Potensi Peptida Kolagen Oral dalam Memodulasi Matriks Tulang Rawan dan Pelumasan Sendi: Tinjauan Mekanistik dan Usulan Hipotesis Penelitian

Penulis: Nat. Umar Abdul Aziz, C.HTE

ABSTRAK

Kolagen merupakan protein struktural yang berperan penting dalam pembentukan matriks ekstraseluler, termasuk jaringan tulang rawan artikular. Konsumsi kolagen terhidrolisis menghasilkan asam amino dan peptida yang dapat diserap melalui saluran pencernaan. Sejumlah penelitian praklinis mengindikasikan bahwa peptida kolagen berpotensi memengaruhi metabolisme kondrosit dan sintesis komponen matriks ekstraseluler. Sementara itu, bukti klinis menunjukkan potensi manfaat turunan kolagen terhadap nyeri dan fungsi pada pasien osteoartritis. Namun, mekanisme yang menghubungkan konsumsi kolagen dengan perubahan komposisi dan fungsi cairan sinovial belum sepenuhnya diketahui.

Artikel ini mengusulkan hipotesis bahwa peptida kolagen oral dapat memodulasi keseimbangan sintesis dan degradasi matriks tulang rawan, yang berpotensi mendukung fungsi mekanis sendi. Pengaruh terhadap asam hialuronat, lubricin, dan sifat pelumasan cairan sinovial diposisikan sebagai hipotesis sekunder yang memerlukan pengujian tersendiri. Peran asam amino dalam sintesis protein membran sel juga dibahas, dengan mempertimbangkan bahwa mekanisme tersebut belum terbukti sebagai jalur spesifik manfaat kolagen oral pada sendi.

Kata kunci: *kolagen terhidrolisis, peptida bioaktif, kondrosit, matriks ekstraseluler, cairan sinovial, asam hialuronat, osteoartritis.*

1. Pendahuluan

Sendi sinovial memungkinkan pergerakan dengan gesekan rendah melalui interaksi antara tulang rawan artikular, cairan sinovial, dan struktur jaringan di sekitarnya. Tulang rawan artikular mengandung matriks ekstraseluler yang terutama terdiri atas kolagen tipe II, proteoglikan, air, dan komponen lainnya. Cairan sinovial mengandung asam hialuronat dan lubricin yang berkontribusi terhadap sifat viskoelastis dan pelumasan sendi.

Gangguan keseimbangan metabolisme matriks tulang rawan dapat terjadi pada osteoartritis. Kondrosit, sebagai sel utama pembentuk matriks tulang rawan, berperan dalam sintesis dan pemeliharaan komponen tersebut. Oleh karena itu, strategi yang dapat memengaruhi aktivitas kondrosit menjadi salah satu bidang penelitian untuk mendukung kesehatan sendi.

Kolagen oral, terutama dalam bentuk hidrolisat, telah diteliti sebagai intervensi nutrisi untuk osteoartritis. Meta-analisis Liang dan kolega (2024), yang mencakup 35 uji klinis acak dengan 3.165 peserta, melaporkan perbaikan nyeri dan fungsi pada kelompok yang menerima turunan kolagen dibandingkan

2. Tinjauan Mekanistik

2.1. Pencernaan dan penyerapan kolagen

Kolagen merupakan protein yang tersusun atas asam amino, terutama glisin, prolin, dan hidroksiprolin. Pada kolagen terhidrolisis, pemecahan protein menghasilkan campuran peptida berukuran kecil dan asam amino.

Setelah dikonsumsi, komponen tersebut mengalami proses pencernaan dan penyerapan. Sebagian peptida yang mengandung hidroksiprolin dapat ditemukan dalam sirkulasi darah setelah konsumsi kolagen. Namun, hal ini tidak berarti seluruh peptida mencapai jaringan sendi dalam bentuk utuh atau digunakan secara khusus untuk membentuk tulang rawan. Asam amino hasil pencernaan dapat masuk ke dalam kumpulan asam amino tubuh dan digunakan dalam berbagai proses metabolisme, termasuk sintesis protein. Efek biologis yang spesifik terhadap jaringan sendi kemungkinan bergantung pada jenis peptida, dosis, bioavailabilitas, kondisi jaringan, serta faktor metabolik lainnya.

2.2. Potensi pengaruh terhadap kondrosit dan matriks ekstraseluler

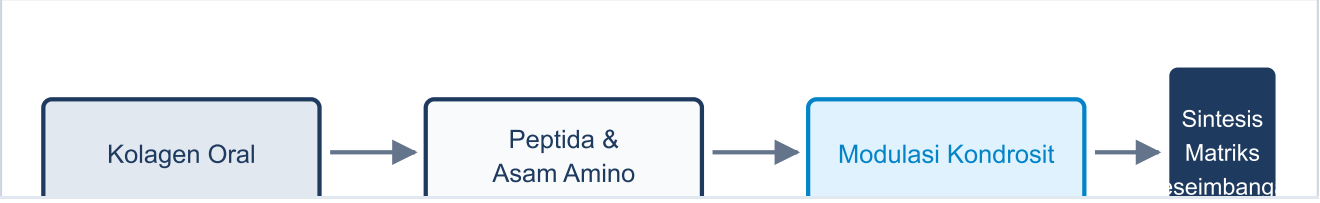
Kondrosit mempertahankan matriks tulang rawan melalui keseimbangan antara sintesis dan degradasi molekul struktural. Kolagen tipe II memberikan kekuatan tarik, sedangkan aggrecan dan proteoglikan lainnya berperan dalam mempertahankan air serta membantu jaringan menahan beban kompresi.

Secara hipotetis, peptida kolagen yang tersedia setelah konsumsi dapat memengaruhi aktivitas kondrosit atau menyediakan substrat untuk sintesis komponen matriks. Pengaruh tersebut dapat diuji melalui pengukuran ekspresi gen, sintesis protein matriks, dan aktivitas enzim yang terlibat dalam degradasi jaringan.

Beberapa target penelitian yang relevan meliputi:

1. Kolagen tipe II sebagai komponen struktural tulang rawan.
2. Aggrecan sebagai komponen proteoglikan yang membantu mempertahankan sifat mekanis jaringan.
3. MMP-13 sebagai enzim yang terlibat dalam degradasi matriks kolagen.
4. Penanda sintesis dan degradasi matriks lainnya untuk mengevaluasi keseimbangan metabolisme jaringan.

Perlu ditekankan bahwa perubahan ekspresi penanda tersebut belum tentu menghasilkan regenerasi tulang rawan yang bermakna secara klinis. Hubungan antara perubahan molekuler, kualitas jaringan, dan fungsi sendi perlu diuji secara bertahap.



2.3. Hubungan dengan cairan sinovial dan pelumasan sendi

Cairan sinovial memiliki sifat pelumasan yang dipengaruhi oleh konsentrasi dan karakteristik molekul penyusunnya. Asam hialuronat berkontribusi terhadap viskositas dan viskoelastisitas, sedangkan lubricin berperan penting dalam mengurangi gesekan pada permukaan artikular.

Berdasarkan fisiologi tersebut, terdapat kemungkinan untuk menguji apakah suplementasi kolagen memengaruhi produksi, konsentrasi, atau fungsi molekul pelumas melalui perubahan lingkungan jaringan sendi.

Akan tetapi, kemungkinan biologis bukan bukti bahwa efek tersebut benar-benar terjadi. Sampai mekanisme itu diuji secara langsung, konsumsi kolagen tidak dapat dinyatakan meningkatkan asam hialuronat, lubricin, atau volume cairan sinovial pada manusia.

Selain itu, jumlah cairan sinovial yang meningkat tidak selalu menandakan kondisi sendi yang lebih baik. Pada osteoartritis dengan sinovitis, peningkatan cairan dapat berkaitan dengan proses patologis. Oleh karena itu, penilaian pelumasan sebaiknya mencakup komposisi cairan, sifat viskoelastis, koefisien gesekan, serta kondisi jaringan sendi, bukan hanya volume cairan.

2.4. Asam amino dan protein membran sel

Membran sel tersusun atas lapisan ganda lipid dengan protein yang tertanam atau berasosiasi pada membran. Protein tersebut memiliki fungsi dalam transportasi zat, penerimaan sinyal, adhesi, dan pemeliharaan homeostasis sel.

Asam amino hasil pencernaan kolagen dapat digunakan tubuh untuk sintesis protein, termasuk protein membran. Namun, kolagen bukan satu-satunya sumber asam amino, dan tubuh memperoleh bahan pembentuk protein dari beragam sumber makanan. Fosfolipid membran terutama dibentuk melalui jalur metabolisme lipid. Karena itu, tidak tepat menyimpulkan bahwa kolagen secara langsung membentuk lapisan lipid membran sel.

Hipotesis mengenai pemeliharaan protein membran dapat dipertimbangkan dalam penelitian seluler, tetapi harus dibedakan dari hipotesis mengenai metabolisme matriks tulang rawan. Belum terdapat dasar yang cukup untuk menyatakan bahwa peningkatan konsumsi kolagen secara spesifik memperbaiki membran sel kondrosit pada manusia.

3. Rumusan Masalah

Penelitian lanjutan di bidang ini dapat diarahkan untuk menjawab serangkaian pertanyaan krusial berikut:

1. Apakah peptida kolagen terhidrolisis memengaruhi keseimbangan sintesis dan degradasi matriks ekstraseluler pada kondrosit manusia?
2. Apakah pengaruh tersebut berbeda dibandingkan dengan pemberian campuran asam amino yang setara?

4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis utama

Pemberian peptida kolagen terhidrolisis dapat memodulasi keseimbangan sintesis dan degradasi matriks ekstraseluler pada kondrosit manusia, sehingga berpotensi mempertahankan karakteristik struktural dan mekanis tulang rawan artikular.

Hipotesis sekunder

Pemberian peptida kolagen terhidrolisis dapat memengaruhi penanda biologis yang berkaitan dengan produksi atau pemeliharaan komponen pelumas sendi, termasuk asam hialuronat dan lubricin. Hipotesis sekunder ini tidak mengasumsikan bahwa perubahan tersebut pasti terjadi, melainkan menempatkannya sebagai pertanyaan eksperimental yang dapat dibuktikan atau ditolak.

Hipotesis alternatif mengenai protein membran

Asam amino dan peptida hasil pencernaan kolagen dapat berkontribusi pada sintesis protein seluler, termasuk protein membran. Namun, pengaruh spesifik kolagen terhadap integritas dan fungsi membran kondrosit perlu dibandingkan dengan kontrol asam amino atau protein yang setara untuk memisahkan efek khusus kolagen dari efek umum ketersediaan nutrisi.

5. Metodologi Penelitian yang Diusulkan

Penelitian awal yang paling sesuai adalah eksperimen praklinis menggunakan kondrosit manusia atau model jaringan tulang rawan.

5.1. Desain penelitian

Penelitian dapat menggunakan kelompok eksperimental dan kontrol dengan pengondisian berikut: (1) Kelompok kontrol tanpa perlakuan; (2) Kelompok dengan pemberian peptida kolagen terhidrolisis pada konsentrasi yang telah ditentukan melalui uji pendahuluan; (3) Kelompok pembanding dengan campuran asam amino yang disetarakan; (4) Jika relevan, kelompok kontrol positif dengan intervensi yang telah diketahui memengaruhi parameter matriks yang diuji. Eksperimen sebaiknya dilakukan dengan replikasi biologis yang memadai, prosedur analisis yang telah ditetapkan sebelumnya, dan penilaian risiko bias.

5.2. Parameter pengukuran

Kategori Evaluasi	Parameter Spesifik
Parameter Utama	Sintesis kolagen tipe II; Kandungan aggrecan/proteoglikan; Aktivitas MMP-13 dan penanda degradasi matriks; Viabilitas seluler.
Parameter Sekunder (Pelumas)	Produksi/konsentrasi asam hialuronat; Ekspresi atau kadar lubricin (PRG4).

5.3. Analisis data

Analisis dapat membandingkan perubahan setiap parameter antara kelompok perlakuan dan kontrol. Ukuran sampel ditentukan berdasarkan perhitungan daya statistik dari luaran utama. Hasil perlu dilaporkan bersama ukuran efek dan interval kepercayaan, bukan hanya nilai signifikansi statistik. Jika hasil praklinis menunjukkan efek yang konsisten, penelitian dapat dilanjutkan ke model jaringan yang lebih kompleks dan akhirnya uji klinis terkontrol.

6. Pembahasan

Bukti klinis yang tersedia memberikan alasan untuk meneliti lebih lanjut penggunaan turunan kolagen dalam osteoartritis. Namun, manfaat terhadap gejala tidak secara otomatis mengidentifikasi mekanisme biologis yang mendasarinya. Salah satu jalur yang layak diuji adalah pengaruh peptida kolagen terhadap metabolisme matriks ekstraseluler. Jalur ini relevan karena tulang rawan merupakan jaringan yang kaya kolagen dan proteoglikan, serta memiliki kapasitas regenerasi yang terbatas.

Sebaliknya, klaim bahwa kolagen oral secara langsung memperbaiki cairan sinovial masih membutuhkan bukti yang lebih spesifik. Untuk membuktikannya, penelitian harus menunjukkan perubahan pada molekul pelumas atau karakteristik pelumasan, bukan sekadar penurunan nyeri.

Demikian pula, keterlibatan asam amino dalam sintesis protein membran merupakan fakta biokimia umum, tetapi tidak cukup untuk membuktikan manfaat khusus kolagen pada membran sel sendi. Perbandingan dengan sumber protein atau asam amino yang setara diperlukan untuk menguji spesifisitas mekanisme. Keterbatasan penting penelitian ini adalah belum adanya data eksperimen baru yang secara langsung menguji hipotesis yang diajukan.

7. Kesimpulan

Konsumsi kolagen terhidrolisis menghasilkan asam amino dan peptida yang berpotensi memengaruhi metabolisme jaringan. Jalur yang paling relevan untuk diteliti dalam konteks kesehatan sendi adalah kemungkinan modulasi aktivitas kondrosit dan keseimbangan matriks ekstraseluler. Pengaruh langsung terhadap produksi asam hialuronat, lubricin, volume cairan sinovial, dan fungsi protein membran masih perlu dibuktikan secara terpisah. Penelitian bertahap dapat menentukan kebenaran hipotesis mekanistik tersebut.

Daftar Pustaka

1. Liang, C.-W., Cheng, H.-Y., Lee, Y.-H., Liao, C.-D., & Huang, S.-W. (2024). Efficacy and safety of collagen derivatives for osteoarthritis: A trial sequential meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 32(5), 574–584. https://doi.org/10.1016/j.joca.2023.12.010
2. Effect of collagen supplementation on knee osteoarthritis: An updated systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. (2025). *Clinical and Experimental Rheumatology*, 43, 126–134. https://doi.org/10.55563/clinexprheumatol/kflfr5
3. Role of Collagen Derivatives in Osteoarthritis and Cartilage Repair: A Systematic Scoping Review With Evidence Mapping. (2020). *Cartilage*. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33068290/
4. Carrillo-Norte, J. A., Gervasini-Rodríguez, G., Santiago-Triviño, M. Á., García-López, V., & Guerrero-Bonmatty, R. (2025). Oral administration of hydrolyzed collagen alleviates pain and enhances functionality in knee osteoarthritis: Results from a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 43, 101424.

> **Catatan akademik:** Naskah ini merupakan tinjauan naratif konseptual dan proposal hipotesis. Naskah belum mencakup pencarian literatur sistematis yang lengkap, penilaian formal kualitas setiap studi, atau data primer. Sebelum diajukan ke jurnal ilmiah, daftar pustaka dan seluruh klaim mekanistik perlu diverifikasi dari teks lengkap sumber primer.