sifat fisik yang merugikan dan dapat berpengaruh terhadap keamanan pangan dan dilengkapi dengan langkah-langkah pencegahan untuk mengendalikan ancaman tersebut.

2.4.3. Analisis Bahaya Pada Pangan

Pangan merupakan sumber energi dan berbagai zat gizi untuk keperluan hidup manusia, namun pangan juga bisa berbahaya bagi kesehatan manusia. Timbulnya bahaya dapat terjadi melalui unsur mikroorganisme, kimia atau alami. Penyakit yang ditimbulkannya diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu:

1. Penyakit akibat pangan yang disebabkan oleh mikroba yang mencemari pangan dan masuk ke dalam tubuh, kemudian hidup dan berkembang biak dan mengakibatkan infeksi pada saluran pencernaan (*food infeksi*).
2. Penyakit akibat pangan yang disebabkan oleh racun / toksin yang dihasilkan oleh mikroba pada pangan (*food poisoning*). Kejadian intoksikasi tidak selalu disertai masuknya mikroba dalam tubuh.
3. Penyakit akibat pangan yang penyebabnya bukan mikroba, tetapi bahan kimia dan unsur alami.

2.5. Bahaya Mikrobiologis

Mikroba terdapat di mana-mana baik di tanah, debu, air atau udara. Sebagian besar dari mikroba tersebut tidak berbahaya, tetapi banyak juga yang menyebabkan penyakit infeksi pada manusia dan hewan. Dalam keadaan tertentu mikroba dapat berkembang biak dan menginfeksi jaringan tubuh dan dapat menular dari manusia

satu ke manusia yang lain. Pangan menjadi beracun karena telah tercemar oleh mikroba tertentu dan mikroba tersebut menghasilkan racun yang cukup banyak yang dapat membahayakan konsumen. Pangan yang memiliki pH rendah seperti daging, telur dan susu sangat mudah terkontaminasi bakteri antara lain:

1. *Salmonella*. Sumber infeksi kontaminasi Salmonella adalah kotoran hewan setelah dipotong, kotoran manusia atau air yang terkena polusi. Kontaminasi tidak langsung bisa melalui tangan manusia atau alat-alat yang digunakan. Gejala keracunan Salmonella adalah demam, sakit kepala, diare dan muntah. Masa inkubasi 5-72 jam, biasanya gejala muncul 12-36 jam setelah makan makanan yang tercemar.

2. *Clostridium perfringens*. Penyakit yang ditimbulkan oleh bakteri ini adalah gastroenteritis, dengan gejala seperti sakit perut, diare dan terbentuknya banyak gas. Bakteri ini banyak terdapat dalam daging, ikan, susu, makanan kering, rempah-rempah, gelatin, tepung dan protein kedelai. Gejala timbul dalam waktu 8-24 jam setelah makan makanan tercemar.

3. *Vibrio parahaemolyticus*. Wabah gastroenteritis oleh bakteri ini pernah terjadi di Jepang karena kebiasaan penduduknya makan ikan terkontaminasi dari hasil laut secara mentah. Hasil laut seperti ikan, kerang, kepiting, udang adalah bahan pangan yang sering terinfeksi bakteri ini. Masa inkubasi 2-48 jam, biasanya 12 jam. Gejala yang timbul adalah sakit perut, diare (kotoran berair dan mengandung darah), mual dan muntah, demam ringan dan sakit kepala. Penderita akan sembuh 2-5 hari.

4. *Escherichia coli*. Bakteri ini secara normal terdapat dalam usus manusia sehat jumlahnya mencapai 10^9 CFU/g. Bakteri dikenal sebagai indikator kontaminasi fekal

dan dibagi dalam 2 kelompok yaitu non patogenik dan patogenik. Grup patogenik dapat menimbulkan penyakit dengan gejala diare berair disertai dengan muntah dan demam. Diare dapat sembuh sendiri. Bila disertai toksin, maka gejala yang muncul adalah diare berair, kejang perut, demam, malaise dan muntah. Kontaminasi pangan berasal dari karyawan pengelola pangan atau kontak dengan air yang mengandung buangan manusia. Infeksi orang dewasa sehat memerlukan dosis paling sedikit 10^8 sel *Bacibaik* melalui pangan atau air yang tercemar.

5. *Ilus cereus*. Bakteri ini menyebabkan gastroenteritis pada manusia. Gejala mual, kejang perut, diare berair, dan muntah-muntah selama sehari. Pangan yang sering terkontaminasi adalah sereal, tepung, bumbu, pati, puding, saus, nasi goreng.

6. *Vibrio cholerae*. Bakteri ini menyebabkan terjadinya wabah kolera. Cara kerja bakteri ini dengan menyerang dinding saluran usus dan menyebabkan diare dan muntah. Penularan bakteri dapat melalui air, ikan dan makanan hasil laut.

7. Intoksikasi pangan karena bakteri. Bakteri penyebab intoksikasi adalah *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas cocovenenans*. Racun yang dihasilkan oleh bakteri lebih tahan panas dibandingkan dengan bakterinya itu sendiri.

Gejala intoksikasi tergantung dari jenis bakteri, antara lain:

a. Racun yang dihasilkan oleh *Clostridium botulinum* dapat menyebabkan kematian dengan gejala dimulai dari gangguan pencernaan yang akut, mual, muntah, pusing, sakit kepala, pandangan berubah menjadi dua, sulit menelan dan berbicara, otot-otot menjadi lumpuh dan kematian terjadi akibat sulit bernapas. Pada kasus yang fatal kematian dapat terjadi 3-6 hari. Pada umumnya intoksikasi terjadi pada makanan

kaleng berasam rendah. Makanan kaleng yang sering menyebabkan botulism adalah jagung manis, bit, asparagus dan bayam. Botulism juga mungkin terjadi pada ikan asap.

b. Racun yang dihasilkan oleh *Staphylococcus aureus* menimbulkan gejala banyak mengeluarkan ludah, mual, muntah, kejang perut, diare berdarah dan berlendir, sakit kepala, kejang otot, berkeringat dingin, lemas, napas pendek, suhu tubuh dibawah normal. Gejala ini berlangsung 1-2 hari dan dapat menyebabkan kematian.

c. Racun yang dikeluarkan oleh *Pseudomonas cocovenenans* (racun bongkreng) ditandai dengan hipoglikemia, kejang, tidak sadar. Penderita dapat meninggal setelah 4 hari mengkonsumsi tempe bongkreng.

2.6. Bakteri Patogen

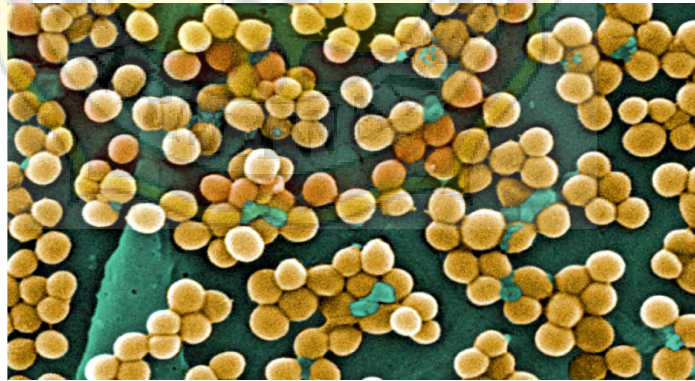
United States of Food and Drug Administration (2006) mengemukakan bahwa bakteri patogen yang sudah lama dikenal sebagai penyebab utama keracunan karena kemampuannya untuk berpenetrasi, bertahan hidup dan bermultiplikasi pada sel inang antara lain *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Camphylobacter* sp., *Shigella* sp., *Clostridium botulinum* dan *Escherichia coli*. Tingkat bahaya bakteri tersebut bergantung pada beberapa faktor antara lain lingkungan (komposisi makanan, suhu) dan faktor bakteri (galur, jenis toksin) (Stewart *et al.*, 2003).

Mikroorganisme yang berada dalam susu merupakan faktor utama penyebab terjadinya kerusakan dalam susu. Kerusakan susu akibat aktifitas mikroorganisme dapat mengakibatkan berbagai perubahan pada penampakan, komposisi kimia, dan

cita rasa bahan pangan, seperti terbentuknya lendir, endapan, kekeruhan, asam, gas, ketengikan, perombakan protein dan lemak, serta perubahan bau, rasa dan warna yang tidak disukai (Fardiaz, 1992).

2.6.1. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri Gram positif, berbentuk kokus, berdiameter 0,5-1 μm , dan diklasifikasikan ke dalam family Micrococcaceae. Bakteri ini bersifat aerobik maupun anaerobik fakultatif, nonmotil, dan tidak membentuk spora (Ray dan Bhunia, 2007). *Staphylococcus aureus* hidup pada pH 4,2-9,3 dan optimum pada pH 7 (Lopez dan Beloso, 2005) dengan a_w pertumbuhan lebih dari 0,86 (USFDA, 2006). Suhu pertumbuhan bakteri ini berkisar antara 7-47,8 °C dan suhu optimum 35-37 °C. Enterotoksin diproduksi pada suhu antara 10-46 °C dengan suhu optimum 40-45 °C (Jay, 2000).



Gambar 1: *Staphylococcus aureus* (Myles, I. A., & Datta, S. K. 2012).

Staphylococcal enterotoxin (SE) merupakan agen yang menyebabkan sindrom keracunan dalam makanan baik pada manusia maupun hewan. *Staphylococcus aureus* dalam susu segar dan produk pangan dapat menyebabkan *toxic shock syndrome*

sebagai akibat dari keracunan pangan (Dinges *et al.*, 2000). Jumlah populasi yang diperlukan oleh bakteri *Staphylococcus aureus* untuk dapat menghasilkan racun enterotoksin yang cukup sehingga bersifat meracuni adalah 10^6 cfu/g (Jay, 2000). Toksin yang dihasilkan *S. aureus* bersifat tahan panas. Jumlah enterotoksin yang dapat menyebabkan penyakit serius adalah apabila dikonsumsi sebanyak 1 mg/g. United States of Food and Drug Administration (2006) mengemukakan bahwa bila jumlah bakteri *S. aureus* telah mencapai $1,0 \times 10^5$ cfu/g.

2.6.2. Escherichia coli

Escherichia coli termasuk dalam famili enterobakteria dan merupakan bakteri Gram negatif yang berbentuk batang, berukuran $0,5-1,0 \times 1,0-3,0 \mu\text{m}$, bersifat soliter maupun berkoloni, motil, katalase positif, dan hidup secara anaerobik fakultatif (Ray dan Bhunia, 2007). Suhu pertumbuhan *E. coli* di antara $2,5-45^\circ\text{C}$ dengan suhu optimum 37°C . Bakteri ini mempunyai pH pertumbuhan $4,9-9,3$ dengan pH optimum $7,0-7,5$ dan nilai a_w minimum untuk pertumbuhan adalah $0,935$ (United State of Food and Drug Administration, 2006). Bakteri ini sangat sensitif terhadap panas sehingga tidak aktif pada suhu pasteurisasi $70-80^\circ\text{C}$ (Fardiaz, 1992).

Habitat normal *E. coli* berada di saluran pencernaan dan merupakan indikator kontaminasi feses, terutama sebagai penyebab diare pada bayi (Jay, 2000). Mikroorganisme ini dapat pula ditemukan di tumbuhan, tanah dan air, saluran pencernaan hewan, produk-produk hewani dan makanan siap saji yang ditangani secara langsung (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1999)



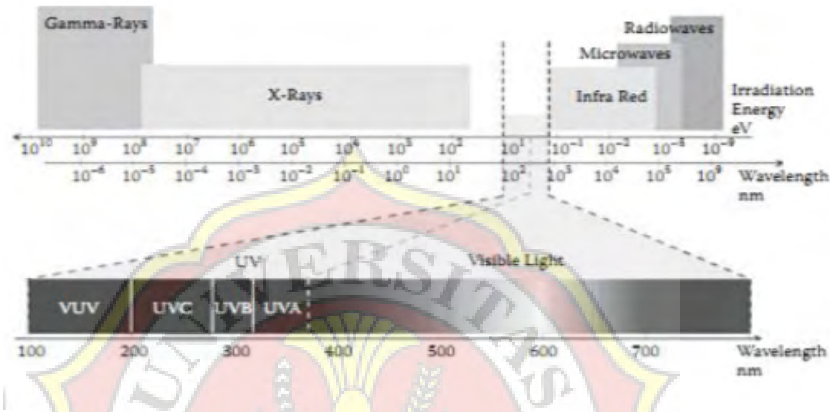
Gambar 2 : *Escherichia coli* (Centers for Disease Control and Prevention 2017).

Galur Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) memproduksi toksin shiga yang bila menginfeksi manusia dapat mengakibatkan *hemorrhagic colitis* (diare berdarah), *hemolytic uremic syndrome* (HUS) sampai kematian pada manusia. Enteropatogenik *E. coli* (EPEC) merupakan mikroba penting penyebab diare pada bayi, terutama pada tempat yang sanitasinya rendah, dan dapat menular secara langsung atau tidak langsung melalui manusia. Penularan penyakit dapat terjadi melalui makanan dan air.

EPEC memiliki kemampuan untuk melakukan kontak fisik dengan sel epitel usus dan menyebabkan luka. Enterotoxigenik *E. coli* (ETEC) merupakan penyebab utama diare pada musafir, juga pada bayi di beberapa negara dengan sanitasi yang kurang. Patogen ini menghasilkan faktor perlawanan, labil dan stabil terhadap panas, dan menghasilkan enterotoksin yang menyebabkan penyakit. Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) diketahui menyebabkan disentri yang mirip penyakit shigellosis (Ray dan Bhunia, 2007).

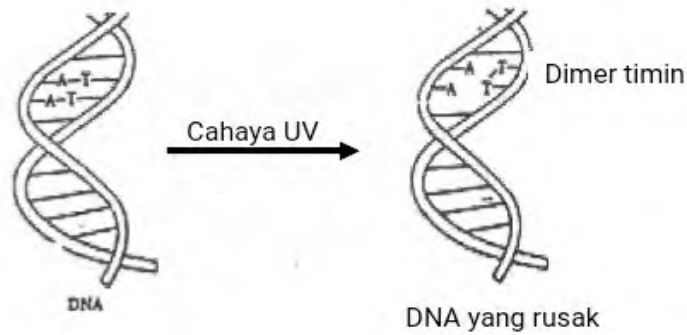
2.7. Ultraviolet

Cahaya ultraviolet adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang berada pada kisaran panjang gelombang 100-400 nm. Cahaya *UV* tidak dapat terlihat oleh mata. Spektrum radiasi gelombang elektromagnetik cahaya *UV* dapat dilihat pada Gambar 3

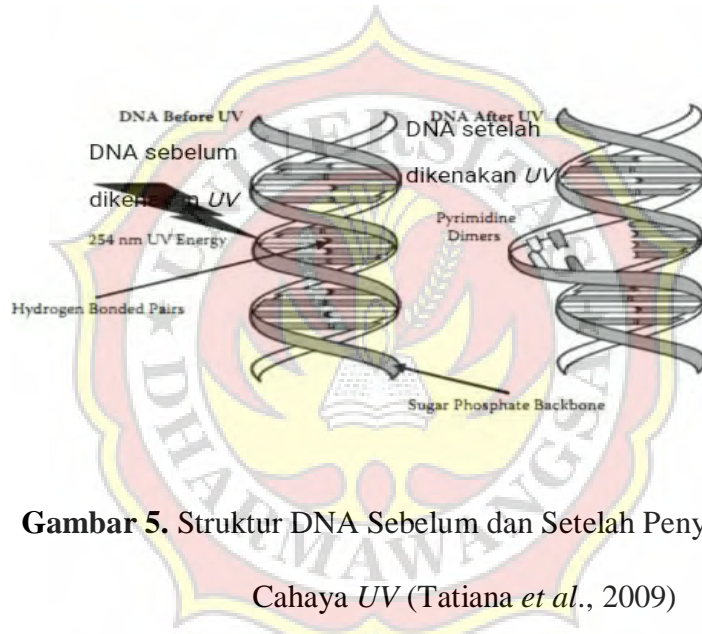


Gambar 3. Spektrum Radiasi Gelombang Elektromagnetik Cahaya *UV*

Mekanisme rusaknya mikroorganisme oleh cahaya *UV* melibatkan gangguan DNA mikroorganisme dengan mencegah transkripsi dan replikasi DNA mikroorganisme (Guerrero-Beltran dan Barbosa-Canovas, 2004). Cahaya *UV* merusak DNA mikroorganisme dengan membentuk dimer timin (*thymine dimmers*). Dimer ini mencegah mikroorganisme dari transkripsi dan replikasi DNA yang akhirnya akan menyebabkan kematian sel (Miller *et al.*, 1999). Mekanisme perusakan DNA oleh sinar *ultraviolet* berdasarkan Alcamo (1984) dan Tatiana *et al.*, (2009) secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5



Gambar 4. Pengaruh Sinar *Ultraviolet* terhadap DNA Sel Hidup



Gambar 5. Struktur DNA Sebelum dan Setelah Penyinaran Energi dari Cahaya *UV* (Tatiana *et al.*, 2009)

Mikroorganisme rentan terhadap cahaya *UV* pada kisaran gelombang 200-280 nm (Ray dan Bhunia, 2007). Tingkat inaktivasi mikroba tergantung pada dosis *UV* (perkalian antara jumlah intensitas dengan waktu paparan) yang diaplikasikan pada produk, meskipun dapat terjadi peningkatan suhu yang minimal (Bintsis *et al.*, 2000). Penelitian aplikasi cahaya *UV* untuk menginaktivasi mikroorganisme pembusuk dan patogen di dalam produk makanan telah dilakukan. (1) Inaktivasi spora *Aspergillus niger* pada tepung jagung (maizena). Penurunan 4,95 log₁₀ cfu/g

Aspergillus niger dengan perlakuan jarak antara sumber UV dan produk adalah 8 cm, tegangan 3800 V selama 100 detik. (Jun, 2003). (2) Inaktivasi *Escherichia coli* O157:H7 dalam biji alfalfa, dengan melihat kombinasi antara waktu proses dan ketebalan sinar UV. Inaktivasi total dari *E. coli* O157:H7 sebesar 4,80 log₁₀ cfu/g diperoleh dengan perlakuan tebal sinar UV 1,02 mm dan durasi 30 detik (Sharma *et al.*, 2003). (3) Inaktivasi *Clostridium sporogenes* pada madu. Penurunan 87,6% *Clostridium sporogenes* dengan perlakuan jarak antara sumber UV dengan sampel adalah 8 cm selama 45 detik dengan kedalaman sampel 2 mm, ketika dilakukan dengan jarak dan kedalaman yang sama tetapi dengan waktu 180 detik, maka diperoleh penurunan 89,4% (Hillegas dan Demirci, 2003). (4) Inaktivasi *Staphylococcus aureus* pada susu. Sampel susu statis yang dikenakan UV dengan jarak 8 cm dari sumber UV, volume 30 ml dan waktu perlakuan selama 180 detik, diperoleh penurunan *S. aureus* sebesar 8,55 log₁₀ cfu/g (Krishnamurthy *et al.*, 2004).

2.8. Pembekuan

Pembekuan atau freezing ialah penyimpanan di bawah titik beku, jadi bahan disimpan dalam keadaan beku. Pembekuan yang baik dapat dilakukan pada suhu kira-kira -17°C atau lebih rendah lagi. Pada suhu ini pertumbuhan bakteri sama sekali berhenti. Pembekuan yang baik biasanya dilakukan pada suhu antara -12°C sampai -24°C . Dengan pembekuan, bahan akan tahan sampai beberapa bulan, bahkan kadang-kadang beberapa tahun. Atau dengan kata lain Pembekuan adalah proses penurunan suhu bahan pangan sampai bahan pangan membeku, yaitu jika suhu pada bagian dalamnya paling tinggi sekitar -18°C , meskipun umumnya produk beku

mempunyai suhu lebih rendah dari ini. Pada kondisi suhu beku ini bahan pangan menjadi awet karena mikroba tidak dapat tumbuh dan enzim tidak aktif. Bahan pangan seperti daging dapat disimpan antara 12 sampai 18 bulan, ikan dapat disimpan selama 8 sampai 12 bulan (Munzir, 2009).

Pembekuan ikan berarti menyiapkan ikan untuk disimpan di dalam suhu rendah (cold storage). Seperti pendinginan, pembekuan dimaksudkan untuk mengawetkan sifat-sifat alami ikan. Pembekuan menggunakan suhu yang lebih rendah, yaitu jauh di bawah titik beku ikan. Pembekuan mengubah hampir seluruh kandungan air pada ikan menjadi es, tetapi pada waktu ikan beku dilelehkan kembali untuk digunakan, keadaan ikan harus kembali seperti sebelum dibekukan. Ikan-ikan yang dibekukan untuk dikonsumsi mentah (sashimi) mutlak memerlukan terpeliharanya sifat-sifat ikan segar yang dibekukan, agar ketika dilelehkan tidak dapat dibedakan dari ikan segar.



Gambar 6. Pembekuan ikan dengan pelastik PE

Tubuh ikan sebagian besar (60-80%) terdiri atas cairan yang terdapat di dalam sel, jaringan, dan ruangan-ruangan antar sel. Sebagian besar dari cairan itu (+67%) berupa free water dan selebihnya (+5%) berupa bound water. Bound water adalah air yang terikat kuat secara kimia dengan substansi lain dari tubuh ikan.

Pembekuan berarti mengubah kandungan cairan tersebut menjadi es. Ikan mulai membeku pada suhu antara $-0,6^{\circ}\text{C}$ sampai -2°C , atau rata-rata pada -1°C . Free water membeku terlebih dahulu kemudian disusul oleh bound water.

Proses tersebut terbagi atas 3 tahapan yaitu :

1. Tahap pertama suhu menurun dengan cepat sampai 0°C yaitu titik beku air.
2. Tahap kedua suhu turun perlahan-lahan untuk merubah air menjadi kristal-kristal es. Tahap ini sering disebut periode "thermal arrest".
3. Tahap ketiga suhu kembali turun dengan cepat ketika kira-kira 55% air telah menjadi es. Pada tahap ini sebagian besar atau hampir seluruh air membeku.

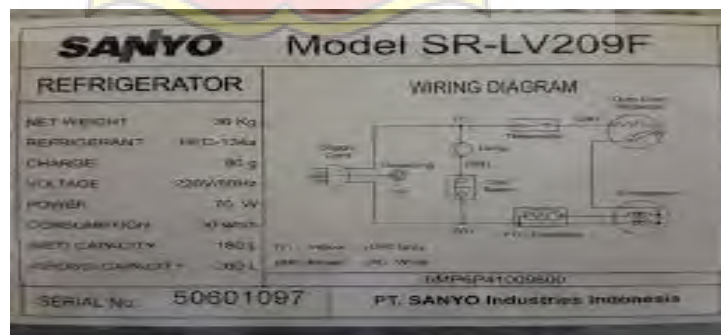
Berdasarkan panjang pendeknya waktu thermal arrest ini pembekuan dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Pembekuan lambat (slow freezing), yaitu bila thermal arrest time lebih dari 2 jam.
2. Pembekuan cepat (quick freezing), yaitu pembekuan dengan thermal arrest time tidak lebih dari 2 jam.

Kristal-kristal es yang terbentuk selama pembekuan dapat berbeda-beda ukurannya tergantung pada kecepatan pembekuan. Pembekuan cepat menghasilkan kristal-kristal yang kecil-kecil di dalam jaringan daging ikan. Jika dicairkan kembali,

kristal-kristal yang mencair diserap kembali oleh daging dan hanya sejumlah kecil yang lolos keluar sebagai drip. Sebaliknya pembekuan lambat menghasilkan kristal-kristal yang besar-besar. Kristal es ini mendesak dan merusak susunan jaringan daging. Tekstur daging ketika ikan dicairkan menjadi kurang baik, berongga, keropos dan banyak sekali drip yang terbentuk. Ikan yang dibekukan dengan lambat tidak dapat digunakan sebagai bahan bagi pengolahan-pengolahan tertentu misalnya pengalengan, pengasapan, dan sebagainya. Atas pertimbangan-pertimbangan diatas, maka disamping untuk menyingkat waktu dan menghasilkan output yang tinggi maka ikan mutlak dibekukan dengan cepat.

Ikan yang telah dibekukan perlu disimpan dalam kondisi yang sesuai untuk mempertahankan kualitasnya. Biasanya ikan beku disimpan dalam cold storage, yaitu sebuah ruangan penyimpanan yang dingin. Penyimpanan ini merupakan tahap yang pokok dari cara pengawetan dan pembekuan. Suhu yang biasanya direkomendasikan untuk cold storage umumnya -30°C hingga -60°C , tergantung pada kebutuhan (Sondoro, 2011).



Gambar 7. Skema pembekuan pada Freezer atau kulkas

2.8.1. Titik Beku Bahan Pangan

Sel-sel hidup banyak mengandung air, sering kali sampai dua pertiga atau lebih dari jumlah beratnya. Di dalam medium ini banyak terlarut senyawa organik dan anorganik, termasuk garam, gula, dan asam dalam bentuk larutan, juga termasuk molekul organik yang lebih kompleks seperti protein dalam bentuk suspensi koloidal. Sedikit banyak juga terdapat gas-gas yang terlarut dalam larutan yang berair. Perubahan-perubahan fisik, kimia dan biologis yang terjadi di dalam bahan pangan selama pembekuan dan pencairan merupakan proses yang sangat kompleks dan belum seluruhnya diketahui. Walaupun demikian sangat bermanfaat mempelajari perilaku perubahan-perubahan ini. Sehingga dapat dirancang suatu proses pembekuan bahan pangan dengan berhasil.

Titik beku suatu cairan adalah suhu di mana cairan tersebut dalam keadaan seimbang dengan bentuk padatnya. Suatu larutan dengan tekanan uap yang lebih rendah dari zat pelarut murni tidak akan seimbang dengan zat pelarut yang padat pada titik beku normalnya. Sistem tersebut harus didinginkan sampai suhu dimana larutan dan zat pelarut yang padat mempunyai tekanan yang sama. Titik beku suatu larutan adalah lebih rendah daripada zat pelarut murni. Titik beku bahan pangan adalah lebih rendah daripada air murni.

Bilamana suatu cairan menguap, molekul-molekul yang lepas memberikan suatu tekanan yang dikenal dengan tekanan uap. Tekanan total dari suatu system akan sama dengan tekanan parsial dari tekanan tersebut. Penambahan zat terlarut yang bersifat tidak menguap (gula) ke dalam air akan menurunkan tekanan uap air dari

larutan gula dalam air, dan titik beku larutan tersebut akan menjadi lebih rendah daripada air murni. Oleh karena kebanyakan bahan pangan kandungan dan airnya tinggi maka kebanyakan pangan akan membeku pada suhu antara 25-35⁰F. Selama berlangsung pembekuan suhu bahan pangan tersebut relatif tetap sampai sebagian besar dari bahan pangan tersebut membeku, dan setelah beberapa waktu suhu akan mendekati medium pembeku.

2.8.2. Laju Pembekuan

Salah satu pertimbangan pemilihan suatu proses dalam industri pembekuan pangan beku adalah laju pembekuan. Laju pembekuan tidak saja menentukan struktur akhir produk beku, tetapi juga mempengaruhi lama pembekuan (Heldman dan Singh, 1981). Menurut Lembaga Refrigerasi International (1971), laju pembekuan suatu massa pangan adalah ratio antara jarak minimal antara permukaan dengan titik pusat termal dibanding dengan waktu yang diperlukan oleh produk pangan mencapai suhu 0⁰C pada permukaan bahan sampai mencapai suhu -5⁰C pada pusat termal bahan.

Salah satu variasi terhadap definisi Lembaga Refrigerasi International ialah Thermal Arrest Time (TAR), menurut definisi ini, laju pembekuan ialah pengukuran waktu yang dibutuhkan menurunkan suhu dari titik yang paling lambat membeku pada produk, untuk 0⁰C menjadi -5⁰C. Sedangkan Heldman dan Singh (1981) mengatakan laju pembekuan ialah pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu produk pada titik yang paling lambat menjadi dingin atau beku,

dihitung dari saat tercapainya titik beku awal sampai tercapainya tingkat suhu yang diinginkan di bawah titik beku produk tersebut.

Meskipun disadari bahwa definisi ini tidak terlepas dari kekurangan, agaknya masih merupakan kompromi terbaik bila dibandingkan dengan keunggulan dan kelemahan definisi lain. (Heldman dan Singh, 1981). Laju pembekuan dapat diatur dan sangat menentukan sifat dan mutu produk beku yang dihasilkan. Sifat produk yang diakibatkan oleh pembekuan yang sangat cepat sangat berbeda dari produk yang dihasilkan dari pembekuan lambat. Pembekuan yang sangat cepat akan menghasilkan kristal es yang kecil tersusun secara merata pada jaringan. Sedangkan pembekuan lambat akan menyebabkan terbentuknya kristal es yang besar yang tersusun pada ruang antar sel dengan ukuran pori yang besar. Dari segi kecepatan berproduksi, pembekuan secara sangat cepat dianggap menguntungkan, selama mutu produk yang dihasilkan tidak dikorbankan (Heldman dan Singh, 1981). King (1971) membagi laju pembekuan ke dalam 3 golongan yaitu ;

1. Pembekuan lambat, jika waktu pembekuan adalah 30 menit atau lebih untuk 1 cm bahan yang dibekukan,
2. Pembekuan sedang , jika waktu pembekuan adalah 20-30 menit atau lebih untuk 1 cm bahan yang dibekukan dan,
3. Pembekuan cepat, jika waktu pembekuan adalah kurang dari 20 menit untuk 1 cm bahan yang dibekukan.

Pembekuan cepat didefinisikan oleh mereka yang menganut teori kristalisasi cepat sebagai proses dimana suhu bahan pangan tersebut melampaui zona pembekuan 32 sampai 25⁰ F dalam waktu 30 menit atau kurang.

Prinsip kristal maksimum dasar dari semua pembekuan cepat adalah cepatnya pengambilan panas dari bahan pangan. Metode ini meliputi pembekuan dalam hembusan cepat udara dingin, dengan imersi langsung bahan pangan ke dalam medium pendingin, dengan jalan persinggungan plat-plat pendingin dalam ruang pembekuan, dan dengan pembekuan dengan udara, nitrogen, karbondioksida cair.

Pembekuan dilakukan dengan maksud untuk mengawetkan atau mempertahankan sifat-sifat alami bahan pangan. Pembekuan menggunakan suhu yang lebih rendah. Pembekuan mengubah hampir seluruh kandungan air bahan pangan menjadi es. Metode pembekuan dapat dilakukan dengan menggunakan udara dingin yang ditiupkan dengan suhu rendah kontak langsung dengan bahan pangan atau kontak tidak langsung misalnya alat pembeku lempeng dimana makanan atau cairan yang telah dikemas kontak dengan permukaan logam yang telah didinginkan dengan mensirkulasikan cairan pendingin, perendaman langsung bahan pangan dengan cairan pendingin atau menyemprotkan cairan pendingin. Cairan pendingin tersebut dapat berupa freon, nitrogen cair, larutan garam atau gula. Perlakuan pembekuan untuk setiap produk tergantung dari mutu produk dan tingkat pembekuan yang diinginkan, tipe dan produk pengemasan, fleksibilitas yang dibutuhkan dalam operasi pembekuan dan biaya pembekuan untuk teknik alternatif. Pembekuan merupakan metode yang sangat baik untuk pengawetan bahan pangan terutama pada

daging dan daging proses. Penyebaran kembali bahan pangan yang sudah beku disebut thawing, dapat dilakukan dengan perantara:

1. udara dingin misalnya alat pendingin atau refrigerator
2. air hangat
3. air pada suhu kamar
4. pemasakan langsung tanpa penyebaran kembali
5. udara terbuka

2.8.3. Pengaruh Pembekuan terhadap Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dalam makanan pada suhu di bawah kira-kira 0°C belum dapat diketahui dengan pasti. Jadi penyimpanan makanan beku kira-kira $-12-18^{\circ}\text{C}$ di bawahnya akan mencegah kerusakan mikrobiologis, dengan persyaratan tidak terjadi perubahan suhu yang besar. Mikroorganisme psikofilik mempunyai kemampuan untuk tumbuh pada suhu $0-5^{\circ}\text{C}$. Jadi penyimpanan yang lama pada suhu-lemari es baik sebelum atau sesudah pembekuan dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan oleh mikroba. Walaupun jumlah mikroba biasanya menurun selama pembekuan dan penyimpanan beku (kecuali spora), makanan beku tidak steril dan acapkali cepat membusuk seperti produk yang tidak dibekukan jika suhu cukup tinggi dan lama penyimpanan pada suhu tersebut cukup lama. Pembekuan dan penyimpanan makanan beku juga mempunyai pengaruh yang nyata pada kerusakan sel mikroba. Jika sel yang rusak atau luka tersebut mendapat kesempatan menyembuhkan dirinya, maka pertumbuhan yang cepat akan terjadi jika lingkungan sekitarnya memungkinkan.