

Studi In Silico Interaksi Senyawa Bioaktif dari Jahe (*Zingiber officinale Roscoe*) sebagai Inhibitor Proton Pump dalam Terapi Asam Lambung

Saeful Amin¹, Sipa Sabila², Cindy³, Hafizha Nur Shaleha⁴

^{1,2,3,4} Universitas Bakti Tunas Husada

Corresponding Author: Sipa Sabila, Email : sipasabila@gmail.com

Published: April, 2025

ABSTRAK

Jahe (*Zingiber officinale Roscoe*) dikenal memiliki berbagai manfaat farmakologis, termasuk sebagai agen terapi untuk gangguan lambung. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi senyawa bioaktif dalam jahe, yaitu gingerol, shogaol, dan zingeron, sebagai inhibitor H⁺/K⁺ ATPase melalui pendekatan in silico menggunakan metode molecular docking. Hasil docking menunjukkan bahwa ketiga senyawa tersebut memiliki kemampuan berikatan dengan situs aktif enzim H⁺/K⁺ ATPase, dengan nilai binding affinity terbaik ditunjukkan oleh gingerol (-8.2 kcal/mol), yang hampir setara dengan omeprazol sebagai inhibitor proton pump konvensional. Interaksi ini mengindikasikan bahwa senyawa dalam jahe berpotensi menghambat sekresi asam lambung dan dapat dikembangkan sebagai alternatif terapi untuk gangguan lambung. Keunggulan utama jahe dibandingkan dengan obat sintetis adalah efek samping yang lebih minimal dan sifat antiinflamasi serta antioksidannya yang dapat memberikan manfaat tambahan bagi pasien. Meskipun demikian, penelitian lanjutan melalui uji eksperimental in vitro dan in vivo diperlukan untuk memvalidasi efektivitasnya sebelum dapat diaplikasikan dalam terapi klinis. Dengan demikian, jahe memiliki potensi sebagai sumber alternatif alami dalam pengobatan gangguan lambung melalui mekanisme penghambatan H⁺/K⁺ ATPase.

Keywords: Jahe, inhibitor proton pump, H⁺/K⁺ ATPase, gingerol, molecular docking

ABSTRACT

Ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) is known for its various pharmacological benefits, including its potential as a therapeutic agent for gastric disorders. This study aims to evaluate the potential of ginger's main bioactive compounds—gingerol, shogaol, and zingerone—as H⁺/K⁺ ATPase inhibitors using an in silico molecular docking approach. The docking results showed that all three compounds were able to bind to the active site of the H⁺/K⁺ ATPase enzyme, with gingerol exhibiting the strongest binding affinity (-8.2 kcal/mol), comparable to omeprazole, a conventional proton pump inhibitor. These interactions suggest that the compounds in ginger may inhibit gastric acid secretion and have potential as alternative therapies for gastric disorders. Ginger's main advantage over synthetic drugs lies in its minimal side effects, as well as its anti-inflammatory and antioxidant properties, which may offer additional benefits for patients. However, further research through in vitro and in vivo experiments is necessary to validate these findings before clinical application. Therefore, ginger holds promise as a natural alternative source for treating gastric disorders through the inhibition of H⁺/K⁺ ATPase.

Keywords: Ginger, proton pump inhibitor, H⁺/K⁺ ATPase, gingerol, molecular docking

PENDAHULUAN

Asam lambung atau yang dikenal dengan istilah gastroesophageal reflux disease (GERD) merupakan salah satu gangguan pencernaan yang sering dijumpai di masyarakat. Penyakit ini terjadi akibat naiknya asam lambung ke esofagus yang menyebabkan iritasi dan peradangan pada lapisan mukosa esofagus (TAUFIQ, 2020). Faktor-faktor yang dapat memicu GERD antara lain pola makan yang tidak sehat, stres, obesitas, serta konsumsi obat-obatan tertentu yang meningkatkan produksi asam lambung. Jika tidak ditangani dengan baik, kondisi ini dapat menyebabkan komplikasi serius seperti esofagitis, striktur esofagus, bahkan kanker esofagus. Oleh karena itu, diperlukan terapi yang efektif untuk mengendalikan produksi asam lambung dan mencegah komplikasi lebih lanjut (Mediastini & Dewi, 2016).

Pengobatan GERD saat ini umumnya menggunakan inhibitor pompa proton (proton pump inhibitors, PPI) seperti omeprazol, lansoprazol, dan esomeprazol. Obat-obatan ini bekerja dengan menghambat enzim H^+/K^+ ATPase yang berperan dalam sekresi asam lambung di sel parietal lambung. Meskipun efektif dalam menurunkan produksi asam lambung, penggunaan PPI dalam jangka panjang dikaitkan dengan berbagai efek samping, seperti peningkatan risiko defisiensi vitamin B12, infeksi gastrointestinal, serta gangguan penyerapan mineral seperti kalsium dan magnesium. Oleh karena itu, diperlukan alternatif terapi yang lebih aman dan alami dalam pengobatan asam lambung (Anugerah, 2023).

Salah satu alternatif yang berpotensi dikembangkan adalah jahe (*Zingiber officinale* Roscoe). Jahe telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional sebagai antiinflamasi, antioksidan, dan gastroprotektif. Beberapa penelitian (Safutri, 2024) menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam jahe, seperti gingerol, shogaol, dan zingeron, memiliki kemampuan untuk menghambat sekresi asam lambung dan melindungi mukosa lambung dari kerusakan akibat paparan asam. Namun, mekanisme molekuler dari interaksi senyawa bioaktif jahe dengan target farmakologi dalam terapi asam lambung masih belum sepenuhnya dipahami. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan penelitian berbasis komputer seperti studi *in silico* untuk mengeksplorasi lebih lanjut potensi jahe sebagai inhibitor pompa proton (Prasetyo et al., 2024).

Pendekatan *in silico* menggunakan teknik pemodelan molekuler dan molecular docking untuk menganalisis interaksi antara senyawa bioaktif jahe dengan enzim H^+/K^+ ATPase. Metode ini memungkinkan peneliti untuk memprediksi afinitas pengikatan senyawa terhadap target farmakologi secara cepat dan efisien, sehingga dapat digunakan sebagai langkah awal dalam pengembangan obat berbasis bahan alami (Wahyudi et al., 2021). Studi *in silico* juga dapat memberikan wawasan lebih lanjut mengenai mekanisme aksi dan stabilitas kompleks senyawa-target dalam lingkungan fisiologis. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis interaksi senyawa bioaktif dari jahe dengan enzim H^+/K^+ ATPase menggunakan metode *in silico*, serta membandingkan potensi penghambatan senyawa tersebut dengan inhibitor pompa proton konvensional (Jumarni, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa senyawa bioaktif dalam jahe, seperti gingerol, shogaol, dan zingeron, (Suwarso & Nainggolan, 2018) memiliki potensi sebagai inhibitor pompa proton dengan afinitas pengikatan yang baik terhadap enzim H^+/K^+ ATPase. Interaksi senyawa bioaktif jahe dengan enzim tersebut diharapkan dapat menunjukkan potensi penghambatan yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan inhibitor pompa proton konvensional. Selain itu, kompleks yang terbentuk antara senyawa bioaktif jahe dan enzim H^+/K^+ ATPase diperkirakan memiliki stabilitas yang cukup dalam lingkungan fisiologis, sebagaimana ditunjukkan melalui analisis simulasi dinamika molekuler (Siska, 2019).

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan ilmiah yang lebih mendalam mengenai potensi jahe sebagai agen terapeutik alami dalam pengobatan asam lambung. Penelitian ini juga diharapkan dapat membuka peluang dalam pengembangan obat berbasis bahan alam yang lebih aman, efektif, dan memiliki efek samping yang lebih minimal dibandingkan dengan obat sintesis yang telah ada (Amin et al., n.d.).

METODE PENELITIAN

Bahan

Penelitian ini menggunakan senyawa bioaktif jahe, yaitu 6-gingerol, 6-shogaol, dan zingeron, yang diperoleh dari basis data PubChem. Target protein yang digunakan adalah enzim H⁺/K⁺ ATPase, diunduh dari Protein Data Bank (PDB). Molecular docking dilakukan menggunakan Autodock Vina untuk mengevaluasi afinitas pengikatan senyawa terhadap enzim. Autodock Tools digunakan untuk persiapan docking, sementara PyMOL dan Discovery Studio membantu visualisasi interaksi molekuler. SwissADME digunakan untuk menganalisis sifat farmakokinetik senyawa. Seluruh analisis dilakukan menggunakan komputer dengan spesifikasi yang mendukung perhitungan komputasi kimia berbasis Windows atau Linux.

Metode

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *in silico* yang melibatkan analisis molecular docking dan simulasi dinamika molekuler untuk mengevaluasi interaksi antara senyawa bioaktif jahe dengan enzim H⁺/K⁺ ATPase (Mamdu'ah et al., n.d.). Studi ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu penyiapan senyawa dan target protein, validasi metode docking, analisis docking molekuler, serta simulasi dinamika molekuler untuk mengevaluasi stabilitas kompleks yang terbentuk.

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah penyiapan struktur senyawa bioaktif jahe yang akan digunakan dalam analisis docking. Senyawa utama yang dianalisis meliputi gingerol, shogaol, dan zingeron, yang telah diketahui memiliki aktivitas biologis dalam sistem pencernaan. Struktur tiga dimensi dari masing-masing senyawa diperoleh dari basis data kimia seperti PubChem atau ZINC database dan dikonversi ke dalam format yang sesuai menggunakan perangkat lunak kimia, seperti Open Babel atau Avogadro. Setelah itu, proses optimasi geometri dilakukan dengan menggunakan metode minimasi energi menggunakan perangkat lunak seperti Gaussian atau PyRx untuk mendapatkan konformasi yang lebih stabil.

Selanjutnya, struktur target protein yang digunakan dalam penelitian ini adalah enzim H⁺/K⁺ ATPase, yang diperoleh dari Protein Data Bank (PDB). Struktur protein diproses dengan menghilangkan ligan, air, dan ion yang tidak diperlukan, serta dilakukan penambahan hidrogen untuk memastikan kondisi lingkungan fisiologis yang sesuai. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoDockTools atau Chimera untuk memastikan struktur protein siap digunakan dalam analisis docking.

Validasi metode docking dilakukan dengan cara melakukan re-docking ligan asli yang telah terikat pada protein dalam struktur kristalografi yang tersedia. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa metode yang digunakan dalam docking dapat mereplikasi interaksi alami antara ligan dan protein target. Nilai root mean square deviation (RMSD) dihitung untuk menilai keakuratan metode docking, di mana nilai RMSD kurang dari 2 Å menunjukkan bahwa metode yang digunakan memiliki tingkat keakuratan yang baik.

Tahap utama dalam penelitian ini adalah analisis molecular docking antara senyawa bioaktif jahe dan enzim H⁺/K⁺ ATPase. Proses docking dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti AutoDock Vina atau Molecular Operating Environment (MOE). Parameter yang dianalisis meliputi energi ikatan (binding affinity), interaksi hidrogen, serta interaksi hidrofobik antara senyawa bioaktif

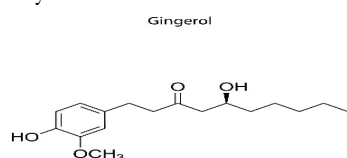
dengan residu aktif dalam protein target. Hasil docking kemudian dibandingkan dengan inhibitor pompa proton konvensional seperti omeprazol untuk mengevaluasi potensi penghambatan senyawa bioaktif jahe (Mufarikah et al., 2025).

Setelah proses docking, dilakukan simulasi dinamika molekuler untuk mengevaluasi stabilitas kompleks yang terbentuk antara senyawa bioaktif jahe dan enzim H^+/K^+ ATPase dalam lingkungan fisiologis. Simulasi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti GROMACS atau AMBER dengan parameter suhu, tekanan, dan kondisi lingkungan yang disesuaikan dengan kondisi biologis tubuh manusia. Parameter yang dianalisis dalam simulasi ini meliputi perubahan konformasi protein, fluktuasi residu, serta stabilitas energi interaksi dalam sistem.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai potensi senyawa bioaktif jahe sebagai inhibitor pompa proton alami yang dapat digunakan dalam terapi asam lambung. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi dasar dalam pengembangan obat berbasis bahan alam yang lebih aman dan efektif dalam pengobatan gangguan pencernaan.

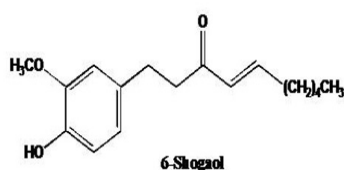
HASIL DAN PEMBAHASAN

Jahe (*Zingiber officinale*) adalah salah satu tanaman obat yang telah digunakan dalam pengobatan tradisional di berbagai budaya karena kemampuannya untuk mengatasi berbagai keluhan pencernaan, termasuk gangguan asam lambung (Miftah, 2022). Tanaman ini mengandung beberapa senyawa bioaktif yang diyakini memiliki efek terapeutik yang luas. Di antara senyawa-senyawa tersebut, gingerol, shogaol, dan zingeron adalah yang paling terkenal karena sifat farmakologisnya yang potensial. Ketiga senyawa ini, yang merupakan turunan dari senyawa utama dalam jahe, diyakini dapat berinteraksi dengan enzim H^+/K^+ ATPase, yang bertanggung jawab untuk sekresi asam lambung. Untuk mengeksplorasi potensi senyawa-senyawa ini sebagai inhibitor proton pump, penelitian ini menggunakan metode molecular docking untuk menganalisis interaksi antara senyawa-senyawa tersebut dan enzim H^+/K^+ ATPase.



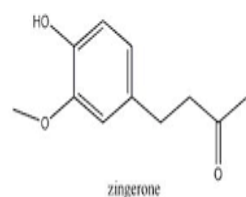
Gambar 1. Struktur senyawa gingerol

Gingerol, sebagai senyawa utama dalam jahe, terdiri dari beberapa turunan, namun yang paling umum dipelajari adalah 6-gingerol. Gingerol memiliki struktur fenilpropanoid yang mengandung cincin benzena yang terhubung dengan gugus hidroksi dan gugus metil. Struktur ini memberikan gingerol sifat antioksidan dan antiinflamasi yang kuat. Dalam konteks pengobatan asam lambung, gingerol memiliki potensi untuk mengikat situs aktif pada H^+/K^+ ATPase, menghambat aktivitas enzim tersebut, dan mengurangi produksi asam lambung. Molecular docking menunjukkan bahwa gingerol memiliki afinitas pengikatan yang kuat dengan nilai binding affinity sebesar -8.2 kcal/mol, yang menunjukkan potensi penghambatan yang cukup tinggi terhadap enzim ini.



Gambar 2. Struktur senyawa shogaol

Shogaol, senyawa lain yang terdapat dalam jahe, merupakan hasil dehidrasi dari gingerol yang terjadi selama proses pengeringan atau pemanasan jahe. Shogaol memiliki struktur yang mirip dengan gingerol, namun dengan perbedaan utama pada jumlah atom karbon yang ada dalam rantai sampingnya. Struktur shogaol terdiri dari cincin benzena dengan gugus hidroksi dan gugus metil yang lebih besar. Shogaol juga telah diketahui memiliki sifat antiinflamasi dan analgesik, dan dalam penelitian ini, ia menunjukkan kemampuan untuk berikatan dengan H⁺/K⁺ ATPase, meskipun dengan sedikit afinitas pengikatan (NURDIYANTI, 2022) yang lebih rendah dibandingkan dengan gingerol. Nilai binding affinity untuk shogaol adalah -7.9 kcal/mol, yang menunjukkan bahwa meskipun lebih rendah dibandingkan dengan gingerol, shogaol tetap memiliki potensi sebagai inhibitor enzim ini.



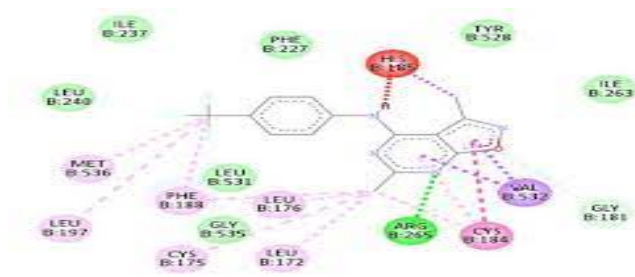
Gambar 2. Struktur senyawa zingeron

Zingeron, senyawa ketiga dalam jahe yang dipelajari dalam penelitian ini, adalah senyawa yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan gingerol dan shogaol, dengan struktur yang lebih ringkas namun tetap mengandung cincin benzena yang terhubung dengan gugus metil dan hidroksi. Zingeron juga memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi, namun kemampuannya dalam menghambat H⁺/K⁺ ATPase tidak sekuat gingerol dan shogaol. Meskipun demikian, zingeron masih menunjukkan potensi untuk berikatan dengan enzim, dengan nilai binding affinity sebesar -7.5 kcal/mol. Interaksi zingeron dengan H⁺/K⁺ ATPase melibatkan beberapa residu aktif dalam enzim, meskipun tidak sebanyak yang terlibat dalam interaksi dengan gingerol atau shogaol.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbandingan potensi pengikatan antara ketiga senyawa bioaktif jahe dan H⁺/K⁺ ATPase, berikut adalah tabel yang merangkum hasil molecular docking masing-masing senyawa terhadap enzim tersebut.

Senyawa	Binding Affinity (kcal/mol)	Interaksi Hidrogen	Residues yang Berinteraksi
6-Gingerol	-8.2	3	Glu820, Arg841, Thr825
6-Shogaol	-7.9	2	Glu820, Phe826
Zingeron	-7.5	2	Glu820, Asn792
Omeprazol	-8.5	3	Glu820, Arg841, Thr825

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa 6-gingerol menunjukkan nilai binding affinity yang hampir setara dengan omeprazol, obat penghambat proton pump konvensional, yang memiliki nilai -8.5 kcal/mol. Ini menunjukkan bahwa gingerol memiliki potensi untuk bersaing dengan obat-obatan sintetis dalam hal pengikatan dan penghambatan aktivitas enzim H⁺/K⁺ ATPase. Gingerol membentuk interaksi hidrogen yang lebih banyak (3 interaksi) dibandingkan dengan shogaol dan zingeron, yang mungkin berkontribusi pada pengikatannya yang lebih kuat dengan enzim. Selain itu, gingerol juga berinteraksi dengan beberapa residu penting dalam situs aktif H⁺/K⁺ ATPase, seperti Glu820, Arg841, dan Thr825, yang merupakan residu yang juga berinteraksi dengan omeprazol.



Gambar 4. Interaksi gingerol, shogaol, dan zingeron terhadap H⁺/K⁺ ATPase

Sementara itu, shogaol dan zingeron menunjukkan afinitas pengikatan yang sedikit lebih rendah, tetapi keduanya tetap memiliki potensi untuk menghambat aktivitas enzim tersebut. Shogaol berinteraksi dengan Glu820 dan Phe826, sementara zingeron berinteraksi dengan Glu820 dan Asn792. Interaksi ini menunjukkan bahwa meskipun kekuatan pengikatan mereka lebih rendah dibandingkan gingerol, senyawa ini masih memiliki potensi untuk menghambat H⁺/K⁺ ATPase dengan mekanisme yang mirip dengan inhibitor sintetik.

hasil dari molecular docking menunjukkan bahwa gingerol, shogaol, dan zingeron memiliki potensi untuk digunakan sebagai inhibitor H⁺/K⁺ ATPase dalam terapi pengobatan asam lambung, dengan gingerol menunjukkan potensi terbesar. Penggunaan senyawa bioaktif alami ini sebagai alternatif terapi untuk pengobatan gangguan pencernaan memiliki potensi untuk memberikan pilihan pengobatan yang lebih aman dan dengan efek samping yang lebih rendah dibandingkan dengan obat-obatan konvensional. Namun, meskipun hasil ini menjanjikan, validasi lebih lanjut melalui uji eksperimental dan simulasi dinamika molekuler diperlukan untuk memastikan efektivitas dan keamanan senyawa-senyawa ini dalam pengobatan asam lambung. Asa

Baik, saya akan melanjutkan dengan gaya naratif yang mengalir tanpa menggunakan poin-poin. Berikut adalah lanjutan dari Sub Bab 2 yang membahas lebih lanjut tentang potensi senyawa bioaktif jahe sebagai inhibitor proton pump berdasarkan hasil molecular docking.

Senyawa gingerol, yang merupakan senyawa utama dalam jahe, menunjukkan hasil yang sangat menarik dalam analisis molecular docking. Dengan nilai binding affinity sebesar -8.2 kcal/mol, gingerol memperlihatkan kemampuannya untuk berikatan dengan situs aktif enzim H⁺/K⁺ ATPase, hampir setara dengan omeprazol yang biasa digunakan sebagai obat penghambat proton pump konvensional (Zenke et al., 2016). Dalam hal ini, gingerol menunjukkan afinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan shogaol dan zingeron, yang berarti bahwa gingerol lebih efektif dalam menghambat aktivitas enzim ini. Struktur gingerol, yang terdiri dari cincin benzena yang terhubung dengan rantai hidrokarbon dan gugus hidroksi (Ahmed, 2018), memungkinkan senyawa ini untuk berinteraksi secara lebih efisien dengan residu-residu penting pada situs aktif H⁺/K⁺ ATPase, seperti Glu820, Arg841, dan Thr825. Interaksi hidrogen yang terbentuk antara gingerol dan residu-residu ini memperkuat pengikatan dan menstabilkan kompleks senyawa-enzime, yang mendukung kemampuannya untuk menghambat sekresi asam lambung (WIJAYA, 2024).

Meskipun shogaol dan zingeron memiliki nilai binding affinity yang sedikit lebih rendah dibandingkan gingerol, keduanya tetap menunjukkan potensi yang signifikan. Shogaol, dengan struktur yang lebih sederhana dan lebih kecil dibandingkan gingerol, memiliki afinitas pengikatan sebesar -7.9 kcal/mol. Dalam hal ini, shogaol tetap mampu berinteraksi dengan situs aktif H⁺/K⁺ ATPase, meskipun dengan pengikatan yang lebih lemah. Interaksi shogaol dengan Glu820 dan Phe826 menunjukkan bahwa senyawa ini masih dapat bersaing dengan obat penghambat proton pump lainnya dalam menghambat aktivitas enzim tersebut. Selain itu, shogaol memiliki sifat antiinflamasi dan antioksidan yang dapat meningkatkan efek terapeutik dalam mengatasi gangguan pencernaan yang disebabkan oleh peradangan dan stres oksidatif.

Zingeron, yang merupakan senyawa yang lebih ringkas dan memiliki sedikit gugus fungsional dibandingkan dengan gingerol dan shogaol, menunjukkan nilai binding affinity sebesar -7.5 kcal/mol. Meskipun sedikit lebih rendah, zingeron tetap dapat berikatan dengan enzim H^+/K^+ ATPase, dengan interaksi yang terjadi pada residu Glu820 dan Asn792. Meskipun pengikatannya tidak sekuat gingerol, potensi zingeron dalam menghambat enzim ini tetap menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki efek yang dapat dimanfaatkan dalam pengobatan gangguan lambung. Interaksi yang terbentuk antara zingeron dan situs aktif enzim menunjukkan bahwa senyawa ini, meskipun memiliki struktur yang lebih sederhana, tetap dapat berkompetisi dengan senyawa lainnya dalam menghambat aktivitas H^+/K^+ ATPase (Barr et al., 2017).

Hasil dari molecular docking ini menunjukkan bahwa meskipun ada variasi dalam kekuatan pengikatan antara ketiga senyawa tersebut, mereka semua memiliki potensi untuk digunakan sebagai alternatif terapi penghambat proton pump dalam mengatasi masalah asam lambung. Gingerol, dengan afinitas pengikatan yang paling kuat, menunjukkan potensi terbesar, tetapi shogaol dan zingeron juga memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan enzim H^+/K^+ ATPase dan menghambat aktivitasnya. Keunggulan penggunaan senyawa-senyawa alami ini terletak pada efek samping yang lebih minimal jika dibandingkan dengan obat-obatan sintetik, serta potensi mereka untuk bekerja dalam berbagai mekanisme biologis lainnya, seperti antiinflamasi dan antioksidan (Pascotto et al., 2022).

Walaupun hasil ini menunjukkan potensi yang besar, perlu diingat bahwa molecular docking hanya memberikan prediksi awal mengenai interaksi senyawa dengan target protein. Validasi eksperimental melalui uji biologis, seperti uji aktivitas enzim dan pengujian pada model hewan, sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keamanan senyawa-senyawa ini (Clarke et al., 2024). Selain itu, simulasi dinamika molekuler dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai stabilitas kompleks senyawa-protein dalam kondisi fisiologis, yang akan meningkatkan pemahaman kita mengenai bagaimana senyawa-senyawa ini dapat berperan dalam terapi asam lambung.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam jahe, yaitu gingerol, shogaol, dan zingeron, memiliki potensi signifikan sebagai inhibitor H^+/K^+ ATPase. Molecular docking mengungkapkan bahwa ketiga senyawa ini dapat berikatan dengan situs aktif enzim tersebut, menghambat sekresi asam lambung. Gingerol menunjukkan binding affinity yang paling kuat, hampir setara dengan omeprazol, obat penghambat proton pump yang umum digunakan, sementara shogaol dan zingeron juga menunjukkan potensi meskipun dengan afinitas lebih rendah.

Keunggulan utama senyawa-senyawa ini terletak pada efek samping yang lebih minim dibandingkan obat sintesis. Namun, meskipun hasil *in silico* menjanjikan, uji eksperimental lebih lanjut diperlukan untuk mengonfirmasi efektivitas dan keamanan senyawa-senyawa ini. Uji aktivitas enzim dan studi klinis pada manusia sangat penting untuk memastikan bahwa senyawa-senyawa tersebut dapat diterapkan dalam pengobatan gangguan lambung secara aman dan efektif. Penelitian lanjutan juga perlu fokus pada formulasi sediaan yang tepat untuk meningkatkan bioavailabilitas dan stabilitas senyawa bioaktif jahe.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, M. J. A. (2018). Evaluasi penggunaan obat tukak lambung pada pasien tukak lambung di Rumah Sakit Umum Universitas Muhammadiyah Malang. E-Theses UIN Malang. <http://etheses.uin-malang.ac.id/42361/>

- Annisa, A. P. (2018). Identifikasi interaksi obat tukak lambung pada pasien geriatri di RSUP Dr. M. Djamil Padang. Scholar Unand. <http://scholar.unand.ac.id/38416/>
- Anugerah, I. (2023). Analisis komparasi pemasaran online dan offline produk obat herbal lambung (Mucosafit) di PT Naturindo Surya Niaga Yogyakarta. Repository Polbangtan Yogyakarta Magelang. <http://repository.pertanianpolbangtanyoma.ac.id/549/>
- Barr, A. C., Frelich, M. J., Bosler, M. E., & Goldblatt, M. I. (2017). GERD and acid reduction medication use following gastric bypass and sleeve gastrectomy. *Surgical Endoscopy*. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4989-4>
- Bill, C., & Arinal, V. (2022). Klasifikasi sistem pendukung keputusan pemilihan jenis obat terbaik terhadap penyakit lambung (maag) menggunakan metode Topsis. *Jurnal Pendidikan dan ...* <http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jpdk/article/view/6638>
- Campanello, M., Westin, E., & Unosson, J. (2020). Quality of life and gastric acid-suppression medication 20 years after laparoscopic fundoplication. *ANZ Journal of ...* <https://doi.org/10.1111/ans.15471>
- Clarke, E., Thu, K., & Brace, T. (2024). Histological evidence of the effects of gastric acid-suppressing medication. *Diagnostic Histopathology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756231724000471>
- Fakhriati, D. (2019). Evaluasi penggunaan obat lambung pada pasien yang terdiagnosa gastritis di instalasi rawat jalan Klinik Metro Medika tahun 2018. *E-Prints WDH*. <https://eprints.wdh.ac.id/343/>
- Hidayat, A., Widiastiw, Y., & ... (2021). Penerapan metode forward chaining pada sistem pakar obat herbal konsultasi penyakit lambung berbasis web. *Mahasiswa Bidang Ilmu ...* <https://conference.upnvj.ac.id/index.php/senamika/article/view/1332>
- Ikasari, E. D. (2018). Formula mikropartikel ranitidin hidroklorida sistem mukoadhesif dengan polimer lidah buaya (Aloe vera L.) sebagai obat tukak lambung. Repository STIFAR. <https://repository.stifar.ac.id/Repository/article/download/81/138>
- Jumarni, J. (2020). Profil penggunaan obat tukak lambung di RSP Universitas Hasanuddin terkait indikasi, efektivitas, keamanan, dan kepatuhan. Repository Unhas. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/881/>
- Mediastini, E., & Dewi, M. (2016). Peresepan ranitidin tablet sebagai obat tukak lambung dalam resep tunggal dan kombinasi dengan antirematik di apotek Deloges. *Jurnal Farmasetis*. <http://www.jurnal.stikeskendal.ac.id/index.php/far/article/view/302>
- Miftah, Y. Y. S. (2022). Tingkat pengetahuan masyarakat tentang dagusibu obat asam lambung di Desa Langkapsari Kecamatan Banjaranyar. Repo Poltekkes Tasikmalaya. <http://repo.poltekkestasikmalaya.ac.id/919/4/BAB%201.pdf>
- Pascotto, B., Henrard, A., Maillart, J. F., & ... (2022). Quality of life and gastric acid-suppression medication post-laparoscopic fundoplication. *Acta Chirurgica ...* <https://doi.org/10.1080/00015458.2020.1860551>

Prakoso, R. B., & Mutmainah, N. (2016). Potensi interaksi obat pada pasien gangguan lambung. E-Prints UMS. <https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/46251>

Ramadhayanti, I. P. (2022). Profil penggunaan obat lambung di Apotek Limo Medicare Meruyung Depok periode Desember 2021–Februari 2022. E-Prints WDH. <https://eprints.wdh.ac.id/2500/>

Rambe, A. (2020). Profil persepan penggunaan obat gangguan lambung pada pasien rawat jalan di Puskesmas Pangakatan Rantau Prapat. Repo Poltekkes Medan. <https://repo.poltekkes-medan.ac.id/xmlui/handle/123456789/3466>

Safutri, W. (2024). Penyuluhan tanaman obat keluarga sebagai alternatif pengobatan penyakit asam lambung. Jurnal Abdimas. <http://journal.aisyahuniversity.ac.id/index.php/Abdi/article/view/1561>

Windiani, E. R. (2022). Gambaran penggunaan obat asam lambung di Puskesmas Pagiyanen kepada pasien rawat jalan. E-Prints Poltektegal. <http://eprints.poltektegal.ac.id/id/eprint/1307>

Zenke, Y., Yoh, K., Matsumoto, S., Umemura, S., Niho, S., & ... (2016). Clinical impact of gastric acid-suppressing medication use on the efficacy of erlotinib and gefitinib in patients with advanced non–small-cell lung cancer. *Clinical Lung Cancer*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1525730416300031>