

Profil Fitokimia dan Aktivitas Penghambatan α -Glukosidase Ekstrak *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba* dari Kabupaten Berau, Kalimantan Timur

Cindy Varhana Siauw, Nurfadilah, Dewi Embong Bulan*

Departemen Pengelolaan Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Mulawarman

Jl. Gunung Tabur No. 1, Samarinda, Kalimantan TImur 75123 Indonesia

Email: dewi.embong@fpik.unmul.ac.id

Abstract

Phytochemical Profile and α -Glucosidase Inhibitory Activity of *Acanthus ilicifolius* and *Sonneratia alba* Extracts from Berau, East Kalimantan

Mangroves are coastal bioresources that produce diverse secondary metabolites with potential biological activities. This study selected *Acanthus ilicifolius* and *Sonneratia alba* because both species are locally available in the Berau mangrove ecosystem and have been reported to contain metabolite groups associated with enzyme-inhibitory activity. This study aimed to identify the phytochemical profiles and evaluate the α -glucosidase inhibitory activity of leaf and stem extracts of *A. ilicifolius* and leaf extracts of *S. alba* collected from Tabalar Muara Village, Berau Regency, East Kalimantan. Samples were sequentially extracted by maceration using n-hexane, ethyl acetate, and methanol. We performed qualitative phytochemical screening on all extracts. Based on this preliminary screening, we selected the methanol extracts for the in vitro α -glucosidase inhibition assay because they contained the widest range of detected metabolite classes, including alkaloids, saponins, phenols, and flavonoids. We conducted the inhibition assay in triplicate and expressed the data as mean $\pm$ standard deviation. Phytochemical screening showed that metabolite profiles varied by solvent and plant sample. Methanol extracts consistently contained alkaloids, saponins, phenols, and flavonoids. Among the tested methanol extracts, *S. alba* leaf extract showed the lowest IC_{50} value, followed by *A. ilicifolius* stem and leaf extracts. The IC_{50} values were $64,3 \pm 0,4$ ppm for *S. alba* leaf extract, $267,2 \pm 1,8$ ppm for *A. ilicifolius* stem extract, and $2641,8 \pm 25,8$ ppm for *A. ilicifolius* leaf extract. However, their activities remained lower than that of acarbose as the positive control. These findings indicate that *S. alba* leaves may be an initial candidate for further investigation as a source of mangrove-derived α -glucosidase inhibitors, although compound identification and more comprehensive bioactivity validation are still required.

Keywords: *Acanthus ilicifolius*, α -glucosidase, bioprospecting, mangrove, *Sonneratia alba*

Abstrak

Mangrove merupakan sumber daya hayati pesisir yang menghasilkan berbagai metabolit sekunder dengan potensi aktivitas biologis. *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba* dipilih dalam penelitian ini karena keduanya ditemukan di ekosistem mangrove Berau dan telah dilaporkan mengandung kelompok metabolit yang berkaitan dengan aktivitas penghambatan enzim. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi profil fitokimia dan mengevaluasi aktivitas penghambatan α -glukosidase dari ekstrak daun dan batang *A. ilicifolius* serta ekstrak daun *S. alba* yang dikoleksi dari Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Sampel diekstraksi secara bertingkat menggunakan n-heksana, etil asetat, dan metanol melalui metode maserasi. Skrining fitokimia dilakukan secara kualitatif pada seluruh ekstrak. Berdasarkan skrining awal tersebut, ekstrak metanol dipilih untuk uji penghambatan α -glukosidase secara in vitro karena mengandung rentang golongan metabolit terdeteksi yang paling luas, termasuk alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid. Uji penghambatan dilakukan dalam tiga ulangan, dan data disajikan sebagai rerata $\pm$ standar deviasi. Hasil skrining fitokimia menunjukkan bahwa profil metabolit bervariasi antar pelarut dan sampel tumbuhan. Ekstrak metanol secara konsisten mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid. Di antara ekstrak metanol yang diuji, ekstrak daun *S. alba* menunjukkan nilai IC_{50} terendah, diikuti oleh ekstrak batang dan daun *A. ilicifolius*. Nilai IC_{50} masing-masing adalah $64,3 \pm 0,4$ ppm untuk ekstrak daun *S. alba*, $267,2 \pm 1,8$ ppm untuk ekstrak batang *A. ilicifolius*, dan $2641,8 \pm 25,8$ ppm untuk ekstrak daun *A. ilicifolius*. Namun, aktivitas ketiga ekstrak masih lebih rendah dibandingkan akarbosa sebagai kontrol positif. Hasil ini menunjukkan bahwa daun *S. alba* dapat menjadi kandidat awal untuk kajian lanjutan penghambat α -glukosidase dari mangrove, tetapi identifikasi senyawa aktif dan validasi bioaktivitas yang lebih komprehensif masih diperlukan.

Kata kunci: *Acanthus ilicifolius*, α -glukosidase, bioprospeksi, mangrove, *Sonneratia alba*

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir tropis yang memiliki peran penting secara ekologis, biologis, dan ekonomi. Secara ekologis, mangrove berfungsi sebagai pelindung

alami kawasan pesisir melalui sistem perakaran yang mampu meredam energi gelombang, mengurangi abrasi, serta menahan dampak gelombang badai dan intrusi air laut (Dabalà *et al.*, 2023). Ekosistem ini juga menyediakan habitat, daerah pemijahan, dan daerah asuhan bagi berbagai organisme akuatik, termasuk ikan dan kerang-kerangan, sehingga berperan penting dalam mendukung keanekaragaman hayati serta produktivitas perairan pesisir (Chittipedhi & Sudarsanan, 2025). Selain itu, mangrove merupakan ekosistem karbon biru yang efektif menyimpan karbon pada biomassa dan sedimen, sehingga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim (Alongi, 2014; Song *et al.*, 2023). Di samping fungsi ekologis tersebut, mangrove juga memiliki potensi sebagai sumber daya hayati pesisir yang bernilai dalam pengembangan bioteknologi kelautan (Sadeer *et al.*, 2023). Kondisi lingkungan mangrove yang khas mendorong tumbuhan mangrove menghasilkan berbagai metabolit sekunder, seperti flavonoid, alkaloid, dan terpenoid, yang dilaporkan memiliki aktivitas bioaktif, termasuk antimikroba, antioksidan, dan antiinflamasi (Hadassa *et al.*, 2025).

Bioprospeksi tumbuhan mangrove menjadi salah satu pendekatan penting dalam pemanfaatan berkelanjutan sumber daya hayati pesisir. Kajian ini tidak hanya berfokus pada keberadaan spesies, tetapi juga pada eksplorasi kandungan metabolit sekunder dan potensi bioaktivitasnya. Senyawa bioaktif dari mangrove telah banyak dikaitkan dengan berbagai aktivitas biologis, seperti antioksidan, antibakteri, antiinflamasi, dan penghambatan enzim tertentu (Dahibhate *et al.*, 2019). Oleh karena itu, eksplorasi fitokimia dan bioaktivitas tumbuhan mangrove dapat menjadi dasar dalam pengembangan sumber bioaktif alami dari ekosistem pesisir tropis. Dalam konteks bioteknologi kelautan, kajian semacam ini penting untuk memperluas pemanfaatan mangrove secara ilmiah tanpa mengabaikan prinsip konservasi dan keberlanjutan.

Acanthus ilicifolius dan *Sonneratia alba* merupakan spesies mangrove yang umum dijumpai di kawasan pesisir tropis. *A. ilicifolius* dikenal sebagai mangrove asosiasi yang banyak tumbuh pada kawasan berlumpur dan zona intertidal, sedangkan *S. alba* merupakan mangrove sejati yang dapat hidup pada kawasan pesisir yang dipengaruhi pasang surut (Feng *et al.*, 2020). Kedua spesies tersebut telah dilaporkan mengandung metabolit sekunder yang beragam, termasuk fenolik, flavonoid, alkaloid, tanin, saponin, dan terpenoid (Dotulong *et al.*, 2021). Namun, keberadaan golongan metabolit pada suatu spesies tidak selalu mencerminkan profil kimia ekstrak dari lokasi, organ tumbuhan, dan pelarut yang berbeda. Jenis metabolit yang terekstraksi dapat dipengaruhi oleh bagian tumbuhan, kondisi habitat, asal geografis sampel, serta polaritas pelarut, sehingga karakterisasi fitokimia terhadap ekstrak yang digunakan dalam uji bioaktivitas tetap diperlukan (Wu *et al.*, 2023).

Secara etnobotani, masyarakat Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, mengenal pemanfaatan daun *A. ilicifolius* sebagai bahan rebusan tradisional yang dipercaya membantu menjaga kadar gula darah. Informasi lokal ini menjadi salah satu dasar pemilihan *A. ilicifolius* dalam penelitian, tetapi tidak dimaksudkan sebagai klaim terapeutik. Beberapa penelitian sebelumnya juga melaporkan bahwa *A. ilicifolius* memiliki aktivitas yang berkaitan dengan parameter diabetes, termasuk melalui seduhan daun, ekstrak daun, maupun penghambatan enzim pencernaan karbohidrat (Matos *et al.*, 2022; Tran *et al.*, 2024; Zohora *et al.*, 2023). Namun, bukti tersebut masih terbatas pada kajian preklinik sehingga belum dapat dijadikan dasar klaim terapeutik pada manusia.

Selain *A. ilicifolius*, *S. alba* juga memiliki relevansi kuat dalam kajian bioaktivitas mangrove. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa ekstrak metanol daun *S. alba* mengandung orientin, vitexin, luteolin, oleanolic acid, dan reserpine. Senyawa-senyawa tersebut diprediksi memiliki afinitas terhadap enzim α -glukosidase berdasarkan analisis penambatan molekuler, dengan energi ikatan yang lebih rendah dibandingkan akarbosa sebagai kontrol positif pada beberapa senyawa uji (Puspitasari *et al.*, 2022). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat daun *S. alba* mengandung flavonoid luteolin, apigenin, dan diosmetin yang berpotensi sebagai inhibitor α -glukosidase melalui pendekatan *in silico* (Puspitasari *et al.*, 2023). Temuan tersebut memberikan

dasar awal mengenai kemungkinan keterlibatan senyawa daun *S. alba* dalam penghambatan α -glukosidase. Akan tetapi, informasi tersebut masih berbasis prediksi molekuler dan belum menyajikan data IC_{50} in vitro dari ekstrak kasar daun *S. alba*.

Kajian terhadap *A. ilicifolius* dan *S. alba* telah menunjukkan keberadaan berbagai metabolit sekunder serta aktivitas biologis yang relevan dengan penghambatan α -glukosidase. Namun, sebagian besar informasi tersebut masih berasal dari pendekatan, bagian tumbuhan, dan jenis ekstrak yang berbeda. Pada *A. ilicifolius*, aktivitas terkait parameter diabetes telah dilaporkan melalui seduhan daun, ekstrak daun, maupun ekstrak bagian atas tumbuhan (Matos *et al.*, 2022; Tran *et al.*, 2024; Zohora *et al.*, 2023), tetapi informasi yang membedakan karakter ekstrak daun dan batang masih terbatas. Pada *S. alba*, beberapa senyawa daun telah dilaporkan sebagai kandidat inhibitor α -glukosidase melalui pendekatan *in silico* (Puspitasari *et al.*, 2022; Puspitasari *et al.*, 2023), sehingga pengujian in vitro pada ekstrak kasar masih diperlukan untuk memberikan bukti aktivitas yang lebih langsung. Karena profil metabolit ekstrak juga dipengaruhi oleh bagian tumbuhan, asal sampel, dan polaritas pelarut (Wu *et al.*, 2023), skrining fitokimia dalam penelitian ini digunakan sebagai karakterisasi awal terhadap ekstrak yang diuji, bukan sebagai pengulangan sederhana terhadap laporan metabolit yang telah ada.

Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, merupakan salah satu kawasan pesisir yang memiliki potensi sumber daya mangrove dan nilai ekologis penting. Kawasan ini juga menjadi bagian dari inisiatif restorasi mangrove berbasis masyarakat melalui program Shrimp Carbon Aquaculture (SECURE) yang dikembangkan oleh Yayasan Konservasi Alam Nusantara (YKAN) bersama mitra (YKAN, 2025). Meskipun demikian, informasi mengenai kandungan metabolit sekunder dan aktivitas bioaktif tumbuhan mangrove dari kawasan ini masih terbatas. Sementara, karakteristik lingkungan lokal seperti salinitas, substrat, intensitas cahaya, dan dinamika pasang surut dapat memengaruhi biosintesis metabolit sekunder pada tumbuhan mangrove (Jan *et al.*, 2021). Oleh karena itu, kajian terhadap spesies mangrove dari lokasi spesifik penting dilakukan untuk memperkaya data bioprospeksi mangrove Indonesia, khususnya dari kawasan pesisir Kalimantan Timur. Selain itu, kajian ini juga dapat menyediakan dasar informasi ilmiah bagi masyarakat lokal dan pemangku kepentingan dalam mengenali potensi mangrove sebagai sumber daya hayati bernilai bioaktif, sehingga pemanfaatannya dapat diarahkan secara lebih berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi golongan metabolit sekunder serta mengevaluasi aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase dari ekstrak daun dan batang *A. ilicifolius* serta ekstrak daun *S. alba* asal Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai potensi tumbuhan mangrove pesisir Berau sebagai sumber metabolit sekunder bioaktif dan mendukung pengembangan kajian bioprospeksi dalam bidang bioteknologi kelautan.

MATERI DAN METODE

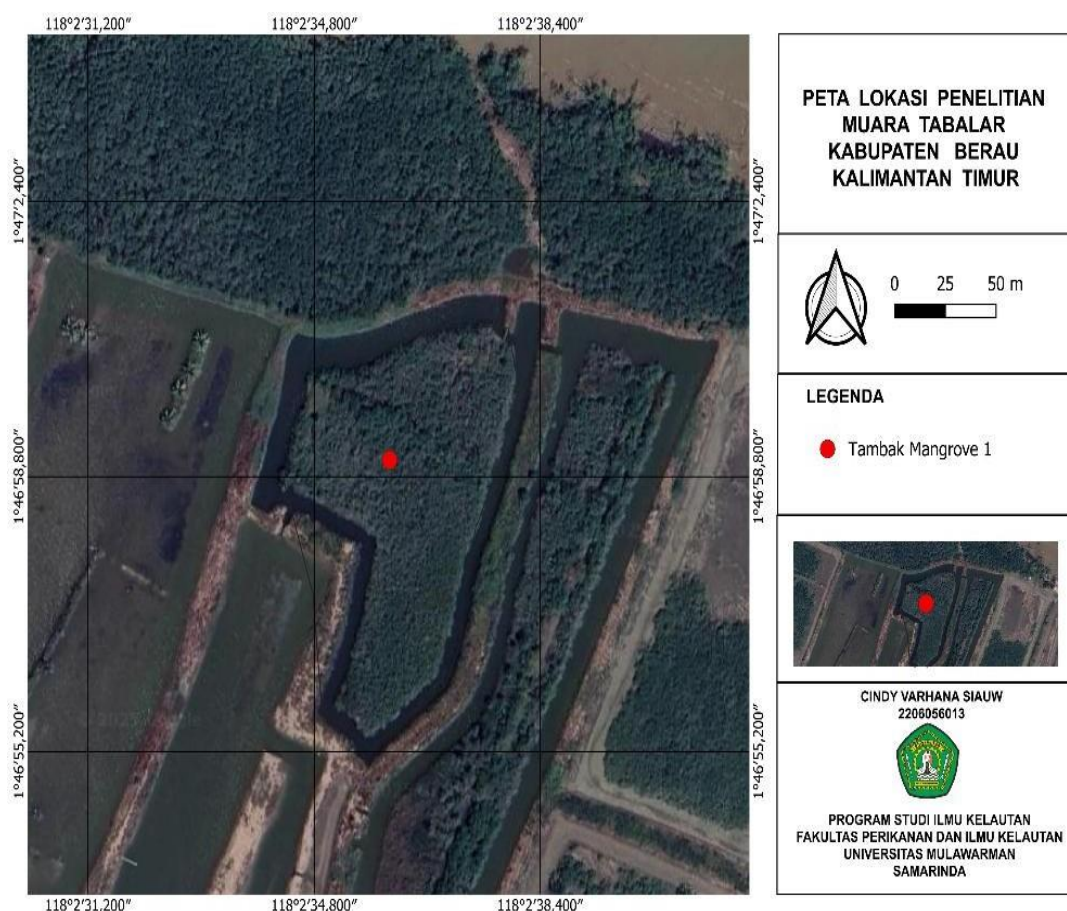
Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2024–Desember 2025. Pengambilan sampel dilakukan di kawasan mangrove Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Secara geografis, lokasi pengambilan sampel berada pada koordinat 1°46'55,24" LU dan 118°02'35,50" BT. Identifikasi dan ekstraksi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Mulawarman, sedangkan pengujian aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase dilakukan di Laboratorium Pusat Studi Biofarmaka Tropika, Institut Pertanian Bogor. Lokasi pengambilan sampel disajikan pada Gambar 1.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun dan batang *Acanthus ilicifolius* serta daun *Sonneratia alba*. Bahan kimia yang digunakan meliputi n-heksana 95%, etil asetat 95%, metanol 95%, kloroform, amonia 10%, H_2SO_4 , pereaksi Dragendorff, $FeCl_3$ 5%, NaOH 10%, akuades, akarbosa, enzim α -glukosidase dari *Saccharomyces cerevisiae*, dan p-nitrofenil- α -D-glukopiranosida atau pNPG sebagai substrat. Alat utama yang digunakan meliputi blender, neraca analitik, rotary evaporator, vortex mixer, inkubator, pH meter, tabung reaksi, serta microplate reader.

Sampel *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba* dikoleksi dari kawasan mangrove Kampung Tabalar Muara, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Identifikasi spesies dilakukan berdasarkan karakter morfologi dengan mengacu pada *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (Noor et al., 2006). Sampel *A. ilicifolius* diperoleh dari beberapa individu, sedangkan sampel *S. alba* diperoleh dari tiga pohon. Bagian tumbuhan yang dikoleksi meliputi daun dewasa dan batang *A. ilicifolius*, serta daun dewasa *S. alba*. Pemilihan bahan tumbuhan didasarkan pada kondisi visual yang baik, yaitu bebas dari kerusakan fisik, gejala penyakit, dan kontaminasi kotoran yang berlebihan. Bahan tumbuhan dari beberapa individu kemudian digabungkan menjadi sampel komposit berdasarkan spesies dan bagian tumbuhan sebelum proses ekstraksi.

Sampel yang telah dikoleksi dibersihkan dari kotoran, dipisahkan berdasarkan spesies dan bagian tumbuhan, kemudian dimasukkan ke dalam plastik ziplock dan diberi label. Selanjutnya, sampel dikeringkan pada suhu ruang hingga kering dan rapuh. Sampel kering dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh serbuk simplisia, yang kemudian digunakan untuk proses ekstraksi.

Ekstraksi dilakukan menggunakan metode maserasi bertingkat dengan tiga jenis pelarut berdasarkan tingkat polaritas, yaitu n-heksana, etil asetat, dan metanol. Serbuk simplisia sebanyak ± 200 g dimasukkan ke dalam wadah kaca, kemudian direndam menggunakan n-heksana selama 24 jam. Proses maserasi dilakukan tiga kali secara berturut-turut pada residu yang sama untuk memaksimalkan penarikan senyawa, sehingga tahapan ini merupakan remaserasi dan bukan replikasi ekstraksi independen. Setelah itu, campuran disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan residu.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Residu hasil maserasi n-heksana selanjutnya diekstraksi kembali menggunakan etil asetat dengan prosedur yang sama, kemudian dilanjutkan dengan metanol. Filtrat dari masing-masing pelarut diuapkan menggunakan rotary evaporator pada suhu 40°C hingga diperoleh ekstrak kental. Rendemen ekstrak dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Rendemen ekstrak (\%)} = (\text{Berat ekstrak kental} / \text{Berat simplisia awal}) \times 100\%$$

Skринing fitokimia dilakukan secara kualitatif untuk mengidentifikasi golongan metabolit sekunder pada masing-masing ekstrak mangrove. Golongan senyawa yang diuji meliputi alkaloid, saponin, fenol, flavonoid, tanin, steroid, dan terpenoid. Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur standar melalui pengamatan perubahan warna, pembentukan endapan, terbentuknya busa, atau terbentuknya cincin pada larutan uji (Shaikh & Patil, 2020; Tiwari *et al.*, 2011).

Uji alkaloid dilakukan dengan menambahkan pereaksi Dragendorff pada larutan ekstrak. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya kekeruhan jingga atau endapan berwarna jingga kemerahan yang mengindikasikan keberadaan alkaloid (Madappa & Bopaiah, 2012; Shaikh & Patil, 2020; Tiwari *et al.*, 2011). Uji saponin dilakukan dengan menambahkan akuades pada ekstrak, kemudian dikocok hingga terbentuk busa. Terbentuknya busa stabil menunjukkan hasil positif terhadap saponin (Bhandary *et al.*, 2012; Uddin *et al.*, 2011).

Uji fenol dilakukan menggunakan pereaksi pendeteksi senyawa fenolik, sedangkan uji tanin dilakukan dengan penambahan FeCl_3 5%. Hasil positif fenol ditunjukkan dengan perubahan warna atau terbentuknya endapan, sedangkan hasil positif tanin ditunjukkan dengan perubahan warna menjadi hijau kecokelatan atau biru tua (Madappa & Bopaiah, 2012; Shaikh & Patil, 2020; Ugochukwu *et al.*, 2013). Uji flavonoid dilakukan berdasarkan reaksi perubahan warna setelah penambahan pereaksi basa dan asam. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya warna kuning yang mengindikasikan keberadaan flavonoid. Uji steroid dan terpenoid dilakukan dengan menambahkan kloroform dan H_2SO_4 pekat pada larutan ekstrak. Hasil positif terpenoid ditunjukkan dengan terbentuknya warna merah kecokelatan, sedangkan hasil positif steroid ditunjukkan dengan terbentuknya cincin merah kecokelatan pada lapisan larutan (Ugochukwu *et al.*, 2013).

Uji penghambatan enzim α -glukosidase dilakukan secara *in vitro* menggunakan p-nitrofenil- α -D-glukopiranosida atau pNPG sebagai substrat. Enzim α -glukosidase yang digunakan berasal dari *Saccharomyces cerevisiae*. Prinsip uji ini didasarkan pada kemampuan enzim α -glukosidase menghidrolisis pNPG menjadi p-nitrofenol yang berwarna kuning. Intensitas warna p-nitrofenol diukur menggunakan microplate reader pada panjang gelombang 410 nm. Semakin rendah absorbansi yang terbaca, semakin tinggi kemampuan sampel dalam menghambat aktivitas enzim.

Campuran reaksi terdiri atas 50 μL buffer fosfat 100 mM pH 7,0, 25 μL substrat pNPG 0,5 mM dalam buffer fosfat 0,1 M pH 7,0, 10 μL larutan sampel uji, dan 25 μL larutan enzim α -glukosidase. Enzim α -glukosidase dilarutkan dalam buffer fosfat hingga diperoleh konsentrasi kerja 0,04 unit mL^{-1} dari stok 14,19 unit mL^{-1} . Campuran reaksi diinkubasi pada suhu 37°C selama 30 menit. Reaksi dihentikan dengan penambahan 100 μL natrium karbonat 0,2 M. Akarbosa digunakan sebagai kontrol positif. Blanko sampel menggunakan DMSO, sedangkan blanko standar menggunakan buffer fosfat. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 410 nm menggunakan microplate reader. Seluruh pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (Laoufi *et al.*, 2017).

Hasil skринing fitokimia dianalisis secara deskriptif berdasarkan perubahan warna, pembentukan endapan, atau pembentukan busa. Hasil positif diberi tanda (+), sedangkan hasil negatif diberi tanda (-). Persentase penghambatan enzim α -glukosidase dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Inhibisi} = [(A \text{ kontrol} - (A \text{ sampel} - A \text{ blanko})) / A \text{ kontrol}] \times 100\%$$

Keterangan: A kontrol = absorbansi kontrol enzim; A sampel = absorbansi sampel dengan enzim; A blanko = absorbansi sampel tanpa enzim

Nilai IC_{50} ditentukan berdasarkan regresi linier antara $\ln$ konsentrasi dan persentase inhibisi pada rentang konsentrasi yang menunjukkan respons linier dan mendekati 50% inhibisi. Persamaan regresi linier dinyatakan sebagai:

$$y = ax + b$$

dengan y sebagai persentase inhibisi, x sebagai $\ln$ konsentrasi, a sebagai slope, dan b sebagai intersep. Nilai IC_{50} diperoleh dengan mensubstitusikan $y = 50$ ke dalam persamaan regresi:

$$\begin{aligned} 50 &= ax + b \\ x &= (50 - b) / a \end{aligned}$$

Karena x merupakan $\ln(IC_{50})$, maka nilai IC_{50} dihitung menggunakan persamaan:

$$IC_{50} = e^{[(50 - b) / a]}$$

Perhitungan IC_{50} dilakukan secara terpisah pada setiap ulangan, kemudian disajikan sebagai rerata $\pm$ standar deviasi. Nilai IC_{50} yang lebih rendah menunjukkan aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase yang lebih kuat. Penentuan IC_{50} berdasarkan hubungan konsentrasi dan persentase inhibisi umum digunakan dalam evaluasi aktivitas penghambatan enzim secara *in vitro* (Dirir *et al.*, 2021; Laoufi *et al.*, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ekstraksi bertingkat menggunakan pelarut *n*-heksana, etil asetat, dan metanol menghasilkan rendemen yang bervariasi pada setiap jenis sampel mangrove. Nilai rendemen ekstrak disajikan pada Tabel 1. Hasil ekstraksi bertingkat menunjukkan bahwa rendemen ekstrak *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba* berkisar antara 1,88–6,38% (Tabel 1). Rendemen tertinggi diperoleh pada ekstrak metanol batang *A. ilicifolius* sebesar 6,38%, diikuti oleh ekstrak metanol daun *A. ilicifolius* sebesar 5,30% dan ekstrak metanol daun *S. alba* sebesar 3,70%. Sementara itu, rendemen terendah diperoleh pada ekstrak etil asetat daun *A. ilicifolius* sebesar 1,88%.

Secara umum, ekstrak metanol menghasilkan rendemen lebih tinggi dibandingkan *n*-heksana dan etil asetat pada seluruh sampel. Perbedaan rendemen antarpelarut dapat dipengaruhi oleh polaritas pelarut, rasio pelarut terhadap sampel, waktu ekstraksi, ukuran partikel simplisia, serta komposisi senyawa yang larut pada masing-masing pelarut. Pemilihan pelarut merupakan faktor penting dalam ekstraksi bahan alam karena menentukan kemampuan pelarut dalam melarutkan komponen kimia dari matriks tumbuhan (Abubakar & Haque, 2020; Azwanida, 2015). Dengan demikian, tingginya rendemen pada ekstrak metanol menunjukkan bahwa komponen terlarut pada sampel mangrove dalam penelitian ini lebih banyak terekstraksi oleh pelarut polar.

Perbedaan rendemen juga terlihat antarbagian tumbuhan. Pada *A. ilicifolius*, rendemen ekstrak metanol batang lebih tinggi dibandingkan daun, yaitu masing-masing 6,38% dan 5,30%. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan jumlah komponen terlarut antara bagian daun dan batang. Namun, nilai rendemen tidak selalu berbanding lurus dengan aktivitas bioaktif, karena rendemen hanya menggambarkan jumlah total ekstrak yang diperoleh, bukan kadar senyawa aktif tertentu.

Hasil skrining fitokimia menunjukkan adanya variasi golongan metabolit sekunder pada ekstrak daun dan batang *Acanthus ilicifolius* serta daun *Sonneratia alba* berdasarkan jenis pelarut yang digunakan (Tabel 2). Secara umum, ekstrak metanol menunjukkan profil metabolit yang lebih beragam dibandingkan ekstrak *n*-heksana dan etil asetat. Seluruh ekstrak metanol pada ketiga sampel terdeteksi mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid, sedangkan tanin, steroid, dan terpenoid tidak terdeteksi.

Pada daun *A. ilicifolius*, ekstrak n-heksana terdeteksi mengandung fenol dan tanin, sedangkan ekstrak etil asetat terdeteksi mengandung alkaloid, fenol, tanin, dan terpenoid. Ekstrak metanol daun *A. ilicifolius* menunjukkan hasil positif terhadap alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid. Pada batang *A. ilicifolius*, ekstrak n-heksana terdeteksi mengandung tanin dan terpenoid, ekstrak etil asetat mengandung alkaloid, fenol, dan tanin, sedangkan ekstrak metanol mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid.

Tabel 1. Rendemen ekstrak *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba*

Pelarut	Sampel	Berat simplisia (g)	Berat ekstrak (g)	Rendemen (%)
n-heksana	Daun <i>A. ilicifolius</i>	360	8,55	2,37
	Batang <i>A. ilicifolius</i>	175	3,76	2,15
	Daun <i>S. alba</i>	455	10,60	2,32
Etil asetat	Daun <i>A. ilicifolius</i>	360	6,80	1,88
	Batang <i>A. ilicifolius</i>	175	6,96	3,97
	Daun <i>S. alba</i>	455	10,42	2,29
Metanol	Daun <i>A. ilicifolius</i>	360	19,08	5,30
	Batang <i>A. ilicifolius</i>	175	11,18	6,38
	Daun <i>S. alba</i>	455	16,85	3,70

Tabel 2. Profil fitokimia ekstrak *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba*

Sampel	Pelarut	Alkaloid	Saponin	Fenol	Flavonoid	Tanin	Steroid	Terpenoid
Daun <i>A. ilicifolius</i>	n-heksana	-	-	+	-	+	-	-
	Etil asetat	+	-	+	-	+	-	+
	Metanol	+	+	+	+	-	-	-
Batang <i>A. ilicifolius</i>	n-heksana	-	-	-	-	+	-	+
	Etil asetat	+	-	+	-	+	-	-
	Metanol	+	+	+	+	-	-	-
Daun <i>S. alba</i>	n-heksana	+	-	+	-	+	-	-
	Etil asetat	+	-	+	-	+	-	-
	Metanol	+	+	+	+	-	-	-

Keterangan: (+) = terdeteksi; (-) = tidak terdeteksi.

Tabel 3. Nilai IC_{50} ekstrak metanol mangrove dan akarbosa terhadap penghambatan enzim α -glukosidase

Sampel	$IC_{50} \pm SD$ (ppm)	Jumlah ulangan (n)	Kategori aktivitas (Robbani <i>et al.</i> , 2022)
Ekstrak metanol daun <i>A. ilicifolius</i>	$2641,8 \pm 25,8$	3	Sangat lemah
Ekstrak metanol batang <i>A. ilicifolius</i>	$267,2 \pm 1,8$	3	Sangat lemah
Ekstrak metanol daun <i>S. alba</i>	$64,3 \pm 0,4$	3	Kuat
Akarbosa	$0,142 \pm 0,003$	3	Sangat kuat

Keterangan: Nilai IC_{50} dihitung secara terpisah pada setiap ulangan dan disajikan sebagai rerata $\pm$ standar deviasi. Kategori aktivitas mengacu pada Robbani *et al.* (2022).

Profil fitokimia daun *S. alba* menunjukkan bahwa ekstrak n-heksana dan etil asetat memiliki pola yang sama, yaitu terdeteksi mengandung alkaloid, fenol, dan tanin. Sementara itu, ekstrak metanol daun *S. alba* terdeteksi mengandung alkaloid, saponin, fenolik, dan flavonoid. Pola ini menunjukkan bahwa jenis pelarut memengaruhi golongan metabolit yang terdeteksi pada sampel

mangrove. Perbedaan tersebut dapat berkaitan dengan polaritas pelarut, karena pelarut dengan polaritas berbeda memiliki kemampuan berbeda dalam melarutkan komponen kimia dari matriks tumbuhan (Abubakar & Haque, 2020; Azwanida, 2015).

Ekstrak metanol merupakan ekstrak dengan profil fitokimia paling konsisten pada seluruh sampel. Keberadaan alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid pada seluruh ekstrak metanol menjadi dasar pemilihan ekstrak tersebut untuk pengujian lebih lanjut terhadap aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase. Namun, hasil skrining fitokimia ini masih bersifat kualitatif, sehingga belum dapat menentukan kadar maupun jenis senyawa spesifik yang berperan dalam aktivitas bioaktif.

Aktivitas bioaktif ekstrak mangrove dievaluasi melalui uji penghambatan enzim α -glukosidase secara *in vitro*. Parameter utama yang digunakan dalam interpretasi aktivitas adalah nilai IC_{50} , yaitu konsentrasi ekstrak yang mampu menghambat 50% aktivitas enzim. Nilai IC_{50} yang lebih rendah menunjukkan aktivitas penghambatan yang lebih kuat. Uji penghambatan α -glukosidase secara *in vitro* umum digunakan sebagai pendekatan awal untuk mengevaluasi potensi bahan alam sebagai sumber senyawa penghambat enzim pencernaan karbohidrat (Dirir *et al.*, 2021; Laoufi *et al.*, 2017).

Berdasarkan Tabel 3, ekstrak metanol daun *S. alba* menunjukkan aktivitas penghambatan α -glukosidase paling baik di antara ekstrak mangrove yang diuji. Nilai IC_{50} ekstrak ini sebesar $64,3 \pm 0,4$ ppm dan termasuk dalam kategori kuat. Sebaliknya, ekstrak metanol batang dan daun *A. ilicifolius* menunjukkan aktivitas yang jauh lebih rendah, dengan nilai IC_{50} masing-masing sebesar $267,2 \pm 1,8$ ppm dan $2641,8 \pm 25,8$ ppm, sehingga keduanya tergolong sangat lemah. Akarbosa sebagai kontrol positif tetap menunjukkan aktivitas paling kuat, dengan nilai IC_{50} sebesar $0,142 \pm 0,003$ ppm.

Perbedaan nilai IC_{50} tersebut menunjukkan bahwa kemampuan ekstrak dalam menghambat α -glukosidase tidak sama antarspesies maupun antarbagian tumbuhan. Dalam penelitian ini, daun *S. alba* memiliki potensi bioaktif yang lebih menonjol dibandingkan daun dan batang *A. ilicifolius*. Temuan ini sejalan secara konseptual dengan Puspitasari *et al.* (2023), yang melaporkan bahwa beberapa flavonoid dari daun *S. alba* berpotensi berinteraksi dengan α -glukosidase berdasarkan pendekatan penambatan molekuler. Namun, karena penelitian tersebut bersifat *in silico*, hasilnya tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan nilai IC_{50} *in vitro* pada penelitian ini.

Hasil ini juga menunjukkan bahwa rendemen tidak selalu mencerminkan kekuatan aktivitas bioaktif. Ekstrak metanol batang *A. ilicifolius* memiliki rendemen tertinggi, yaitu 6,38%, tetapi aktivitas penghambatannya tergolong sangat lemah. Sebaliknya, ekstrak metanol daun *S. alba* memiliki rendemen lebih rendah, yaitu 3,70%, tetapi justru menunjukkan aktivitas paling kuat di antara ekstrak mangrove yang diuji. Dengan demikian, aktivitas penghambatan α -glukosidase tampaknya lebih berkaitan dengan komposisi dan proporsi senyawa bioaktif di dalam ekstrak, bukan semata-mata dengan jumlah ekstrak yang diperoleh.

Hubungan antara hasil fitokimia dan aktivitas α -glukosidase juga perlu ditelaah dengan hati-hati. Seluruh ekstrak metanol terdeteksi mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid, tetapi menghasilkan nilai IC_{50} yang berbeda secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa skrining fitokimia kualitatif hanya mengonfirmasi keberadaan golongan metabolit sekunder, tetapi belum dapat menjelaskan senyawa spesifik, kadar relatif, maupun kontribusi masing-masing senyawa terhadap aktivitas penghambatan. Pada *S. alba*, Puspitasari *et al.* (2023) melaporkan bahwa beberapa flavonoid dari daun *S. alba*, seperti luteolin, apigenin, dan diosmetin, berpotensi berinteraksi dengan α -glukosidase berdasarkan pendekatan *molecular docking*. Namun, karena penelitian tersebut bersifat *in silico* dan tidak melaporkan nilai IC_{50} *in vitro*, hasilnya lebih tepat digunakan sebagai dukungan konseptual terhadap kemungkinan keterlibatan senyawa flavonoid, bukan sebagai pembanding langsung terhadap aktivitas ekstrak dalam penelitian ini.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, aktivitas ekstrak metanol daun *S. alba* pada penelitian ini berada dalam rentang aktivitas yang masih relevan dalam konteks ekstrak mangrove genus *Sonneratia*. Nilai IC_{50} ekstrak metanol daun *S. alba* sebesar $64,3 \pm 0,4$ ppm relatif

dekat dengan laporan Astuti *et al.*, (2025) pada ekstrak kulit batang *S. x urama*, yaitu $64,07 \pm 7,23$ $\mu\text{g/mL}$. Akan tetapi, kedekatan nilai tersebut tidak dapat ditafsirkan sebagai kesetaraan aktivitas karena spesies, organ tumbuhan, pelarut, dan karakteristik ekstrak yang digunakan berbeda. Variasi aktivitas yang lebih luas juga dilaporkan oleh Dona *et al.*, (2021) pada buah *S. ovata*, dengan IC_{50} sebesar $1,86$ $\mu\text{g/mL}$ untuk ekstrak etanol dan $193,32$ $\mu\text{g/mL}$ untuk fraksi n-heksana. Perbedaan antarpenelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas penghambatan α -glukosidase pada mangrove tidak hanya dipengaruhi oleh identitas taksonomi, tetapi juga oleh organ tumbuhan, polaritas pelarut, fraksinasi ekstrak, dan kondisi pengujian.

Pada *A. ilicifolius*, aktivitas yang diperoleh dalam penelitian ini lebih lemah dibandingkan laporan (Tran *et al.*, 2024), yang menunjukkan bahwa ekstrak bagian atas tumbuhan *A. ilicifolius* memiliki EC_{50} terhadap α -glukosidase sebesar $49,81 \pm 0,37$ $\mu\text{g/mL}$. Sebagai perbandingan, ekstrak metanol batang dan daun *A. ilicifolius* pada penelitian ini masing-masing memiliki IC_{50} sebesar $267,2 \pm 1,8$ ppm dan $2641,8 \pm 25,8$ ppm. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh asal sampel, bagian tumbuhan yang dianalisis, metode ekstraksi, komposisi ekstrak kasar, serta kondisi pengujian enzimatik. Dengan demikian, aktivitas penghambatan α -glukosidase tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan keberadaan golongan metabolit sekunder hasil skrining kualitatif. Identifikasi senyawa aktif, analisis kuantitatif metabolit, dan uji kinetika enzim masih diperlukan untuk menentukan senyawa yang berperan serta mekanisme penghambatan yang terjadi.

Perbandingan antara rendemen, profil fitokimia, dan nilai IC_{50} menunjukkan bahwa jumlah ekstrak yang diperoleh tidak selalu sejalan dengan kekuatan aktivitas penghambatan α -glukosidase. Ekstrak metanol batang *A. ilicifolius* memiliki rendemen tertinggi, yaitu $6,38\%$, tetapi aktivitasnya tergolong sangat lemah dengan nilai IC_{50} sebesar $267,23$ ppm. Sebaliknya, ekstrak metanol daun *S. alba* memiliki rendemen lebih rendah, yaitu $3,70\%$, namun menunjukkan aktivitas terbaik dengan nilai IC_{50} sebesar $64,26$ ppm. Pola ini menunjukkan bahwa rendemen lebih tepat dipahami sebagai jumlah total komponen yang terekstraksi, bukan sebagai indikator langsung kekuatan bioaktivitas. Ekstrak kasar pada dasarnya masih merupakan campuran berbagai komponen, sehingga senyawa yang bertanggung jawab terhadap aktivitas biologis perlu ditelusuri melalui fraksinasi, isolasi, dan karakterisasi lebih lanjut (Abubakar & Haque, 2020; Jones & Kinghorn, 2006; Sasidhar, 2020).

Hasil skrining fitokimia juga menunjukkan pola yang serupa. Seluruh ekstrak metanol terdeteksi mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid, tetapi nilai IC_{50} yang dihasilkan berbeda cukup jauh satu sama lain. Artinya, keberadaan golongan metabolit secara kualitatif belum cukup untuk menjelaskan perbedaan aktivitas antar ekstrak. Skrining fitokimia hanya memberikan informasi awal mengenai keberadaan atau tidaknya kelompok senyawa, tetapi belum menunjukkan kadar, struktur, maupun senyawa dominan yang berperan dalam aktivitas. Pada uji α -glukosidase, flavonoid dan senyawa fenolik memang banyak dikaitkan dengan aktivitas penghambatan enzim, tetapi efektivitasnya dipengaruhi oleh struktur molekul, jumlah gugus hidroksil, serta pola interaksinya dengan enzim. He *et al.*, (2019) melaporkan bahwa flavonoid dapat berinteraksi dengan α -glukosidase melalui ikatan hidrogen, gaya van der Waals, dan interaksi hidrofobik, sedangkan Dirir *et al.*, (2021) merangkum berbagai senyawa tumbuhan yang berpotensi sebagai inhibitor α -glukosidase. Karena itu, aktivitas terbaik pada ekstrak metanol daun *S. alba* perlu dipahami sebagai hasil dari komposisi senyawa dalam ekstrak, bukan hanya karena hasil positif flavonoid atau fenol.

Temuan pada daun *S. alba* juga didukung oleh laporan sebelumnya. Puspitasari *et al.*, (2022) melaporkan bahwa ekstrak metanol daun *S. alba* mengandung orientin, vitexin, luteolin, oleanolic acid, dan reserpine, serta memprediksi interaksinya terhadap α -glukosidase melalui pendekatan *in silico*. Puspitasari *et al.*, (2023) juga melaporkan luteolin, apigenin, dan diosmetin dari ekstrak etil asetat daun *S. alba* sebagai senyawa yang berpotensi berinteraksi dengan α -glukosidase berdasarkan penambatan molekuler. Kedua penelitian tersebut tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan nilai IC_{50} penelitian ini karena pendekatannya berbeda, tetapi tetap memperkuat alasan bahwa daun *S. alba* layak diperhatikan dalam kajian bioaktivitas mangrove.

Dari sudut pandang bioprospeksi kelautan, hasil ini menunjukkan bahwa mangrove dari pesisir Berau, khususnya *S. alba*, berpotensi sebagai sumber bioaktif alami. Mangrove telah banyak dilaporkan sebagai sumber metabolit sekunder dan senyawa bioaktif, baik dari tumbuhan mangrove maupun mikroorganisme yang berasosiasi dengannya (Dahibhate *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2023; Nabeelah Bibi *et al.*, 2019). Data dari Kampung Tabalar Muara dapat menambah informasi mengenai potensi bioaktif mangrove di Indonesia, terutama dari kawasan Kalimantan Timur yang masih perlu dikaji lebih lanjut. Meski demikian, hasil ini tetap perlu ditempatkan sebagai temuan awal karena pengujian masih menggunakan ekstrak kasar, dilakukan secara *in vitro*, dan didukung oleh skrining fitokimia kualitatif. Tahap lanjutan yang paling relevan adalah penentuan kadar fenolik dan flavonoid total, pemisahan fraksi aktif, serta identifikasi senyawa menggunakan HPLC atau LC-MS agar potensi bioaktif daun *S. alba* dapat dijelaskan berdasarkan senyawa yang lebih spesifik.

KESIMPULAN

Ekstrak *Acanthus ilicifolius* dan *Sonneratia alba* dari Kampung Tabalar Muara menunjukkan variasi rendemen, profil fitokimia, dan aktivitas penghambatan α -glukosidase. Rendemen tertinggi diperoleh pada ekstrak metanol batang *A. ilicifolius* sebesar 6,38%, sedangkan skrining fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak metanol dari seluruh sampel terdeteksi mengandung alkaloid, saponin, fenol, dan flavonoid. Hasil ini menunjukkan bahwa metanol mampu mengekstraksi beberapa golongan metabolit sekunder dari sampel mangrove yang diteliti. Uji penghambatan α -glukosidase menunjukkan bahwa ekstrak metanol daun *S. alba* memiliki aktivitas terbaik di antara ekstrak yang diuji, dengan nilai IC_{50} sebesar $64,3 \pm 0,4$ ppm dan termasuk kategori kuat. Sebaliknya, ekstrak metanol batang dan daun *A. ilicifolius* menunjukkan aktivitas yang lebih rendah, dengan nilai IC_{50} masing-masing sebesar $267,2 \pm 1,8$ ppm dan $2641,8 \pm 25,8$ ppm, sehingga tergolong sangat lemah. Temuan ini menunjukkan bahwa rendemen dan keberadaan golongan metabolit secara kualitatif tidak selalu sejalan dengan kekuatan aktivitas penghambatan enzim. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak metanol daun *S. alba* memiliki indikasi awal aktivitas penghambatan α -glukosidase terbaik di antara sampel yang diuji, sedangkan ekstrak metanol daun dan batang *A. ilicifolius* menunjukkan aktivitas yang sangat lemah. Oleh karena itu, temuan ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan potensi bioaktif secara umum dari seluruh ekstrak mangrove yang diteliti. Identifikasi senyawa aktif, analisis kuantitatif metabolit, dan kajian mekanisme penghambatan enzim diperlukan untuk memperkuat dasar ilmiah pemanfaatan mangrove dalam kerangka bioprospeksi yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A. R., & Haque, M. (2020). Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(1), 1–10.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195–219. doi: 10.1146/annurev-marine-010213-135020
- Astuti, M. D., Umaningrum, D., Fitria, R., Suhartini, S., Amalia, R., Irwan, A. M., Santoso, M., & Fatmawati, S. (2025). Antioxidant, α -glucosidase inhibitory, and profiling metabolites on different parts of mangrove *Sonneratia x urama*. *Chemical Review and Letters*, 8(3), 602–611.
- Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Med Aromat Plants*, 4(196), 412–2167.
- Bhandary, S. K., Bhat, V. S., & Bekal, M. P. (2012). Preliminary phytochemical screening of various extracts of *Punica granatum* peel, whole fruit and seeds. *Journal of Health and Allied Sciences NU*, 2(04), 34–38.
- Chittipedhi, K., & Sudarsanan, S. (2025). Evaluating the role of mangrove forests in coastal protection and biodiversity enhancement. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, 374–389.
- Dabalà, A., Dahdouh-Guebas, F., Dunn, D. C., Everett, J. D., Lovelock, C. E., Hanson, J. O., Buenafe,

- K. C. V, Neubert, S., & Richardson, A. J. (2023). Priority areas to protect mangroves and maximise ecosystem services. *Nature Communications*, 14(1), 5863.
- Dahibhate, N. L., Saddhe, A. A., & Kumar, K. (2019). Mangrove plants as a source of bioactive compounds: a review. *The Natural Products Journal*, 9(2), 86–97.
- Dirir, A., Daou, M., Yousef, A., & Yousef, L. (2021). A review of alpha-glucosidase inhibitors from plants as potential candidates for the treatment of type-2 diabetes. *Phytochemistry Reviews*, 21, 1049–1079. doi: 10.1007/s11101-021-09773-1
- Dona, R., Fadhli, H., Furi, M., & Viryana, T. (2021). Uji Ekstrak Etanol serta Fraksi Buah Kedabu (*Sonneratia ovata* Backer) Sebagai Inhibitor Enzim α -glukosidase. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 7(1), 2579–4558.
- Dotulong, V., Wonggo, D., & Montolalu, L. (2021). Evaluation of Secondary Metabolites and Antioxidant Activity of Water, Ethyl Acetate and Hexane Fractions from the Mangrove Young Leaves *Sonneratia alba*. *Chemical Science International Journal*, 30(2), 23–32. doi: 10.9734/csji/2021/v30i230215
- Feng, X., Xu, S., Li, J., Yang, Y., Chen, Q., Lyu, H., Zhong, C., He, Z., & Shi, S. (2020). Molecular adaptation to salinity fluctuation in tropical intertidal environments of a mangrove tree *Sonneratia alba*. *BMC Plant Biology*, 20(1), 178.
- Hadassa, R., Kumari, M. A., & T, V. (2025). Mangroves: Treasure of novel bioactive compounds. In H. D. Rao, D. Kannur, S. Dumpala, & V. Chintada (Eds.), *The Unity of Life: Interdisciplinary Connections across the Sciences* (pp. 54–58). doi: 10.70593/978-93-49307-18-6_6
- He, C., Liu, X., Jiang, Z., Geng, S., Han-jun, & Liu, B. (2019). Interaction Mechanism of Flavonoids and α -Glucosidase: Experimental and Molecular Modelling Studies. *Foods*, 8(9), 355. doi: 10.3390/foods8090355
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 11, 968. doi: 10.3390/agronomy11050968
- Jones, W. P., & Kinghorn, A. D. (2006). Extraction of plant secondary metabolites. In *Natural products isolation* (pp. 323–351). Springer.
- Laoufi, H., Benariba, N., Adjdir, S., & Djaziri, R. (2017). In vitro α -amylase and α -glucosidase inhibitory activity of *Ononis angustissima* extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7, 191–198.
- Lin, W., Li, G., & Xu, J. (2023). Bio-active products from mangrove ecosystems. *Marine Drugs*, 21(4), 239
- Madappa, M. B., & Bopaiah, A. K. (2012). Preliminary phytochemical analysis of leaf of *Garcinia gummi-gutta* from Western Ghats. *Journal of Pharmacy and Biological Science*, 4(1), 17–27.
- Matos, P., Batista, M., & Figueirinha, A. (2022). A review of the ethnomedicinal uses, chemistry, and pharmacological properties of the genus *Acanthus* (Acanthaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 293, 115271. doi: 10.1016/j.jep.2022.115271
- Nabeelah Bibi, S., Fawzi, M. M., Gokhan, Z., Rajesh, J., Nadeem, N., RR, R. K., RDDG, A., & Pandian, S. K. (2019). Ethnopharmacology, phytochemistry, and global distribution of mangroves—A comprehensive review. *Marine Drugs*, 17(4), 231.
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (Pencetakan ulang kedua). PHKA/Wetlands International Indonesia Programme. <https://indonesia.wetlands.org/id/publikasi/panduan-pengenalan-mangrove-di-indonesia/>
- Puspitasari, Y. E., Hardoko, H., Sulistiyati, T. D., Fajrin, A. N., & Tampubolon, H. O. (2022). Phytochemical compound identification of mangrove leaves *Sonneratia alba* and in silico analysis as antidiabetic. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 27(2), 241–248.
- Puspitasari, Y. E., Tampubolon, H. O., Fajrin, A. N., Sulistiyati, T. D., & Hardoko, H. (2023). Penghambatan α -Glucosidase Oleh Flavonoid Dari Ekstrak Etil Asetat Daun Mangrove *Sonneratia alba* Sebagai Antidiabetes Melalui Penambatan Molekuler. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 19(1), 15–22.
- Robbani, S., Elya, B., & Iswandana, R. (2022). Alpha-glucosidase and DPP-IV inhibitory activities of ethanol extract from *caesalpinia sappan*, *andrographis paniculata*, and *syzygium cumini*. *Pharmacognosy Journal*, 14(3), 702–709. 10.5530/pj.2022.14.89
- Sadeer, N. B., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2023). Biotechnological applications of mangrove plants and their isolated compounds in medicine-a mechanistic overview. *Critical Reviews in*

- Biotechnology, 43(3), 393–414.
- Sasidhar, D. (2020). Mangrove Medicinal Plants and Its Chemistry: A Review. *International Journal of Educational Research*, 10(1), 16–21.
- Shaikh, J. R., & Patil, M. (2020). Qualitative tests for preliminary phytochemical screening: An overview. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 603–608.
- Song, S., Ding, Y., Li, W., Meng, Y., Zhou, J., Gou, R., Zhang, C., Ye, S., Saintilan, N., & Krauss, K. W. (2023). Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global climate change. *Nature Communications*, 14(1), 756.
- Tiwari, P., Kaur, M., & Kaur, H. (2011). *Phytochemical screening and Extraction: A Review. Internationale Pharmaceutica Sciencia*, 1, 98-106.
- Tran, C. L., Mai, V., Huynh, V. T., Nguyen, V. K., & Chong, K. T. D. (2024). Antioxidant and anti-diabetic effects in vitro of extract from the above-ground parts of *Acanthus ilicifolius*. *Bionatura Journal*, 1(3), 16-16. doi: 10.70099/bj/2024.01.03.4
- Uddin, G., Rauf, A., Qaisar, M., Latif, A., & Ali, M. (2011). Preliminary phytochemical screening and antimicrobial activity of *Hedera helix* L. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 8(1), 198–202.
- Ugochukwu, S., Uche, A., & Ifeanyi, O. (2013). Preliminary phytochemical screening of different solvent extracts of stem bark and roots of *Dennetia tripetala* G. Baker. *Asian Journal of Plant Science & Research*, 3(3), 10-13.
- Wu, Z., Shang, X., Liu, G., & Xie, Y. (2023). Comparative analysis of flavonoids, polyphenols and volatiles in roots, stems and leaves of five mangroves. *PeerJ*, 11, e15529. doi: 10.7717/peerj.15529
- YKAN. (2025, June 10). *Pemkab Berau dan YKAN Gelar Pelatihan Teknis Perlindungan dan Perbaikan Ekosistem Mangrove*. Yayasan Konservasi Alam Nusantara.
- Zohora, F., Hasan, A. N., Alam, K., & Wahed, T. (2023). Traditional Use, Phytochemistry, Pharmacological and Toxicological Properties of *Acanthus ilicifolius*: A Review. *Journal of Biosciences and Medicines*, 11(5), 181-192. doi: 10.4236/jbm.2023.115013