

Studi Literatur Kandidat Eksipien Polimer Mukoadesif

Muhammad Rafii Fakhruddin *, Hanifa Rahma, Patihul Husni

Prodi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

muhammadrafiif25@gmail.com, hanifa.rahma@gmail.com, patihulhusni@gmail.com

Abstract. Mucosal adhesives play a significant role in pharmaceutical formulation, particularly in enhancing adhesion to mucosal surfaces. The objective of this study is to identify and evaluate commonly used mucosal adhesive polymer excipients in pharmaceutical formulations. Commonly used polymers include carbopol, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), sodium carboxymethyl cellulose (CMC-Na), and chitosan. Through a literature review approach, this study compared the adhesion strength, biocompatibility, biodegradability, and applications of these various polymers. The results of the analysis indicate that the optimal choice of polymer should consider a balance between adhesive strength and biocompatibility. Based on the findings of this study, HPMC and CMC-Na were found to have higher adhesive strength, while chitosan demonstrated potential as a natural polymer with good biodegradability.

Keywords: *Mucosal adhesive polymers, Carbopol, HPMC, CMC-Na, Chitosan, Bioadhesion, Drug delivery.*

Abstrak. Polimer mukoadesif memiliki peran yang cukup penting dalam formulasi sediaan farmasi, terutama dalam meningkatkan daya adhesi pada permukaan mukosa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kandidat eksipien polimer mukoadesif yang umum digunakan dalam formulasi sediaan farmasi. Polimer yang sering digunakan mencakup karbopol, hidroksi-propilmetilselulosa (HPMC), karboksi metil selulosa natrium (CMC-Na) dan kitosan. Melalui pendekatan studi literatur, penelitian ini membandingkan kekuatan adhesi, biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan aplikasi dari berbagai polimer tersebut. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa pilihan polimer yang optimal harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan adhesi dan biokompatibilitas. Berdasarkan hasil penelitian ini, HPMC dan CMC-Na terbukti memiliki kekuatan adhesi yang lebih tinggi, sementara kitosan menunjukkan potensi sebagai polimer alami dengan biodegradabilitas yang baik.

Kata Kunci: Polimer mukoadesif, Karbopol, HPMC, CMC-Na, Kitosan, Bioadhesi, Penghantaran obat.

A. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi sediaan farmasi telah mengalami kemajuan pesat, khususnya dalam sistem penghantaran obat (drug delivery system) yang bertujuan untuk meningkatkan efektivitas, bioavailabilitas, dan kenyamanan pasien. Salah satu sistem penghantaran obat yang mendapat perhatian besar adalah sistem penghantaran berbasis mukoadesif. Sistem ini memanfaatkan polimer mukoadesif yang mampu melekat kuat pada membran mukosa tubuh untuk memperpanjang waktu tinggal sediaan di tempat absorpsi, sehingga meningkatkan absorpsi dan efektivitas terapi (Costa & Ferreira, 2018).

Polimer mukoadesif bekerja melalui interaksi fisik maupun kimia dengan lapisan mukosa yang lembab, memungkinkan pengikatan yang cukup lama untuk memberikan pelepasan obat secara perlahan dan terkendali (Maher & O'Donnell, 2021). Adhesi yang kuat ini diperoleh melalui mekanisme ikatan hidrogen, van der Waals, atau interaksi elektrostatis antara polimer dan glikoprotein mukus. Aplikasi dari teknologi ini sangat luas, mulai dari sediaan oral, nasal, vaginal, hingga rektal, yang menunjukkan pentingnya eksplorasi terhadap eksipien polimer mukoadesif yang tepat (Kaur & Arora, 2019).

Membran mukosa merupakan penghalang alami yang kompleks, terdiri dari lapisan epitel yang dilapisi oleh lapisan mukus. Mukus adalah gel viskoelastik yang sebagian besar terdiri dari air, glikoprotein (mucin), lipid, dan garam anorganik (Duchene dkk., 2018). Interaksi antara polimer mukoadesif dan lapisan mukus inilah yang menjadi kunci mekanisme adhesi. Polimer mukoadesif bekerja melalui dua teori utama, yaitu teori interpenetrasi dan teori dehidrasi. Teori interpenetrasi menyatakan bahwa molekul polimer mukoadesif dan glikoprotein mukus saling berdifusi dan membentuk ikatan fisik, seperti ikatan hidrogen atau ikatan Van der Waals (Ghadiri & Vaezi, 2020). Sementara itu, teori dehidrasi mengemukakan bahwa polimer hidrofilik menarik air dari lapisan mukus, menyebabkan mukus menjadi lebih terkonsentrasi dan meningkatkan kontak antara polimer dan permukaan mukosa.

Polimer mukoadesif adalah bahan yang sering digunakan untuk meningkatkan daya lekat dalam formulasi suatu sediaan farmasi pada permukaan mukosa tubuh, seperti rongga mulut, hidung, atau saluran pencernaan. Keunggulan utama dari polimer mukoadesif adalah kemampuannya untuk meningkatkan pelepasan obat secara bertahap dan memberikan efek lokal atau sistemik yang lebih lama (Bhalerao & Pimplaskar, 2020). Salah satu aplikasi utama polimer ini adalah dalam sediaan topikal, seperti gel atau film yang ditempatkan pada mukosa untuk memberikan terapi yang lebih efisien.

Pemilihan polimer mukoadesif yang tepat sangat bergantung pada beberapa faktor, seperti kekuatan adhesi, biokompatibilitas, biodegradabilitas, serta kemampuan untuk melepaskan obat secara terkendali. Beberapa polimer yang sering digunakan sebagai eksipien mukoadesif dalam formulasi sediaan farmasi adalah karbopol, hidroksi-propilmetilselulosa (HPMC), polivinil alkohol (PVA), dan kitosan (Sarkar et al., 2019). Sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas menjadi syarat penting terutama untuk sediaan yang ditujukan untuk penggunaan jangka panjang atau aplikasi pada mukosa sensitif (Saha & Pathak, 2018). Setiap polimer ini memiliki karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai jenis formulasi, seperti tablet, gel, film, atau *patch*. Karbopol dan CMC-Na dikenal karena kekuatan adhesinya yang tinggi, sementara hidroksi-propilmetilselulosa (HPMC) sering digunakan karena kemampuannya membentuk film fleksibel dan stabil pada permukaan mukosa (Vigani et al., 2023).

Pemilihan polimer mukoadesif yang tepat sangat krusial. Polimer ini harus memenuhi beberapa kriteria, seperti tidak toksik, tidak mengiritasi, memiliki kemampuan swelling yang baik, dan mampu berinteraksi secara efektif dengan mucin (Sannino & Vicini, 2018). Selain itu, sifat fisikokimia polimer seperti berat molekul, densitas muatan, dan fleksibilitas rantai polimer juga memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan mukoadesinya. Polimer dapat diklasifikasikan menjadi polimer alami (misalnya kitosan, alginat, pektin) dan polimer sintetik (misalnya karbomer, poliakrilat, HPMC). Masing-masing kelas polimer ini memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri yang perlu dipertimbangkan dalam formulasi.

Karbopol, yang merupakan polimer sintetik berbasis asam akrilik, memiliki kelebihan dalam memberikan kekuatan adhesi yang tinggi pada permukaan mukosa, yang membuatnya ideal untuk aplikasi gel mukoadesif. Karbopol juga mampu membentuk gel yang viskositasnya dapat dikendalikan, sehingga memberikan fleksibilitas dalam formulasi obat (Sharma & Malshe, 2018).

Sebaliknya, PVA yang lebih sering digunakan dalam film dan patch, memiliki kekuatan adhesi yang tinggi serta kemampuan untuk membentuk film yang transparan dan tidak berminyak. PVA juga dikenal lebih mudah diproses dan sering digunakan dalam patch transdermal atau oral (Patel & Patel, 2020).

Di sisi lain, polimer alami seperti kitosan semakin mendapatkan perhatian dalam pengembangan sediaan farmasi karena biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya yang sangat baik. Kitosan adalah polisakarida yang berasal dari cangkang krustasea, dan memiliki potensi untuk digunakan dalam sediaan obat yang ramah lingkungan (Paatel & Patel, 2020). Keunggulannya terletak pada sifat antibakteri dan antijamur yang dapat menambah manfaat dalam aplikasi topikal. Namun, meskipun memiliki biokompatibilitas yang sangat baik, kitosan menunjukkan kekuatan adhesi yang lebih rendah dibandingkan dengan polimer sintesis lainnya, yang membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi farmasi yang memerlukan daya lekat yang kuat (Vigani et al., 2023). Sifatnya yang larut dalam pH asam membatasi penggunaannya pada kondisi lingkungan tertentu, sehingga dibutuhkan modifikasi kimia lebih lanjut untuk memperluas aplikasi terapeutiknya (Lozano & Lobo, 2018).

Hidroksi-propilmetilselulosa (HPMC) adalah salah satu polimer semi-sintetik yang sering digunakan dalam formulasi mukoadesif. HPMC memiliki kemampuan untuk membentuk film yang fleksibel dan dapat digunakan dalam berbagai jenis sediaan seperti tablet dan film, meskipun kekuatan adhesinya lebih rendah dibandingkan dengan karbopol dan PVA (Zhang et al., 2021). HPMC juga dikenal karena biokompatibilitasnya yang baik dan kemampuannya untuk melarut dengan cepat dalam cairan tubuh, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk formulasi obat yang digunakan pada permukaan mukosa mulut atau rongga hidung.

Hingga saat ini, belum ada polimer tunggal yang ideal untuk semua aplikasi mukoadesif. Setiap rute penghantaran obat (bukal, nasal, gastrointestinal, dll.) memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dan membutuhkan polimer dengan karakteristik spesifik. Oleh karena itu, perbandingan sistematis terhadap kandidat polimer mukoadesif sangat penting untuk memandu pemilihan eksipien yang paling tepat. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai kandidat polimer mukoadesif yang paling menjanjikan dan sifat-sifatnya.

Meskipun potensi polimer mukoadesif sangat besar, ada beberapa tantangan dalam pengembangannya. Kekuatan adhesi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan iritasi atau kerusakan pada membran mukosa, sementara adhesi yang terlalu rendah tidak akan efektif (Kumari & Yadav, 2017). Selain itu, kondisi fisiologis di lokasi aplikasi (seperti pH, kekuatan ionik, dan aktivitas enzimatis) juga dapat mempengaruhi kinerja polimer. Sebagai contoh, karbomer sangat sensitif terhadap pH, sementara kitosan hanya efektif pada pH asam. Oleh karena itu, penelitian yang mendalam mengenai karakteristik dan perbandingan polimer sangat diperlukan untuk memilih eksipien yang paling sesuai untuk setiap rute penghantaran obat (Singh & Haseeb, 2019).

Bagaimana karakteristik fisikokimia dan mekanisme mukoadhesi dari berbagai kandidat eksipien polimer mukoadesif (alami dan sintetik) yang telah diidentifikasi dari literatur ilmiah? Bagaimana perbandingan kinerja mukoadhesif antara polimer-polimer tersebut berdasarkan faktor-faktor seperti kekuatan adhesi, waktu retensi, dan pengaruh kondisi lingkungan?

Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan membandingkan berbagai kandidat polimer mukoadesif yang telah dipublikasikan dalam literatur. Penelitian ini bertujuan untuk menguraikan mekanisme mukoadhesi dari masing-masing polimer, mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerjanya, dan menyimpulkan polimer mana yang paling menjanjikan untuk aplikasi penghantaran obat tertentu. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi referensi penting bagi para peneliti dalam mengembangkan formulasi obat mukoadesif yang lebih efektif dan efisien.

B. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai artikel ilmiah yang diterbitkan dalam jurnal internasional dengan tahapan meliputi pencarian artikel, penyaringan dan seleksi artikel, ekstraksi data dan analisis data. Pencarian artikel dilakukan melalui mesin pencari online berupa data base yang memiliki reputasi tinggi resmi yakni *Pubmed*, *Science Direct*, *Google Scholar*, dan *Taylor & Francis*.

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi : “ *mucoadhesive polymers*, ” “ *mucoadhesion*, ” “ *drug delivery*, ” “ *natural mucoadhesive polymers*, ” “ *synthetic mucoadhesion polymers*, ” “ *carbomer*, ” “kitosan,” “ HPMC,” “ Na-CMC,” Selanjutnya artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi.

Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian yang membahas polimer mukoadesif dan aplikasinya dalam formulasi sediaan farmasi, artikel yang dipublikasikan dalam jurnal yang terindeks dalam 10 tahun terakhir (2015-2025) dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, artikel yang membahas sifat fisik, kimia, dan biologi polimer mukoadesif, dan artikel yang menyediakan data eksperimen mengenai kekuatan adhesi dan biokompatibilitas. Sedangkan kriteria eksklusi meliputi, artikel yang tidak membahas polimer mukoadesif atau aplikasinya, dan artikel yang tidak menyediakan data eksperimen yang relevan.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Polimer mukoadesif merupakan komponen utama dalam sistem penghantaran obat modern, karena kemampuannya untuk meningkatkan waktu tinggal sediaan farmasi pada permukaan mukosa. Berdasarkan analisis studi literatur terkini, terdapat beberapa polimer yang paling sering digunakan sebagai eksipien mukoadesif, yaitu karbopol, hidroksiopropil metilselulosa (HPMC), Carboxymethylcellulosa natrium (CMC-Na), dan kitosan. Masing-masing polimer memiliki kekuatan adhesi, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang berbeda-beda, sehingga pemilihannya sangat tergantung pada kebutuhan formulasi obat tertentu (Lozano & Lobo, 2018).

Berdasarkan hasil penelusuran pustaka yang dilakukan, empat eksipien baik semi sintetik maupun sintetik diketahui memiliki kekuatan atau efek mukoadesif yang berbeda-beda dan penggunaannya harus disesuaikan kedalam formula sediaan farmasi. Hasil penelusuran dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil analisis eksipien polimer mukoadesif

Karakteristik	Karbopol	Kitosan	HPMC	CMC-Na
Kelas polimer	Sintetik	Alami	Semi-sintetik	Semi-Sintetik
Struktur kimia	Asam Poliakrilat	Polisakarida, kationik	Eter selulosa	Eter selulosa, anionik
Mekanisme Adhesi	Ikatan H, Interpenetrasi	Interaksi elektrostatis	Ikatan H, Interpenetrasi	Interaksi elektrostatis, Ikatan H
Kondisi pH Optimal	Asam hingga netral (pH 3 – 7)	Asam (pH < 6,5)	Netral hingga basa	Basa
Kelebihan	Daya adhesi kuat, stabilitas baik, viskositas tinggi	Biokompatibel, biodegradabel, permeasi enhancer	Biokompatibel, non-iritatif, mudah diformulasi	Murah, biokompatibel, viskositas stabil
Keterbatasan	Sensitif terhadap pH, iritasi pada konsentrasi tinggi	Daya adhesi berkurang pada pH netral/basa	Daya adhesi lebih rendah dari karbomer	Mukoadhesi lebih lemah dari karbomer
Sumber	(Maher & O'Donnell, 2021)	(Ghadiri & Vaezi, 2020)	(Sannino & Vicini, 2018)	(Duchene & Ponchel, 2018)

Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kinerja Mukoadhesif

Selain jenis polimer, beberapa faktor lain juga berperan penting dalam menentukan efektivitas mukoadhesi:

Berat Molekul Polimer, Polimer dengan berat molekul yang lebih tinggi umumnya memiliki lebih banyak situs interaksi per molekul, sehingga dapat membentuk lebih banyak ikatan dengan mukin dan menghasilkan daya adhesi yang lebih kuat.

Kepadatan Muatan dan Gugus Fungsional, Polimer dengan kepadatan gugus fungsional yang tinggi (seperti gugus karboksil pada karbomer atau gugus amino pada kitosan) cenderung memiliki daya mukoadhesi yang lebih kuat karena banyaknya situs potensial untuk membentuk ikatan dengan mukin.

Kondisi Lingkungan, pH dan kekuatan ionik di lokasi aplikasi sangat memengaruhi ionisasi gugus fungsional pada polimer, yang pada akhirnya memengaruhi mekanisme adhesi.

Hidrasi Polimer, Polimer harus memiliki kemampuan untuk menyerap air dan mengembang (*swelling*) agar rantainya dapat berinteraksi dengan rantai mukin. Namun, *swelling* yang berlebihan juga dapat melemahkan daya adhesi karena polimer menjadi terlalu encer.

Polimer karbopol menonjol karena kekuatan adhesinya yang tinggi, yang menjadikannya pilihan utama dalam formulasi gel mukoadesif. Karbopol mengandung gugus karboksilat yang memungkinkan interaksi hidrogen dan elektrostatis dengan mukus, memperkuat daya rekat pada membran mukosa (Maher & O'Donnell, 2021). Namun, sebagai polimer sintesis, karbopol tidak dapat terdegradasi secara alami, sehingga tidak cocok untuk sistem sediaan berkelanjutan atau aplikasi terapi jangka panjang. Karbomer merupakan polimer sintesis yang paling banyak digunakan sebagai eksipien mukoadesif. Karbomer adalah asam poliakrilat yang memiliki banyak gugus karboksil (-COOH) pada rantainya. Mekanisme mukoadhesinya terutama disebabkan oleh pembentukan ikatan hidrogen yang kuat antara gugus karboksil pada karbomer dan gugus glikoprotein pada mukus (Duchene & Ponchel, 2018).

Sementara itu, HPMC lebih sering digunakan dalam sediaan film atau tablet karena kemampuannya membentuk film fleksibel dan transparan yang nyaman saat diaplikasikan di mukosa oral. HPMC memiliki viskositas yang dapat diatur dan stabil pada berbagai pH, menjadikannya pilihan ideal untuk sediaan transmukosa. Meskipun kekuatan adhesinya hanya sedang, HPMC tetap disukai karena kemudahan formulasi dan stabilitas fisikokimianya (Costa & Ferreira, 2018). HPMC memiliki kemampuan *swelling* yang sangat baik saat kontak dengan air, yang memungkinkan rantai polimernya berdifusi ke dalam lapisan mukus. Meskipun daya adhesinya tidak sekuat karbomer, HPMC sering dipilih karena sifatnya yang biokompatibel, non-iritatif, dan mudah untuk diformulasikan. HPMC juga memiliki fleksibilitas rantai yang baik, sehingga dapat beradaptasi dengan berbagai jenis formulasi.

CMC-Na, atau karboksimetilselulosa natrium, juga termasuk dalam polimer sintesis namun menunjukkan biodegradabilitas yang lebih baik dibandingkan karbopol. CMC-NA dapat membentuk film elastis yang memiliki kekuatan mekanik dan adhesi tinggi, serta stabil di lingkungan lembap. Penggunaan CMC-Na sangat populer dalam sediaan patch mukoadesif karena sifatnya yang tidak mengiritasi dan relatif inert terhadap bahan aktif (Patel & Patel, 2020). Na-CMC sering digunakan dalam kombinasi dengan polimer lain untuk meningkatkan viskositas dan sifat mukoadhesinya. Keunggulan utamanya adalah biaya yang relatif rendah dan biokompatibilitasnya yang baik (Duchene & Ponchel, 2018).

Di sisi lain, kitosan merupakan polimer alami yang berasal dari deasetilasi kitin dan dikenal memiliki muatan positif pada pH fisiologis. Hal ini memungkinkan kitosan untuk berinteraksi dengan mukus yang bermuatan negatif, menciptakan ikatan adhesif yang efektif. Kelebihan utama kitosan adalah biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya yang tinggi. Selain itu, kitosan juga dapat meningkatkan permeabilitas membran mukosa, sehingga potensial untuk meningkatkan absorpsi obat. Namun, kinerja mukoadhesi kitosan menurun drastis pada pH netral atau basa karena gugus aminonya menjadi tidak terionisasi (Ghadiri & Vaezi, 2020). Keunggulan lain dari kitosan adalah sifat antibakteri dan pro-regeneratifnya, yang membuatnya sangat ideal untuk aplikasi terapi luka dan penghantaran obat topikal (Kaur & Arora, 2019).

Namun demikian, beberapa kendala muncul dalam penggunaan kitosan, seperti kelarutannya yang terbatas pada pH netral atau basa, yang dapat menghambat pelepasan obat di lingkungan tertentu. Oleh karena itu, modifikasi kimia seperti penggantian gugus tiol atau karboksimetilasi sering digunakan untuk meningkatkan kelarutan dan kekuatan adhesi kitosan (Sharma & Malshe, 2018).

Beberapa studi menunjukkan bahwa kombinasi dua polimer sering kali menghasilkan efek sinergis, baik dalam hal adhesi maupun pengendalian pelepasan obat (Kumari & Yadav, 2017).

Misalnya, kombinasi HPMC dengan kitosan mampu meningkatkan daya lekat sekaligus mempertahankan biodegradabilitas yang baik (Rajendran & Mani, 2020). Pendekatan ini semakin sering dilakukan untuk menyeimbangkan kelebihan dan kekurangan masing-masing polimer.

Selain sifat fisik dan kimia, penting juga mempertimbangkan interaksi polimer dengan bahan aktif, stabilitas selama penyimpanan, serta kenyamanan pasien selama penggunaan. Sediaan mukoadesif harus mampu menjaga integritas selama kontak dengan mukosa tanpa menimbulkan iritasi atau sensasi tidak nyaman. Misalnya, karbopol bisa menyebabkan rasa mengganjal pada pengguna apabila tidak diformulasi dengan benar (Saha & Phatak, 2018).

Sebagian besar penelitian klinis dan in vitro menunjukkan bahwa sediaan berbasis polimer mukoadesif mampu meningkatkan bioavailabilitas obat secara signifikan, terutama untuk obat yang mengalami metabolisme lintas pertama (first-pass metabolism). Dengan demikian, sistem mukoadesif tidak hanya meningkatkan efikasi terapi tetapi juga memungkinkan pengurangan dosis dan efek samping sistemik (Kumari & Yadav, 2017).

Berdasarkan hasil analisis literatur, pemilihan kandidat eksipien polimer mukoadesif harus mempertimbangkan aplikasi spesifik sediaan, jalur administrasi, dan kebutuhan pelepasan obat. Dalam konteks keberlanjutan, polimer alami seperti kitosan dan alginat mungkin menjadi pilihan utama di masa depan, meskipun masih membutuhkan peningkatan dari sisi formulasi dan kestabilan produk (Lozano & Lobo, 2018).

Berdasarkan perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa tidak ada polimer tunggal yang ideal untuk semua aplikasi. Karbomer menawarkan kekuatan adhesi yang superior, tetapi sensitif terhadap pH. Kitosan sangat efektif pada lingkungan asam dan memiliki keuntungan sebagai *permeation enhancer*. HPMC dan Na-CMC memberikan pilihan yang stabil dan biokompatibel dengan daya adhesi moderat, sedangkan pektin menjanjikan untuk aplikasi alami. Pemilihan polimer harus disesuaikan dengan rute administrasi, kondisi lingkungan, dan tujuan terapeutik formulasi.

D. Kesimpulan

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat beragam kandidat eksipien polimer mukoadesif yang menjanjikan, baik dari kelas polimer alami maupun sintetik. Masing-masing polimer memiliki karakteristik fisikokimia dan mekanisme mukoadhesi yang unik, yang menentukan kinerjanya dalam formulasi obat. Tujuan awal penelitian ini, yaitu untuk mengidentifikasi dan membandingkan polimer-polimer tersebut, telah tercapai.

Karbomer menunjukkan kekuatan adhesi tertinggi melalui pembentukan ikatan hidrogen yang kuat, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan adhesi maksimum. Kitosan efektif dalam lingkungan asam melalui interaksi elektrostatik dan memiliki keunggulan tambahan sebagai *permeation enhancer*. Sementara itu, HPMC dan Na-CMC merupakan pilihan yang aman, biokompatibel, dan stabil dengan kemampuan mukoadhesi yang memadai. Pektin, sebagai polimer alami, menawarkan alternatif yang menarik dan biokompatibel.

Pemilihan eksipien polimer mukoadesif harus didasarkan pada pertimbangan kritis terhadap rute penghantaran obat yang dituju, kondisi fisiologis di lokasi target (seperti pH), dan sifat fisikokimia polimer itu sendiri. Studi ini memberikan landasan yang kokoh bagi peneliti untuk memilih polimer mukoadesif yang paling sesuai, sehingga memungkinkan pengembangan formulasi obat mukoadesif yang lebih efektif dan efisien di masa mendatang.

Ucapan Terimakasih

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. apt. Suwendar, M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Islam Bandung, serta kepada Ibu Dr. apt. Dina Mulyanti, M.Si., selaku Ketua Program Studi Farmasi FMIPA Unisba.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu apt. Hanifa Rahma., M.Si., dan Bapak apt. Patihul Husni, M.Si,Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah dengan penuh dedikasi membimbing penulis. Saran, arahan, serta ilmu yang diberikan sangat berharga dan memberikan kontribusi besar terhadap perkembangan dan keberhasilan penelitian ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang tak pernah putus. Ucapan terima kasih juga

disampaikan kepada teman-teman seperjuangan yang telah memberikan semangat, ide, serta bantuan selama proses penelitian ini berlangsung. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapat balasan terbaik dari Allah SWT dan membawa manfaat bagi kita semua.

Daftar Pustaka

- Aptika Oktaviana Trisna Dewi. (2025). UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN DAN PENETAPAN KADAR KAFEIN PADA SEDUHAN TEH HIJAU DENGAN VARIASI WAKTU SEDUH. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 8(1), 12–19. <https://doi.org/10.29313/jiff.v8i1.3962>
- Bhalerao, S. S., & Pimplaskar, H. H. (2020). Mucosal adhesive polymers: An overview. *International Journal of Pharmaceutics*, 1–12.
- Costa, D., & Ferreira, M. (2018). Mucoadhesive and bioadhesive polymers for drug delivery. *European Polymer Journal*, 110, 298–311.
- Duchene, D., & Ponchel, G. (2018). Mucoadhesive Polymeric Systems for Drug Delivery: A Review. *Journal of Controlled Release*, 276, 120–134.
- Gandana, M. V., Lestari, F., & Tri Laksono, B. (2025). The Immunostimulant Effect of Raspberry (*Rubus idaeus*) Fruit Ethanol Extract Through Carbon Clearance Index and Organ Index. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 8(1), 20–29. <https://doi.org/10.29313/jiff.v8i1.4820>
- Ghadiri, M., & Vaezi, M. (2020). A comprehensive review on the use of mucoadhesive polymers in oral drug delivery systems. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 151, 108–124.
- kaur, N., & Arora, S. (2019). Natural polymers in mucoadhesive drug delivery systems. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(4), 87–96.
- Kumari, R., & Yadav, S. K. (2017). Recent advances in mucoadhesive drug delivery systems: A review. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 39, 66–82.
- Lozano, P., & Lobo, S. (2018). Mucoadhesive polymers and their use in drug delivery systems: A review. *Drug Delivery and Translational Research*, 8(6), 1273–1291.
- Maher, S., & O'Donnell, M. (2021). Mucoadhesive polymers and their application in drug delivery: A review of recent literature. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 47(6), 912–920.
- Paatel, K. K., & Patel, R. M. (2020). Review on mucoadhesive drug delivery systems. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*.
- Patel, J. S., & Patel, K. R. (2020). Biodegradable mucoadhesive polymers for drug delivery: A comprehensive review. *Journal of Biomaterials Science*, 31(5), 497–521.
- Rajendran, M., & Mani, S. (2020). Recent advances in mucoadhesive drug delivery systems: A review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 175, 178–199.
- Rizky Hadyan, M. (n.d.). *Uji Aktivitas Sitotoksik Ekstrak Etanol Daun Sirsak (Annona Muricata L.) yang Tumbuh di Daerah Cianjur Menggunakan Metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)*. <https://journals.sangkuriangpublisher.com/pharmacomedic>
- Saha, R., & Phatak, P. (2018). Advances in mucoadhesive drug delivery systems: A comprehensive review. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 44(4), 502–514.

- Sannino, A., & Vicini, L. (2018). Mucoadhesive Polymers for Drug Delivery. *Biomaterials Science*, 6(11), 2891–2911.
- Sarkar, S., Mandal, M., & Sadhukhaan, S. (2019). Polymers in mucoadhesive drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 301, 1–15.
- Sharma, D., & Malshe, P. A. (2018). Development of biodegradable mucoadhesive systems for drug delivery. . *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 44(9), 1450–1460.
- Singh, R., & Haseeb, A. (2019). Mucoadhesive drug delivery systems: A comprehensive review. *Journal of Controlled Release*, 301, 136–158.
- Vigani, B., Rossi, S., Sandri, G., Bonferoni, M. C., & Caramella, C. M. (2023). *Mucoadhesive polymers in substance-based medical devices: functional ingredients or what else? Frontiers in Drug Safety and Regulation*.
- Zhang, X., Lu, X., & Zhang, H. (2021). evelopment and characterization of mucoadhesive drug delivery systems. . *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 28–39.