

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Penghilangan Senyawa Pengotor Fisik dan Kimia

Sebelum dilakukan metode ekstraksi, terdapat langkah utama yang harus dilakukan yaitu persiapan bahan baku (*pretreatment*). *Pretreatment* adalah tahap awal ekstraksi kolagen yang dilakukan untuk menghilangkan kontaminasi seperti lemak, mineral, pigmen, dan protein bukan kolagen. Kolagen pada limbah ikan dapat diekstraksi lebih mudah bila *dilakukan* persiapan bahan baku terlebih dahulu. Limbah ikan yang biasanya memiliki kandungan kolagen tinggi adalah kulit, sisik, dan tulang ikan. Pada umumnya, bahan baku limbah yang akan digunakan untuk ekstraksi masih memiliki kandungan bukan kolagen (*non-collagen*) seperti lipid, pigmen, kalsium, atau bahan organik lainnya. Limbah ikan juga memiliki cemaran lainnya karena daerah pembuangan juga mempengaruhi hasil ekstraksi bila tidak dibersihkan (Fuller *et al.*, 2012). Untuk meningkatkan kemurnian kolagen yang akan diekstraksi maka dilakukan penghilangan senyawa pengotor pada limbah ikan dengan cara *pretreatment* (Benjakul *et al.*, 2019).

Berdasarkan Tabel 2. waktu perendaman tersingkat adalah 2 jam pada limbah Gelembung Renang dan Perut Ikan Tuna Sirip Kuning (*Thunnus albacares*) sedangkan waktu terlama yaitu 72 jam pada limbah Tulang Ikan Taring Merah (*Odonus niger*). Hal tersebut dikarenakan gelembung renang memiliki lapisan yang tipis sehingga mudah untuk dibersihkan (Kaewdang *et al.*, 2014) tetapi pada bagian tulang mengandung kalsium tinggi berbentuk hidroksiapatit sehingga sulit untuk dibersihkan dan memerlukan waktu yang lama. (Bhagwat & Dandge, 2016).

Pelarut yang biasanya digunakan adalah NaOH dengan konsentrasi 0,05 dan 0,1M karena dapat melarutkan protein bukan kolagen tanpa menghilangkan kandungan kolagen. Tetapi penggunaan pelarut NaOH melebihi 0,1M akan mengakibatkan ikatan OH⁻ berlebihan dan dapat merusak struktur kolagen (Liu *et al.*, 2015). Menurut Ardhani *et al.*, (2019), perendaman kulit ikan dalam NaOH dapat mengubah tropokolagen menjadi prokolagen yang menyebabkan pembengkakan kulit dan mempermudah masuknya air ke dalam kulit ikan sehingga dapat terjadi

pelepasan kontaminan dan protein bukan kolagen. Perendaman limbah ikan dalam NaOH menyebabkan *swelling* (pembengkakan) sehingga memecahkan sebagian besar telopeptida dari molekul kolagen dan melarutkan gugus OH yang berikatan dengan protein (Wulandari *et al.*, 2015). Untuk bahan limbah tertentu yang mengandung kalsium tinggi berbentuk hidroksiapatit seperti pada tulang dan sisik ikan dapat menggunakan pelarut EDTA (*ethylenediaminetetraacetic acid*). Penghilangan kalsium yang tinggi pada sisik ikan menggunakan EDTA lebih efektif karena kristal hidroksiapatit larut dengan ion Ca^{2+} (Bhagwat & Dandge, 2016).

Berdasarkan Tabel 3. senyawa pengotor lemak paling efektif dibersihkan menggunakan pelarut 10% butanol dan 2-propanol. Hal tersebut dikarenakan butanol salah satu kelompok alkohol fusel yang bersifat nonpolar dan lemak merupakan senyawa organik nonpolar. Berdasarkan teori dasar kelarutan “*like dissolve like*” senyawa polar akan larut pada pelarut polar dan senyawa nonpolar akan larut pada pelarut nonpolar (Moranda *et al.*, 2018). Pelarut 2-propanol digunakan karena memiliki kelarutan yang tinggi dalam air serta mudah melarutkan kandungan lemak (Oledzka *et al.*, 2014). Sedangkan penghilangan mineral menggunakan pelarut NaCl, HCl, dan EDTA. Untuk menghilangkan mineral pada limbah ikan, pelarut yang digunakan biasanya HCl dan EDTA karena mampu mengurangi pita hidrosiprolin pada kolagen sehingga mudah diekstraksi.

Pada penelitian Pang *et al.*, (2021), penggunaan pelarut HCl lebih efektif dan efisien daripada penggunaan EDTA. Semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka waktu perendaman yang diperlukan semakin singkat. Konsentrasi HCl serta waktu perendaman untuk proses *demineralisasi* tidak boleh terlalu tinggi dan lama karena dapat merusak jaringan kolagen pada limbah ikan. Penggunaan NaCl juga berfungsi untuk menghilangkan protein yang tidak diinginkan pada limbah. Ketika suatu larutan mengandung garam dengan konsentrasi tinggi maka protein akan cenderung berkumpul dan mengendap karena peningkatan konsentrasi garam (NaCl) dalam larutan (Ardhani *et al.*, 2019).

Waktu perendaman tersingkat berdasarkan Tabel 3. adalah limbah tulang ikan taring merah (*Odonus niger*) yaitu 10 menit dengan pelarut 0,8 M NaCl. Hal tersebut dikarenakan NaCl dapat mengendapkan protein pada limbah karena peningkatan konsentrasi garam dalam larutan (Ardhani *et al.*, 2019). Pada limbah tulang bawal bintang (*Trachinotus blochii*) memerlukan waktu perendaman 72 jam dengan pelarut 0,5 M EDTA. Hal tersebut dikarenakan kandungan hidroksiapatit pada limbah tulang ikan yang terlalu tinggi sehingga pelarut EDTA memerlukan waktu untuk melarutkan ion Ca^{2+} pada limbah (Bhagwat & Dandge, 2016).

4.2. Ekstraksi Kolagen Pada Limbah Ikan

Pada Tabel 4. dan Tabel 5. pelarut yang digunakan adalah asam asetat (CH_3COOH) dan NaCl. Asam asetat adalah pelarut organik yang paling umum digunakan untuk ekstraksi kolagen karena memiliki kemampuan ekstraksi yang tinggi. Konsentrasi asam asetat yang digunakan menentukan nilai pH ekstraksi dan mengatur kepadatan muatan kolagen sehingga berpengaruh pada hasil ekstraksi dan kelarutannya (Liu *et al.*, 2015). Jenis asam yang digunakan dalam ekstraksi kolagen adalah asam asetat karena mampu melarutkan senyawa bukan kolagen dan ikatan ikatan kolagen silang (*cross-linked collagen*).

Proses pemurnian ekstraksi terdiri dari *salting out*, sentrifugasi, dan dialisis. Pada proses *salting out* atau presipitasi, larutan yang digunakan adalah NaCl. Ketika suatu larutan mengandung garam dengan konsentrasi tinggi maka protein akan cenderung berkumpul dan mengendap karena peningkatan konsentrasi garam (NaCl) dalam larutan. Penambahan NaCl mengakibatkan sisi permukaan protein yang bermuatan akan berikatan dengan garam sehingga ikatan hidrofobik pada permukaan protein menyebabkan protein mengendap. Setelah itu dilakukan proses sentrifugasi bertujuan untuk membantu mempercepat proses pengendapan. Lalu proses dialisis bertujuan untuk menurunkan kadar garam dalam kolagen sehingga molekul air dan garam berdifusi keluar dari dalam kolagen menuju konsentrasi yang lebih rendah (Ardhani *et al.*, 2019). Penggunaan NaCl dengan konsentrasi lebih dari 1M dapat menghasilkan solubilitas atau kelarutan yang rendah. Hal tersebut karena terjadi pengendapan protein dan terjadi efek *salting-out*. Penambahan NaCl

dilakukan setelah perendaman limbah ikan menggunakan pelarut asam asetat yang telah disentrifugasi dan didapatkan hasil akhir pelarut (Pal *et al.*, 2015).

Konsentrasi asam asetat yang digunakan adalah 0,5M karena lebih tinggi dari konsentrasi asam pada metode hidroekstraksi. Semakin tinggi konsentrasi asam asetat membuat pembengkakan yang terjadi pada limbah semakin cepat. Asam asetat dapat meningkatkan ion H^+ sehingga air lebih mudah masuk ke dalam serat kolagen dan membentuk ikatan hidrogen antar gugus kolagen non polar sehingga mengganggu ikatan non kovalen pada serat kolagen dan mempermudah proses pelarutan kolagen (Ardhani *et al.*, 2019). Penggunaan pelarut asam sangat berpengaruh melalui konsentrasi asam asetat (CH_3COOH) yang digunakan. Konsentrasi asam asetat yang digunakan biasanya 0,5M dengan pH 2-3 karena memiliki efektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Konsentrasi asam yang tinggi dapat merusak ikatan garam antar molekul dan basa *Schiff* yang menyebabkan kolagen membengkak dan larut dalam pelarut (Hamdan & Sarbon, 2019). Menurut Nurhayati *et al.*, (2013), Konsentrasi asam asetat yang lebih rendah lebih efektif dan efisien karena dapat memicu terjadinya substitusi ion negatif pada garam dengan ion positif pada asam yang lebih cepat sehingga pemutusan struktur protein dapat dilakukan

Menurut Nurilmala *et al.*, (2019), lama waktu perendaman dan konsentrasi asam asetat yang digunakan sangat mempengaruhi hasil ekstraksi. Semakin lama waktu perendaman dan tingginya konsentrasi asam asetat yang digunakan maka hasil pembengkakan semakin tinggi. Hasil pembengkakan yang tinggi menunjukkan tingginya jumlah air yang diserap oleh limbah sehingga serat kolagen lebih mudah dipisahkan. Tetapi bila perendaman terjadi terlalu lama maka dapat merusak kandungan kolagen yang akan diekstraksi. Berdasarkan Tabel 4. dan Tabel 5. Hasil tertinggi didapatkan oleh limbah kulit ikan catla (*Catla catla*). Lama perendaman limbah kulit ikan catla pada Tabel 4. menggunakan metode ASC adalah 72 jam sedangkan pada Tabel 5. menggunakan metode PSC hanya 48 jam. Hal tersebut dipengaruhi oleh penambahan pepsin pada metode PSC. Pepsin secara khusus dapat

membelah daerah telopeptida kolagen sehingga dapat dipecah oleh pepsin tanpa merusak struktur *triple helix*. (Pal *et al.*, 2015).

Terdapat faktor lain yang dapat meningkatkan hasil ekstraksi antara lain rasio pelarut, volume bahan baku, penghilangan kadar air dan spesies ikan. Rasio atau perbandingan pelarut yang digunakan dapat mempengaruhi hasil dari ekstraksi. Pada Tabel 4. dan Tabel 5. hasil tertinggi didapatkan oleh kulit ikan catla (*Catla catla*) dengan rasio 1:60. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Wu *et al.*, 2019), bahwa rasio yang lebih tinggi akan menghasilkan ekstraksi yang lebih tinggi. Rasio yang tinggi akan meningkatkan volume pelarut sehingga terjadi perpindahan massa antara pelarut dan sampel yang lebih mudah. Volume bahan baku yang digunakan juga dapat meningkatkan hasil akhir ekstraksi. Semakin tinggi volume bahan yang digunakan maka hasil dari ekstraksi akan semakin tinggi (Okmawati & Rosmawati, 2013). Tinggi atau rendahnya nilai protein yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh besarnya kandungan air yang terdehidrasi (hilang) dari bahan. Semakin besar jumlah air yang hilang selama proses ekstraksi maka nilai protein yang terukur akan semakin tinggi. (Annisa *et al.*, 2017).

Sebelum menjadi limbah, habitat ikan dapat mempengaruhi hasil ekstraksi kolagen karena perbedaan isotop stabil yang terdapat pada ikan. Perbedaan isotop stabil dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti lingkungan hidup ikan, makanan ikan, dan cemaran yang terdapat pada lingkungan. Kandungan kolagen yang paling banyak ditemukan yaitu pada tulang ikan karena memiliki isotop stabil. Salah satu faktor terpenting dalam menentukan isotop komposisi ikan adalah tingkat rantai makanan. (Fuller *et al.*, 2012). Plankton merupakan salah satu makanan ikan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan. Rantai makanan tertinggi pada plankton yaitu zooplankton yang memiliki kandungan protein tinggi dan biasanya banyak ditemukan pada air tawar. (Manickam *et al.*, 2017).

Menurut Hafiludin, (2015), kandungan nilai gizi setiap ikan bergantung pada faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal berupa spesies ikan, umur, jenis kelamin dan fase reproduksi pada ikan. Sedangkan faktor eksternal meliputi habitat ikan, kualitas perairan tempat ikan hidup, dan ketersediaan pakan. Hasil tertinggi

ekstraksi didapatkan oleh ikan Catla yang termasuk ikan air tawar. Pada penelitian Annisa *et al.*, (2017) kandungan protein tertinggi didapatkan pada spesies ikan nila yang hidup di air tawar. Ikan catla dan ikan nila merupakan ikan yang sering dibudidayakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Pemberian makan secara teratur pada ikan diduga dapat meningkatkan hasil kolagen karena ikan yang kelaparan memiliki banyak ikatan kolagen silang sehingga sulit untuk diekstraksi. Semakin tua usia ikan maka semakin banyak ikatan kolagen silang yang terdapat pada ikan pula (Veeruraj *et al.*, 2013).

Dalam Tabel 4. dan Tabel 5. rata – rata temperatur denaturasi yang didapatkan yaitu 26,6°C - 38,5°C dan suhu yang digunakan adalah 4-6 °C. Temperatur denaturasi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu spesies ikan, suhu habitat, lingkungan hidup, usia, dan musim (Pal *et al.*, 2015). Peningkatan suhu sampai batas tertentu dapat meningkatkan hasil ekstraksi tanpa mempengaruhi struktur aslinya, tetapi bila suhu ekstraksi terlalu tinggi melebihi batas tertentu maka terjadi denaturasi kolagen yang menurunkan hasil ekstraksi (Liu *et al.*, 2015). Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Nawaz *et al.*, (2020), yang menyatakan bahwa kolagen sangat sensitif terhadap suhu tinggi. Suhu yang tinggi menyebabkan kolagen tidak dapat menjaga stabilitasnya dan terjadi penurunan tekstur bila ditambahkan pada produk pangan.

Kandungan pigmen yang terlalu tinggi pada limbah ikan memengaruhi hasil kemurnian dan penampilan kolagen. Untuk menghilangkan warna pigmen pada limbah ikan biasanya digunakan pelarut H₂O₂ karena dapat mengoksidasi pigmen untuk menghilangkan warna terutama pada kondisi basa (Xu *et al.*, 2017). Penelitian Prabjeet & Soottawat, (2017) menyatakan bahwa H₂O₂ juga dapat memutuskan ikatan hidrogen dari kolagen sehingga ekstraksi menjadi lebih efisien dan hasil yield meningkat.

Pada metode ASC dan PSC ditemukan pH ekstraksi asam sangat efektif yang disebabkan karena kandungan asam amino tinggi seperti asam glutamat dan asam aspartat (Kaewdang *et al.*, 2014). Menurut Sulaiman & Sarbon, (2020), pada pH asam, muatan akan menjadi positif dan menyebabkan tolakan elektrostatis yang kuat antara molekul kolagen sehingga lebih mudah untuk diekstraksi. Dengan

adanya bantuan pepsin, kolagen lebih mudah untuk diekstraksi tetapi bila waktu perendaman dilakukan terlalu lama dapat merusak ikatan kolagen yang mempengaruhi hasil akhir ekstraksi (Pal *et al.*, 2015).

Yield PSC pada Tabel 5. lebih tinggi dibandingkan pada Tabel 4. sebesar $69,53 \pm 0,92\%$. Hal tersebut karena ekstraksi pepsin memotong telopeptida kolagen dan melepaskan molekul yang dipolimerisasi oleh ikatan silang yang stabil terhadap asam. Seperti yang telah dijelaskan oleh Pal *et al.*, (2015), Pepsin secara khusus dapat membelah daerah telopeptida kolagen sehingga dapat dipecah oleh pepsin tanpa merusak struktur *triple helix*. Ikatan silang antar molekul menyebabkan penurunan kelarutan kolagen dalam kondisi asam tetapi pepsin mampu secara khusus membelah daerah telopeptida kolagen dan meningkatkan efisiensi ekstraksi kolagen.

Hasil kolagen dipengaruhi oleh kandungan asam amino yang terdapat pada limbah ikan (Fuller *et al.*, 2012). Kandungan asam amino kolagen pada berbagai perlakuan yang ditunjukkan pada Tabel 6. menunjukkan setiap limbah memiliki kandungan Glycin yang tinggi lalu diikuti kandungan Prolin yang tinggi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Jafari *et al.*, (2020), yaitu kolagen terbentuk dari rantai polipeptida berulang Gly-X-Y dan diikuti oleh kandungan prolin untuk membentuk struktur kolagen. Bukan hanya Glycin saja tetapi kandungan asam imino (prolin dan hidroksiprolin) dari metode ASC dan PSC menunjukkan nilai yang tinggi juga. Hal tersebut dikarenakan asam imino berguna sebagai pengatur stabilitas struktur heliks kolagen. Limbah ikan yang memiliki kandungan Glycin tertinggi yaitu tulang ikan taring merah yang termasuk pada spesies ikan laut. Pada penelitian Annisa *et al.*, (2017), ikan cucut yang termasuk pada spesies ikan laut dilaporkan memiliki kandungan Glycin tertinggi dibandingkan dengan ikan bandeng yang hidup di air tawar maupun ikan nila yang hidup di air payau. Hal tersebut disebabkan habitat ikan berpengaruh terhadap kandungan asam amino, proksimat, dan asam lemak pada ikan (Hafiludin, 2015).

4.3. Valorisasi Limbah Ikan

Dengan berkembangnya beragam teknologi muncul berbagai inovasi pengolahan bahan pangan, termasuk limbah. Limbah ikan sering kita temui dan jumlahnya selalu meningkat tiap tahunnya. Limbah ikan seringkali hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan pupuk yang tergolong nilai ekonomisnya rendah. Tingginya protein kolagen yang terdapat pada limbah ikan sangat disayangkan jika tidak didayagunakan dengan optimal. Valorisasi kolagen berbasis limbah ikan berpotensi untuk menghasilkan produk-produk bernilai tinggi, yang sekaligus menanggulangi persoalan pencemaran limbah.

4.3.1. Produksi Pangan

Limbah ikan memiliki kandungan kalsium yang tinggi tetapi tidak dimanfaatkan dengan maksimal. Dengan tingginya kalsium pada limbah ikan dapat diolah menjadi produk makanan. Bukan hanya kalsium saja tetapi terdapat protein dan mineral yang memberikan nilai tambah pada limbah ikan. Salah satu produk utama yang dapat diolah dari limbah ikan pada bagian tulang yaitu tepung. Tepung memiliki kandungan protein yang dapat diolah menjadi berbagai bahan makanan seperti kue, mie, biskuit, donat, sereal, snack, dan masih banyak lainnya. Kalsium yang tinggi pada limbah ikan menjadi nilai tambah produk olahan tepung yang memiliki gizi tambahan. Penggunaan tepung limbah ikan biasanya menjadi bahan tambahan atau fortifikasi pada produk lain (Handayani *et al.*, 2020). Kandungan protein dan mineral pada kolagen limbah ikan ditambahkan pada pati dapat mengubah sifat makanannya. Penambahan kolagen limbah ikan memiliki kemampuan mengikat air karena kandungan mineral yang tinggi sehingga meningkatkan bobot pada makanan (Nawaz *et al.*, 2020).

Kolagen juga banyak diolah menjadi gelatin yang dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pembentuk gel. Gelatin merupakan protein larut air yang diperoleh dari denaturasi parsial kolagen. Pada aplikasinya, gelatin dapat digunakan pada industri kosmetik, biomedis, farmasi, makanan, dan fotografi. Pada industri makanan, gelatin memiliki banyak digunakan untuk meningkatkan elastisitas, stabilitas, dan konsistensi makanan karena sifatnya membentuk gel (Kumar *et al.*, 2018). Gelatin

memiliki pH yang harus dijaga yaitu berkisar 3,8 – 5,5 untuk standar makanan dan 4,5 – 5,5 untuk standar farmasi (Nurilmala *et al.*, 2020). Gelatin yang memiliki tekstur keras akan berpengaruh pada bahan pangan yang akan ditambahkan juga. Tekstur keras tersebut dikarenakan pada saat ekstraksi terdapat bahan yang tidak larut dalam air sehingga terjadi pengendapan dan menghasilkan partikel yang tidak merata. Adanya partikel tidak merata mengakibatkan hasil produk akhir yang diinginkan menjadi berbeda terutama pada makanan jajanan. (Nawaz *et al.*, 2020).

Warna terang yang dihasilkan dari ekstraksi memberikan nilai tambah karena bila digunakan untuk penambahan makanan tidak merubah warna produk (Shyni *et al.*, 2014). Warna pada gelatin sangat bergantung pada spesies ikan, kondisi ekstraksi, pengeringan, atau warna asli kulit ikan. Warna gelap pada gelatin biasanya disebabkan oleh kontaminan organik maupun kandungan protein yang belum terekstraksi sempurna (Nurilmala *et al.*, 2020). Sifat fungsional dan fisikokimia gelatin limbah ikan juga menunjukkan nilai yang baik sebagai pengikat lemak dan menahan kapasitas air karena memiliki kandungan asam amino hidrofobik seperti leusin dan isoleusin (Mirzapour *et al.*, 2018).

Pada pembuatan biskuit, sifat gelatinisasi sangat mempengaruhi hasil tekstur biskuit yang disebabkan penyerapan air dan pembentukan gelatinisasi tepung. Gelatinisasi tepung mempengaruhi viskositas (kekentalan) dari pembuatan biskuit. Fortifikasi penambahan kolagen pada biskuit terbukti dapat meningkatkan kapasitas penyerapan air, penyerapan minyak, dan sifat pencampuran pada tepung. Kolagen memiliki kandungan protein yang dapat digunakan dapat membantu pengurangan kebutuhan air kira-kira 21% dan menjadi bahan tambahan pada tepung. Hal tersebut dikarenakan terdapat penurunan kadar pati atau protein pada tepung yang telah dicampurkan dengan kolagen, penambahan kolagen pada tepung menghasilkan viskositas yang rendah akibatnya mempengaruhi karakteristik dimensi dan tekstur dari biskuit. Tetapi dengan adanya penambahan suhu pemanggangan dapat mempengaruhi proses gelatinisasi pada biskuit. Kandungan antioksidan kolagen juga dapat ditambahkan pada biskuit sehingga dapat mencegah

atau mengurangi kerusakan sel yang diakibatkan radikal bebas (A. Kumar *et al.*, 2019).

Kolagen dapat menjadi bahan tambahan yang cocok karena dapat menyerap kandungan air. tinggi kandungan protein pada kolagen maka Bukan hanya menyerap air saja, tetapi yogurt yang ditambahkan dengan kolagen meningkatkan aktivitas antioksidan (Ayati *et al.*, 2021). Penambahan kolagen pada sereal juga menunjukkan nilai penyerapan air yang tinggi. Kolagen juga dapat mencegah beberapa perubahan fisikokimia dan menghambat oksidasi lipid hingga tingkat tertentu. Sereal bar dengan penambahan kolagen dapat disimpan dalam waktu 3-6 bulan dengan suhu ruang. Pada bulan ke 6 terjadi perubahan warna menjadi kuning pucat yang menandakan sereal bar akan rusak (Benjakul *et al.*, 2019).

Tidak hanya pada makanan, kolagen juga dapat ditambahkan pada minuman dan telah banyak beredar. Kehadiran kolagen dalam minuman membantu tubuh untuk memperkuat jaringan tubuh, mengurangi kerutan pada kulit, dan mengurangi ukuran sel lemak (Li *et al.*, 2020). Lin *et al.*, (2020), juga menyatakan bahwa kandungan kolagen sebanyak 12% pada minuman berkolagen dapat menunjukkan khasiat memperbaiki DNA serta mencegah kerusakan pada kulit dari sinar ultraviolet.

Sebagai suplemen makanan, kolagen memfasilitasi peningkatan otot tanpa lemak, membangun kembali sendi dan struktur yang rusak, mengurangi waktu pemulihan serta membantu meningkatkan kinerja kardiovaskular. Karena beberapa manfaatnya, kolagen banyak diminati sebagai suplemen nutrisi olahraga (Zhang *et al.*, 2018). Konsumsi suplemen kolagen limbah ikan dapat mencegah osteoporosis yang menjadi penyakit umum kekurangan gizi kalsium. Kandungan kalsium dan mineral yang tinggi pada kolagen dapat memperkaya kalsium pada makanan serta mencegah hilangnya mineral pada tubuh (Nemati *et al.*, 2017). Pada penelitian (Suntornsaratoon *et al.*, 2018), konsumsi suplemen dari limbah tulang ikan tuna pada manusia lanjut usia dengan dosis <1.000 mg per hari tidak menunjukkan resiko stroke dan meningkatkan kandungan mineral pada tulang tetapi konsumsi

dengan dosis >1.000 mg per hari meningkatkan resiko stroke iskemik (penyumbatan darah pada otak) nonfatal.

4.3.2. Kosmetik

Bukan hanya untuk pangan, kolagen juga banyak digunakan dalam bidang kosmetik. Salah satu fungsi utama kolagen dalam bidang kosmetik adalah memastikan elastisitas dan kehalusan kulit terlindungi dari kerutan. Li *et al.*, (2020) melaporkan ekstraksi kolagen kulit nila memiliki potensi yang baik sebagai pelembab. Kandungan gugus hidrofilik pada limbah ikan yang diekstraksi menjadi potensi utama sebagai pelembab kulit.

Kolagen juga dapat digunakan menjadi gel rambut untuk mencegah dan memperbaiki rambut yang rusak dikarenakan radiasi sinar ultraviolet (UV). Lapisan luar rambut yang rusak akibat sinar UV akan rontok dan membuat pori-pori kepala sulit mendapatkan udara. Penyumbatan yang terjadi pada pori-pori kepala mengakibatkan rusaknya akar rambut. Igielska-Kalwat *et al.*, (2022), telah melakukan penelitian terhadap 30 responden dan penggunaan gel rambut berkolagen selama 100 hari. Kandungan tropokolagen pada kolagen memiliki efek regenerasi bagi kulit dan menghilangkan iritasi kulit. Perawatan rambut menggunakan gel rambut berkolagen telah terbukti melindungi lapisan luar kulit kepala dan rambut serta memperbaiki jaringan rambut yang rusak.

4.3.3. Aplikasi Medis

Pada bidang medis, kolagen memiliki fungsi yang penting dalam pembentukan jaringan ikat, sistem kekebalan tubuh, membantu menghentikan hilangnya darah (hemostasis), dan pembentukan metabolisme sel baru. Dengan adanya pembentukan jaringan ikat, luka kulit seperti luka bakar, kerusakan kulit, serta cacat lain yang terkait dengan otot dapat disembuhkan (Abdel-Mohsen *et al.*, 2020).

Contoh aplikasi yang sedang dikembangkan pada bidang medis adalah hidrogel. Hidrogel mengandung 90% air yang berfungsi sebagai penghantar obat. Untuk menghasilkan hidrogel yang baik bagi kulit, hidrogel harus stabil pada suhu 37°C. Ekstraksi kolagen dari limbah tulang ikan hiu biru menunjukkan 91% kandungan

kolagen murni yang digunakan sebagai bahan pembuatan hidrogel. Secara keseluruhan, hidrogel yang dihasilkan mampu mempertahankan bentuknya selama 21 hari dan dapat meregenerasi luka pada kulit. Sousa, Martins, *et al.*, (2020) juga menyatakan ekstraksi kolagen dari kulit ikan kod atlantik dapat menjadi kolagen biopolimer yang sangat penting dalam bidang biomedis. Telah dilakukan penelitian bahwa kulit ikan kod atlantik tidak beracun bagi sel serta memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah besar.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kolagen dari limbah ikan memiliki potensi yang sangat besar yang dapat dikembangkan menjadi produk bernilai tinggi dalam bidang pangan, kosmetik, dan aplikasi medis. Diperlukan aplikasi teknologi valorisasi yang sesuai untuk mendapatkan produk yang bermutu. Teknologi valorisasi yang efektif meliputi teknik ekstraksi yang tepat, kondisi ekstraksi yang optimal, serta bahan penolong yang sesuai.

