

BAB I PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Rumput laut atau alga laut merupakan salah satu sumber daya hayati yang sangat melimpah di Perairan Indonesia yaitu sekitar 8,6% dari total biota laut (Kepel dan Mantiri, 2019). Luas wilayah yang menjadi habitat rumput laut di Indonesia mencapai 1,2 juta hektar, atau terluas di dunia (Lestari et al., 2020). Potensi alga laut perlu terus dieksplorasi, mengingat tingginya keanekaragaman alga laut di perairan Indonesia. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) produksi rumput laut nasional yang tumbuh rata-rata sebesar 11,8% per tahunnya, pada tahun 2017-2021 produksi alga laut mampu tumbuh sebesar 10,8 juta ton (Madani et al., 2022).

Alga laut salah satu ganggang multiseluler dengan distribusi geografis yang luas. Berdasarkan jenis pigmentasi dan karakteristik morfologinya, alga laut diklasifikasikan menjadi 3 kelas yaitu alga laut merah, hijau, dan coklat. Alga laut dari kelas alga merah (*Rhodophyceae*) merupakan jenis yang paling banyak tumbuh di perairan laut Indonesia, yaitu sekitar 452 jenis, diikuti alga hijau (*Chlorophyceae*) sekitar 196 jenis dan alga cokelat (*Phaeophyceae*) sekitar 134 jenis (Keyimu dan Abuduli, 2019). Alga laut adalah sumber makromolekul yang kaya dengan senyawa aktif sehingga banyak yang dapat dieksplorasi dari kandungannya. Salah satu senyawa yang terkandung dalam alga laut adalah polisakarida. Polisakarida yang terkandung dalam alga laut diklasifikasikan menjadi polisakarida sulfat (SPs) dan nonsulfat, variasi struktur memberikan beberapa perbedaan dari jenis polisakarida (Zayed et al., 2020).

Polisakarida sulfat juga bermacam-macam tergantung dari spesies alga laut, seperti pada alga merah yang umum dikenal yaitu karagenan dengan karakteristik dinding sel berasal dari keluarga galaktan. Jenis dari polisakarida ini banyak digunakan sebagai emulsifier dan stabilizer atau pengental (Castro et al., 2018). Sedangkan bioaktif polisakarida sulfat yang terdapat pada alga hijau yaitu ulvan yang ditemukan pada dinding sel *Ulva sp* dengan karakteristik tersusun dari asam glukuronat dan asam uronat yang berikatan dengan rhamnose sulfat. Jenis polisakarida ini digunakan untuk pengembangan obat dan bahan makanan fungsional (Tabarsa et al., 2017). Adapun polisakarida sulfat yang terdapat dalam alga cokelat yaitu fukoidan.

Fukoidan adalah molekul polisakarida sulfat dan bagian dari dinding sel alga (Weelden et al., 2019). Fukoidan termasuk heteropolisakarida yang larut dalam air yang mengandung L-fucosa dan sulfat (Wang et al., 2019). Fukoidan terdiri dari glukosa (32,68%), galaktosa (24,81%), fukosa (20,75%), xilosa (6,98%), manosa (2,76%) dan asam uronat (5,39%) berdasarkan berat kering dari ekstraksi *Sargassum hemiphyllum* (Li et al., 2022). Beberapa penelitian terbaru tentang fukoidan mengenai potensi aktivitas biologisnya yaitu sebagai antioksidan (Rajauria et al., 2023), antikanker (Weelden et al., 2019), antidiabetes (Puspantari et al., 2020), antilipogenesis (Wang et al., 2020b), dan antibakteri (Putri, 2019). Salah satu faktor yang mempengaruhi mutu atau aktivitas biologis dari fukoidan adalah metode ekstraksi dalam mengisolasi fukoidan.

Metode ekstraksi sangat penting karena menentukan hasil fukoidan yang diperoleh dari alga laut coklat. Metode ekstraksi fukoidan yang paling umum digunakan masih

bersifat konvensional yaitu metode maserasi dan sokhletasi. Teknik ini memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan waktu yang lama 4-6 jam, menggunakan volume pelarut yang banyak dan persentase hasil rendemen yang relatif rendah (Nguyen et al., 2020). Dengan demikian, metode ekstraksi fukoidan yang ramah lingkungan telah dikembangkan dan ini termasuk ekstraksi dengan bantuan gelombang mikro (*microwave assisted extraction*), gelombang ultrasonik (*Ultrasound Assisted Extraction*) dan *super critical extraction*). Dibandingkan dengan kedua metode tersebut (UAE dan SCE), metode MAE memiliki keunggulan yaitu waktu ekstraksi yang cepat (umumnya kurang dari 30 menit), persentase rendemen yang diperoleh relatif tinggi, penggunaan pelarut yang minim, ramah lingkungan dan tekniknya sederhana (Wang et al., 2020a). MAE memanfaatkan energi gelombang mikro untuk pemanasan dan dengan demikian meningkatkan laju perpindahan massa zat terlarut dari matriks sampel ke dalam pelarut (Dobrincic et al., 2021). Berdasarkan aspek tersebut, MAE dianggap sebagai metode yang untuk mengekstrak fukoidan.

Beberapa hasil penelitian ekstrak fukoidan antara lain pada penelitian Marudhupandi et al. (2017) mengekstrak *Sargassum polycystum* dengan teknik maserasi menggunakan pelarut akuades selama 1 jam diperoleh rendemen 4,51%. Penelitian Sinurat dan Kusumawati (2017) yaitu mengekstrak *Sargassum binderi* dengan teknik ekstraksi maserasi dengan pelarut akuades selama 4 jam dan diperoleh rendemen 3,36%. Penelitian Widiatma et al. (2013) mengekstrak *Sargassum filipendula* dengan teknik ekstraksi maserasi menggunakan pelarut alkali selama 9 jam dan diperoleh rendemen 1,15%. Berbeda dengan penelitian Wang et al. (2020b) mengekstrak *Sargassum siliquosum* menggunakan metode MAE dengan pelarut akuades selama 10 menit dan diperoleh rendemen 6,94%. Sehingga dari perbandingan penelitian tersebut, maka penelitian ini menggunakan metode MAE untuk mengefisienkan waktu ekstraksi. Selain itu, pemilihan jenis pelarut dalam mengekstraksi fukoidan juga memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik dan sifat biologisnya.

Sinurat dan Kusumawati (2017) melakukan penelitian tentang optimasi pelarut yang digunakan dalam mengekstraksi fukoidan dari alga cokelat *Sargassum binderi*. Metode ekstraksi menggunakan pelarut akuades dan CaCl_2 2% diperoleh hasil kandungan gula total dan sulfat lebih besar dibandingkan ekstrak menggunakan pelarut asam. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan asam dalam ekstraksi fukoidan menyebabkan degradasi pada rantai polimernya, sehingga untuk mendapatkan kandungan sulfat dan gula total lebih baik dilakukan ekstraksi fukoidan menggunakan pelarut akuades dan CaCl_2 2%. Larutan CaCl_2 2% berperan dalam pengendapan alginat untuk meningkatkan kemurnian fukoidan dan sumber fukoidan murni dapat mempengaruhi karakteristik fungsi biologisnya (Wang et al., 2016).

Fukoidan menunjukkan beberapa aktivitas biologis yang menjadikannya menarik untuk diteliti dan aplikasi dalam bidang kesehatan seperti aktivitas antiinflamasi, antikoagulan, antivirus, antibakteri, dan antioksidan (Alkahtane et al., 2020). Saat ini antioksidan alami telah mendapatkan perhatian besar karena meningkatnya kekhawatiran tentang stres oksidatif dalam tubuh manusia. Stres oksidatif terjadi karena ketidakseimbangan antara senyawa radikal dan antioksidan. Pembentukan senyawa radikal bebas dalam tubuh yang tidak terkendali atau melebihi batas akan menyebabkan kerusakan oksidasi sel atau kerusakan jaringan sel. Salah satu sumber

dari pembentukan radikal bebas dalam tubuh adalah saat terjadinya proses inflamasi. Inflamasi merupakan suatu respon protektif lokal yang timbul karena kerusakan pada jaringan seperti trauma fisik (Palanisamy et al., 2017).

Pengobatan inflamasi dapat dilakukan dengan cara meredakan nyeri atau dapat menghentikan kerusakan jaringan dengan mengonsumsi obat-obatan, seperti obat steroid dan non-steroid (Gunaydin dan Bilge, 2018). Tetapi penggunaan obat sintesis sebagai antiinflamasi dalam kurun waktu panjang akan mengakibatkan efek samping berbahaya yaitu menimbulkan gangguan pada saluran cerna, seperti lambung, ulser, induksi kehamilan dan gangguan fungsi ginjal. Selain itu penggunaan obat steroid akan mengakibatkan penurunan respon imun, respon tubuh terhadap infeksi, hipertensi dan osteoporosis (Latief et al., 2021). Sehingga dilakukan pengembangan obat inflamasi yang memiliki efek samping yang relatif rendah, salah satunya yang berasal dari bahan alam seperti alga cokelat *Turbinaria decurrens* yang mengandung senyawa fukoidan yang memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi.

Ni et al. (2020) melakukan penelitian aktivitas antiinflamasi fukoidan dari *Sacharina japonica* atau dikenal sebagai *Laminaria japonica*. Penelitian ini menunjukkan efek antiinflamasi yang kuat melalui uji aktivitas dalam sel makrofag RAW 264,7 dan ikan zebra yang diinduksi lipopolisakarida (LPS). Hasil efek antiinflamasi in vitro menunjukkan bahwa fukoidan menurunkan produksi oksida nitrat (NO) dan sitokin, termasuk TNF- α , IL-1 β dan IL-6. Sedangkan secara in vivo, fukoidan menunjukkan efek perlindungan yang signifikan dengan mengurangi tingkat kematian sel dan produksi ROS pada ikan zebra yang terpapar LPS. Pada penelitian Jeong et al. (2021) juga melakukan penelitian terhadap fukoidan dari *Fucus vesiculosus* dalam menghambat respon inflamasi yang diinduksi lipopolisakarida pada makrofag RAW 264.7 dan larva ikan zebra secara in vivo. Fukoidan menunjukkan penurunan sekresi prostaglandin E₂ PGE₂ dalam sel RAW 264.7 yang terstimulasi LPS. Fukoidan juga melemahkan produksi spesies oksigen reaktif ROS pada larva ikan zebra.

Jeon et al. (2019) melakukan penelitian efek antiinflamasi dari ekstrak *Sargassum muticum* pada mencit dengan menginduksi collagen induced arthritic (CIA). Hasil yang diperoleh menunjukkan fukoidan dari ekstrak *S. muticum* mengurangi edema kaki mencit. Beberapa penelitian yang telah disebutkan menunjukkan fukoidan dari alga cokelat memiliki potensi sebagai antiinflamasi. Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa fukoidan diisolasi dari beberapa jenis *Sargassum* sp, *Laminaria* sp, namun masih kurang penelitian dalam mengisolasi *T. decurrens* dan aktivitasnya sebagai antioksidan dan antiinflamasi. Sehingga penelitian ini berfokus untuk mengisolasi dan menganalisis aktivitas antioksidan secara in vitro dan antiinflamasi secara in vivo.

Berdasarkan hal yang telah diuraikan, maka penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi senyawa fukoidan dari jenis alga cokelat *T. decurrens* menggunakan metode MAE dan menganalisis aktivitas biologisnya yaitu analisis aktivitas antioksidan secara in vitro dan analisis aktivitas antiinflamasi secara in vivo pada edema kaki mencit (*Mus musculus*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. berapa % rendemen ekstrak kasar dari alga cokelat *T. decurrens* menggunakan metode MAE ?
2. berapa kadar gula total dan kadar sulfat dari alga cokelat *T. decurrens* ?
3. bagaimana karakteristik fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* dengan menggunakan FTIR, ¹H-NMR, XRD dan SEM ?
4. bagaimana aktivitas fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* sebagai antioksidan secara in vitro?
5. bagaimana aktivitas fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* sebagai antiinflamasi secara in vivo?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan jumlah % rendemen ekstrak kasar dari alga cokelat *T. decurrens* menggunakan metode MAE.
2. menentukan jumlah kadar gula total dan kadar sulfat dari alga cokelat *T. decurrens*.
3. menentukan karakteristik fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* dengan menggunakan FTIR, ¹H-NMR, XRD dan SEM.
4. menganalisis aktivitas fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* sebagai antioksidan secara in vitro.
5. menganalisis aktivitas fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* sebagai antiinflamasi secara in vivo.

1.4 Manfaat Penelitian

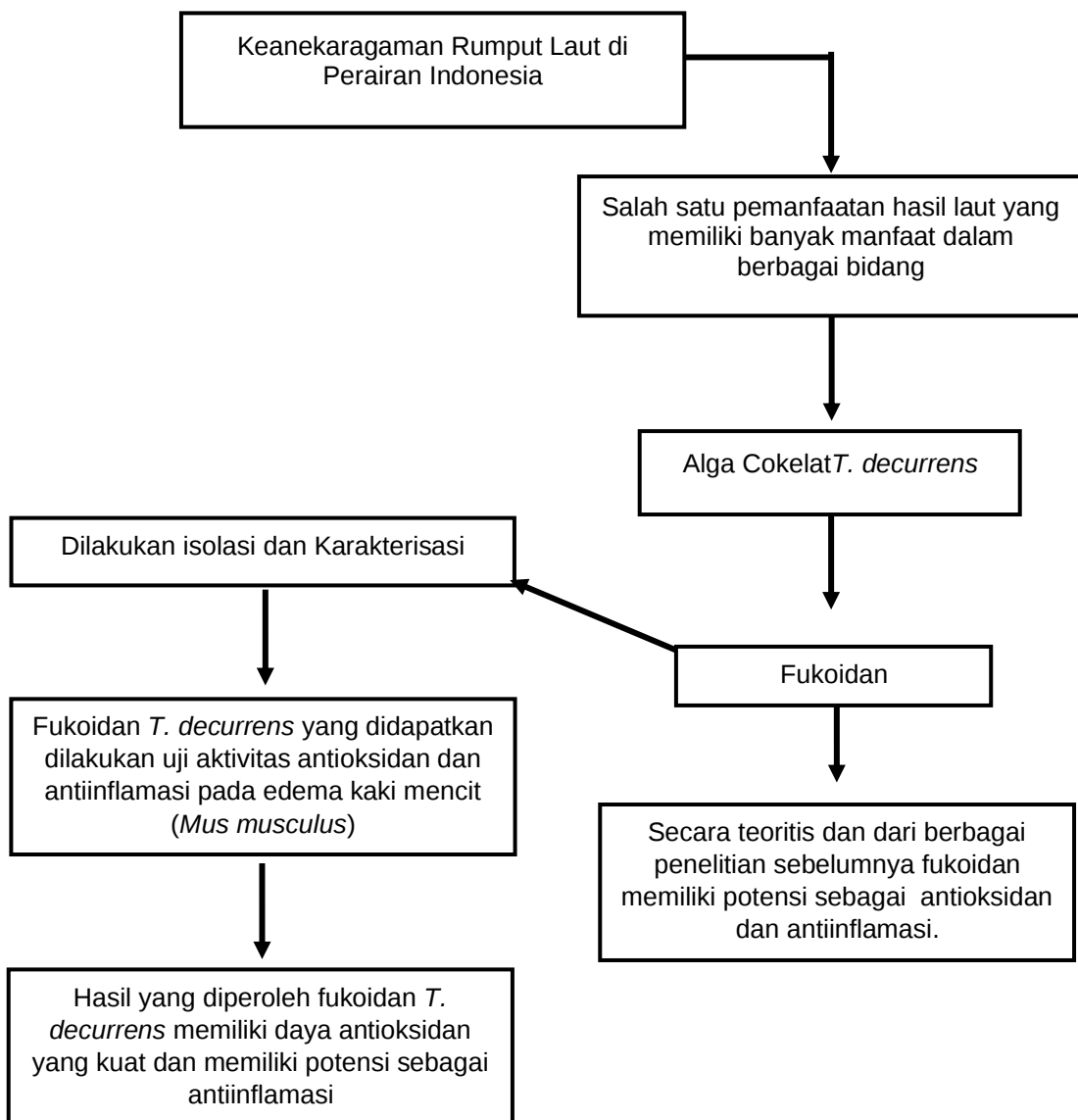
Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan nilai tambah rumput laut cokelat khususnya jenis *T. decurrens* untuk memberikan informasi terkait proses isolasi, karakterisasi dan aktivitas biologis dari fukoidan alga cokelat jenis *T. decurrens* yang masih belum dikenal secara luas di masyarakat sehingga kedepannya dapat dikembangkan bahan baku obat sebagai antioksidan dan antiinflamasi.

1.5 Kerangka Pikir Penelitian

Alga merupakan salah satu biota laut yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sehingga kedepannya dapat diaplikasikan sebagai bahan baku yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti dalam bidang kesehatan, pangan, kecantikan dan industri lainnya. Alga diketahui memiliki kandungan metabolit primer yang telah banyak peneliti mengungkapkan bahwa alga memiliki aktivitas biologis yang potensial terkait dengan bidang farmakologi seperti sebagai antioksidan, antikoagulan, immunomodulator, antitumor, antibakteri, dan aktivitas biologis lainnya. Jenis metabolit primer yang dikembangkan yaitu jenis polisakarida sulfat yang umumnya diisolasi dari alga merah, alga hijau dan alga coklat. Tetapi penelitian ini mengembangkan polisakarida sulfat dari alga cokelat jenis *T. decurrens* yang diambil dari Pantai Leppe, Kab. Majene, Prov. Sulawesi Barat.

T. decurrens merupakan salah satu jenis alga cokelat yang belum banyak dikembangkan dan belum banyak dikenal masyarakat, meskipun demikian *T. decurrens* memiliki kandungan polisakarida sulfat yang dikenal dengan fukoidan yang memiliki potensi sebagai bahan biomaterial dengan berbagai karakteristik fisik dan kimia serta aktivitas biologisnya sebagai antioksidan dan antiinflamasi.

Penelitian ini diawali dengan mengisolasi senyawa fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* melalui proses ekstraksi dengan bantuan gelombang elektromagnetik atau *microwave assisted extraction* dan dimurnikan. Kemudian dilakukan analisis proksimat, kadar sulfat dan kandungan gula total. Fukoidan selanjutnya dikarakterisasi strukturnya dengan FTIR, SEM, XRD dan NMR. Terakhir dilakukan uji aktivitas biologis yaitu antioksidan secara *in vitro* dan antiinflamasi secara *in vivo*.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan beberapa hal yang telah diuraikan, maka hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ekstrak fukoidan dari alga cokelat yang diperoleh menggunakan metode MAE dapat ditentukan jumlah % rendemen.
2. Fukoidan dari *T. decurrens* dapat ditentukan kadar gula total dan kadar sulfatnya.
3. Fukoidan dari *T. decurrens* memiliki karakteristik kimia dan fisik tertentu yang dapat dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, H-NMR, SEM dan XRD.
4. Fukoidan dari *T. decurrens* memiliki aktivitas antioksidan yang dapat diukur menggunakan metode DPPH.
5. Fukoidan dari *T. decurrens* memiliki aktivitas antiinflamasi yang dapat diukur menggunakan metode edema kaki mencit (*Mus musculus*).

BAB II

TOPIK PENELITIAN I

ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUKOIDAN DARI ALGA COKELAT *Turbinari decurrens*

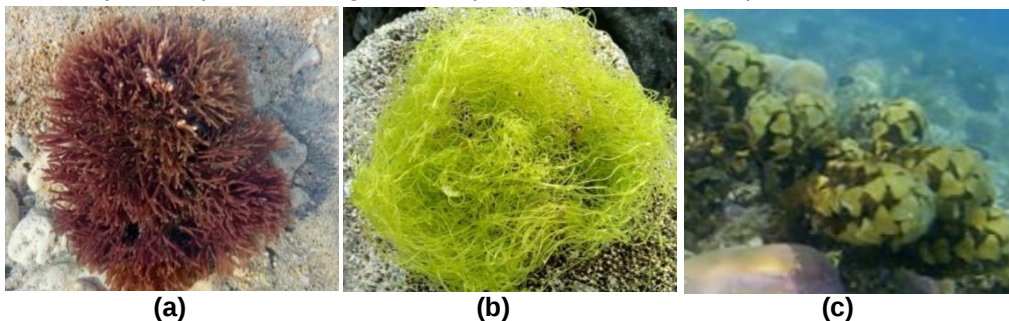
2.1 Abstrak

Fukoidan merupakan polisakarida sulfat yang mengandung fukosa dan sulfat. Fukoidan yang dapat diperoleh dari hasil isolasi alga cokelat jenis *T. decurrens* yang berasal dari Pantai Leppe, Majene. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengisolasi fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* dan mengkarakterisasi menggunakan FTIR, NMR, SEM dan XRD. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengisolasi fukoidan dengan metode MAE dan mengkarakteristik menggunakan FTIR, NMR, SEM dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen fukoidan yang diperoleh sebesar 10,45% dengan kadar gula total 0,2395 mg/mL dan kadar sulfat 0,7153 mg/mL. Karakteristik struktur fukoidan diidentifikasi secara spektroskopi FTIR dan NMR yang menunjukkan adanya serapan FTIR pada pita serapan 1253.73 cm^{-1} , 1031.92 cm^{-1} dan 825.53 cm^{-1} yang merupakan daerah sidik jari khas polisakarida sulfat. Pada spektrum $^1\text{H-NMR}$ menunjukkan karakteristik sinyal pada daerah geseran kimia berkisar antara 1,1-5,6 ppm. Karakteristik fisik diidentifikasi dengan SEM dan XRD. Karakteristik fukoidan menunjukkan bahwa fukoidan *T. decurrens* merupakan material amorf dengan ukuran partikel 14,23 nm.

Kata Kunci: Isolasi, Fukoidan, *T. decurrens*, Karakterisasi.

2.2 Pendahuluan

Rumput laut atau alga laut yang hidup menempel di dasar laut dikategorikan menurut pigmennya yaitu merah (*Rhodophyceae*), hijau (*Chlorophyceae*), dan cokelat (*Phaeophyceae*). Dinding sel rumput laut mengandung polisakarida komersial seperti agar dan karagenan dari alga merah, ulvan dari alga hijau, serta alginat, laminarin, dan fukoidan dari alga cokelat yang menunjukkan berbagai aktivitas biologis (Jun et al., 2018). Fukoidan dapat juga ditemukan di beberapa organisme laut lainnya, seperti teripang (Yin et al., 2019) dan bulu babi (Wang et al., 2020), tetapi sumber utamanya terdapat dalam alga cokelat (Jawardena et al., 2019).



Gambar 2. Berbagai jenis alga : (a) Alga Merah *Galacaura rugosa* (Sarita et al., 2021), (b) Alga Hijau *Chaetomorpha crassa* (Sarita et al., 2021), (c) Alga Cokelat *Turbinaria* sp (Zubia et al., 2020).

Alga Cokelat adalah spesies dari tanaman ganggang yang hidup pada bebatuan di daerah beriklim tropis. Alga cokelat mengandung pigmen fukosantin yang dominan

sehingga alga ini berwarna coklat. Alga coklat memiliki bentuk morfologi dan anatomi yang diferensiasinya lebih tinggi jika dibandingkan dengan alga lainnya. Struktur tubuh talus alga ini memiliki tambahan berupa gelembung udara *pneumatocysts* atau *bladder* yang terdapat dipangkal daun (Li et al., 2021). Alga coklat tumbuh di lingkungan laut dan hanya sebagian kecil saja hidup di muara sungai. Susunan tubuh alga coklat umumnya bersel banyak (multiseluller) dan dapat dibedakan antara helaian (*lamina*), tangkai, dan pangkal yang menyerupai bentuk akar (*hapreta*) (Beatriz Gullona, 2020). Alga coklat berbeda dengan tumbuhan angiospermae atau tumbuhan tingkat tinggi yang hidup di laut yang biasa disebut dengan lamun (*seagrass*). Salah satu alga laut yang tersebar di perairan Indonesia adalah jenis *Turbinaria* sp.

Alga coklat *Turbinaria* sp merupakan jenis rumput laut yang memiliki banyak manfaat tetapi belum sepopuler *Sargassum* sp, dan *Padina* sp. *Turbinaria* sp termasuk alga coklat yang masuk dalam filum Phaeophyta (Zubia et al., 2020). Makroalga ini secara sekilas mirip dengan *Sargassum*, karena berasal dari famili yang sama yaitu Sargassaceae. Kemiripan *Turbinaria* tidak hanya terhadap *Sargassum*, tetapi juga terhadap *Hormophysa* karena ketiga marga tersebut berasal dari famili yang sama. Berdasarkan data hasil identifikasi Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, secara sistematika *Turbinaria decurrens* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Divisio : Phaeophyta
 Classis : Phaeophyceae
 Ordo : Fucales
 Familia : Sargassaceae
 Genus : *Turbinaria*
 Species : *Turbinaria decurrens*

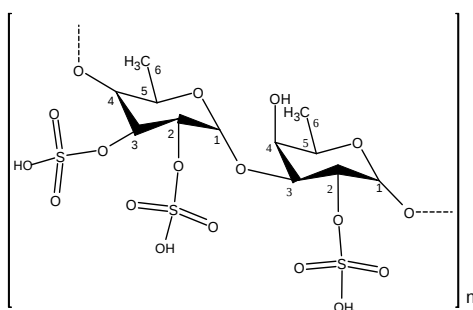


Gambar 3. *Turbinaria decurrens* (Dokumentasi Pribadi)

T. decurrens secara umum memiliki batang silindris, tegak, kasar dan terdapat bekas-bekas percabangan, memiliki *holdfast* (alat menempel) berupa cakram kecil dengan perakaran radial dan percabangan berputar sekeliling batang utama. *T. decurrens* memiliki ciri spesifik berupa bentuk daun yang menyerupai kerucut segitiga dan memiliki gelembung udara (*vesicle*) berbentuk sedikit piramid. *T. decurrens* ditemukan di perairan intertidal sampai dengan subtidal (Atmadja, 1996 dalam Handayani, 2018). Dinding sel rumput laut mengandung polisakarida komersial seperti

agar dan karagenan dari alga merah, ulvan dari alga hijau, serta alginat, laminarin, dan fukoidan dari alga cokelat yang menunjukkan berbagai aktivitas biologis (Jun et al., 2018).

Polisakarida sulfat dari alga cokelat atau yang dikenal dengan sebutan fukoidan, baru-baru ini sedang gencar dimanfaatkan karena memiliki aktivitas biologis dan farmakologis (Ahmad et al., 2021). Fukoidan dikenal sebagai polisakarida tersulfat yang mengandung fukosa, di mana L-Fukosa selalu mendominasi monomer gula lainnya seperti galaktosa, manosa, glukosa dan asam uronat. L-Fukosa dapat melebihi 90% dari total komposisi gula fukoidan (Jawardena et al., 2022). Pada beberapa spesies, tulang punggung fukan mengandung percabangan yang terdiri dari berbagai gula, fukosa atau asam uronat (Weelden et al., 2019). Fukoidan adalah polisakarida sulfat dari matriks dinding sel alga cokelat yang terdiri dari unit fukosa yang terhubung dengan α -1,3 dan α -1,4 dengan sulfat pada posisi 2, 3, dan/ 4. Namun, struktur dan pola sulfasi dari tulang punggung gula polisakarida ini bersifat spesifik pada spesies (Lin et al., 2022).



Gambar 4. Struktur Fukoidan dari jenis *T. ornata* (Lin et al., 2022)

Fukoidan biasanya bertindak sebagai polisakarida struktural di dinding sel alga cokelat dengan jumlah relatif berkisar antara 4 dan 8% dari total berat kering. Sejak fukoidan pertama kali diisolasi pada tahun 1913, struktur fukoidan dari rumput laut cokelat yang berbeda telah dipelajari (Li et al., 2021). Namun struktur fukoidan dan aplikasinya dijelaskan lebih dalam lagi oleh ahli kimia Elisabeth Percival tahun 1960. Kemudian struktur fukoidan dikaji ulang secara luas dan dipublikasikan oleh Barteau dan Mulloy (2003). Nama fukoidan yang dibenarkan dengan aturan IUPAC disebut fukan, fukosan atau fukan sulfat. Struktur fukoidan bervariasi tergantung dari spesies, iklim, faktor lingkungan, dan metode ekstraksi dalam mengisolasi fukoidan (Weelden et al., 2019).

Metode ekstraksi fukoidan yang saat ini banyak digunakan yaitu teknik ekstraksi modern yaitu menggunakan ekstraksi gelombang mikro (*microwave assisted extraction/MAE*). Teknik ekstraksi metode MAE adalah metode ekstraksi yang memanfaatkan energi gelombang mikro. Ekstraksi MAE berfungsi meningkatkan jumlah ekstrak yang lebih banyak dalam waktu relatif singkat dan jumlah pelarut yang lebih sedikit (Mensah et al., 2023). Metode *Microwave* dapat bekerja dengan cepat hal ini disebabkan karena gelombang elektromagnetik yang dimiliki dapat menembus dan mengeksitasi molekul air dan lemak (Panjaitan dan Natalia, 2021).

Prinsip kerja MAE adalah menggunakan energi gelombang mikro untuk memanaskan pelarut dan sampel. Pemanasan dengan gelombang mikro meningkatkan suhu dengan cepat, menyebabkan tekanan internal meningkat dan mempercepat

pelepasan senyawa target dari matriks sampel ke dalam pelarut. Keuntungan dari metode MAE yaitu termasuk pengurangan waktu ekstraksi, penggunaan pelarut yang lebih sedikit dan tingkat selektivitas yang tinggi terhadap senyawa target (Zhong et al., 2020).

Metode ini telah digunakan untuk mengekstrak polisakarida sulfat (fukoidan) dari rumput laut cokelat *Ascophyllum nodosum*. Kondisi suhu yang digunakan berbeda-beda (90-150°C) dan waktu ekstraksi (5-30 menit) dievaluasi dan hasil fukoidan optimal adalah 16,08%, diperoleh menggunakan suhu 120°C selama 15 menit, menunjukkan bahwa MAE adalah teknologi yang efisien untuk mengekstrak polisakarida sulfat dari rumput laut (Yuang dan Macquarrie, 2015).

Wang et al. (2020b) juga melakukan penelitian isolasi fukoidan dari alga cokelat *Sargassum siliquosum* menggunakan metode ekstraksi MAE pada kondisi 750 W dalam waktu 10 menit, menunjukkan efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi dengan hasil gula total 6,94% per berat kering. Beberapa keuntungan dari metode ini dibandingkan dengan metode konvensional yaitu waktu ekstraksi lebih efisien dan rendemen yang diperoleh relatif besar. Berikut beberapa persentase rendemen ekstrak fukoidan pada Tabel 1:

Tabel 1. Persentase rendemen ekstrak fukoidan dari berbagai jenis Alga Coklat

No	Jenis Alga	Teknik Ekstraksi	Waktu ekstraksi	Pelarut	Rendemen/ Yield (%)	Referensi
1.	<i>Sargassum siliquosum</i>	MAE	10 Menit	Akuades	6,94	Wang et al., 2020
2.	<i>Sargassum polycystum</i>	Maserasi	1 Jam	Akuades	4,51	Marudhupandi et al., 2017
3.	<i>Sargassum binderi</i>	Maserasi	4 Jam	Akuades	3,36	Sinurat dan Kusumawati, 2017
4.	<i>Sargassum filipendula</i>	Maserasi	9 Jam	Alkali	1,15	Widiatma et al., 2013
5.	<i>Sargassum cinareum</i>	Refluks	4-5 Jam	Akuades	2,77-2,78	Nurhidayati et al., 2020
6.	<i>Ascophyllum nodosum</i>	MAE	5-30 Menit	Asam klorida	6,48	Yuan dan Macquarrie, 2015
7.	<i>Turbinaria decurrens</i>	MAE	15 Menit	Akuades	10,45	Hasil Penelitian

Fukoidan yang telah diisolasi dapat dikarakterisasi menggunakan beberapa instrumen diantaranya FTIR, XRD, SEM dan H-NMR. Spektroskopi infra merah merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk menganalisis gugus fungsi dan mengidentifikasi senyawa. Analisis sampel dengan menggunakan spektroskopi

FTIR memiliki beberapa keuntungan yaitu spektrum yang terdapat dalam sampel dapat dideteksi dalam waktu singkat dan memiliki sensitifitas yang baik (Jawardena et al., 2022). Spektroskopi NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mempelajari struktur molekul dengan memanfaatkan sifat magnetik inti atom. Spektroskopi NMR didasarkan pada resonansi magnetik inti yang terjadi ketika inti atom dengan momen magnetik berinteraksi dengan medan eksternal. Prinsip dalam spektrometri NMR yaitu sampel yang mengandung ^1H dan ^{13}C ditempatkan dalam medan magnet akan timbul interaksi antara medan magnet luar dengan medan magnet inti (Clement et al., 2010).

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan sebuah instrumen yang digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai morfologi permukaan melalui gambaran perbesaran dari berbagai jenis material. SEM adalah sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. SEM menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk mengamati objek yang sangat kecil dalam bentuk stereo dengan skala pembesaran tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat (Suprunchuk, 2021).

X-Ray Diffraction merupakan sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi kemunculan fase kristal di dalam sampel. Prinsip kerja dari difraksi sinar-X adalah penembakan elektron pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah. Hasil dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafis garis-garis yang terekam dengan detektor dalam sudut 2θ /menit, sehingga sumbu-X setara dengan sudut 2θ , sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-x terhadap jumlah intensitas cahaya per detik (Goncalves et al., 2021).

Berdasarkan tinjauan di atas maka dilakukan isolasi fukoidan dari alga cokelat *Turbinaria decurrens* dan menganalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan mulai bulan November 2023 – April 2024 di Laboratorium Mikrobiologi UPT Lab. Terpadu Universitas Sulawesi Barat, Laboratorium Biokimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Biokimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Alauddin Makassar, Pengujian FTIR di Laboratorium Terpadu Universitas Hasanuddin, Pengujian H-NMR di Laboratorium Karakteristik Lanjut Kimia Maju II di BRIN Tangerang Selatan, Pengujian XRD LPPS Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin dan Pengujian SEM di Laboratorium Mikrostruktur, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Pengambilan sampel penelitian alga cokelat (*Turbinaria decurrens*) dilakukan di Pantai Leppe, Lingkungan Leppe, Kec. Banggae Timur, Kab. Majene, Sulawesi Barat.

2.3.2 Alat dan Bahan Penelitian

2.3.2.1 Alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) Bruker Acend 700 MHz, *X-Ray Diffraction* (XRD) (Rigaku MiniflexII), *Scenning Electron Microscopy* (SEM) (JEOL), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) (Prestidge-21 Shimidzu), Spektroskopi UV-Vis (UV-2600 Shimidzu), *vakum filtration* (Schott Duran Germany), *Microwave Assisted Extraction* (MAE) , Sentrifugasi (*Centrifug-228*), oven (*Memmert*), oven (Sharp), neraca analitik ABJ 220-4M (Kern, Jerman) dan neraca analitik (Precisa, Swaziland), labu kjedhal (Pirex), vortex, *magnetic stirrer*, pH meter, desikator, *hot plate*, termometer, cawan porselin, alat penggerus, statif dan klem, *cool box* dan alat-alat gelas yang umum digunakan.

2.3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alga cokelat (*Turbinaria decurrens*), akuabides (Water One), amonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) (Merck), asam sulfat p.a (H_2SO_4) (Merck), asam klorida p.a (HCl) (Merck), asam trikloroasetat (TCA) (Merck), barium klorida (BaCl_2) (Merck), Deuterium Oksida (D_2O) (Merck), etanol 95% ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (Merck), gelatin, glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) (Merck), kalium bromida (KBr) (Merck), kalsium klorida (CaCl_2) (Merck), karagenan 1%, kertas saring Whatman no. 42, natrium klorida (NaCl) (Merck), natrium hidroksida p.a (NaOH) (Merck), natrium sulfat (Na_2SO_4) (Merck) dan standar fukoidan *Fucus Vesiculosus* (F5631) (Sigma Aldrich).

2.3.3 Pelaksanaan Penelitian

2.3.1 Persiapan Sampel

Persiapan sampel dilakukan berdasarkan metode Wang et al. (2020b) yaitu sampel alga cokelat *T. decurrens* basah sebanyak 2 kg dicuci bersih dengan air mengalir dan diangin-anginkan selama 6 jam. Selanjutnya *T. decurrens* dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama ± 48 jam. Alga cokelat *T. decurrens* kering kemudian direndam dengan etanol 95% pada suhu ruang selama 24 jam untuk menghilangkan pigmen dan protein. Setelah itu disaring menggunakan kain kasa untuk memisahkan filtrat dan endapan. Endapan yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian digerus menggunakan lumpang dan alu dan diayak dengan saringan 40 mesh. Serbuk *Turbinaria decurrens* yang dihasilkan dimasukkan dalam wadah kedap udara sebelum dilakukan uji proksimat dan proses ekstraksi.

2.3.2 Analisis Proksimat Serbuk *T. decurrens* (AOAC (2005); Puspitasari (2020))

Analisis proksimat dilakukan berdasarkan AOAC (2005) dalam Puspitasari (2020) yaitu penetapan kadar air, kadar abu, kadar protein, kadar lemak, kadar serat dan kadar karbohidrat dari serbuk kering *T. decurrens*. Prosedur analisis proksimat sebagai berikut:

a. Penetapan Kadar Air

Serbuk kering *T. decurrens* sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dan diketahui bobot tetapnya. Kemudian dikeringkan dengan oven suhu 105°C selama 8 jam, didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Dilakukan berulang sampai mendapatkan bobot yang konstan. Kadar air dihitung menggunakan rumus persamaan 1:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A+B-C}{B} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A : Berat cawan kosong (g)

B : Berat sampel (g)

C : Berat setelah dioven (g)

b. Penetapan Kadar Abu

Serbuk kering *T. decurrens* 1 g dimasukkan dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dan diketahui bobot tetapnya. Diarangkan dengan pemanasan bunsen sampai tidak mengeluarkan asap dan dimasukkan dalam tanur 600°C selama 6 jam hingga proses pengabuan sempurna. Cawan porselin yang berisi abu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar abu dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{C-B}{A} \times 100\% \quad (2)$$

A : Berat cawan kosong (g)

B : Berat sampel (g)

C : Berat setelah ditanur (g)

c. Penentuan Kadar Protein

Serbuk kering *T. decurrens* 1 g dimasukkan dalam labu Kjeldahl 100 mL lalu ditambahkan 20 mL H₂SO₄ pekat, 1 g katalis (selenium) dan dimasukkan beberapa butir batu didih. Larutan didekstruksi dalam lemari asam selama kurang lebih 1 jam hingga menghasilkan larutan jernih kemudian didinginkan. Larutan hasil destruksi dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan dibilas dengan akuades, kemudian dihipitkan sampai tanda batas dan dihomogenkan. Disiapkan penampung yang terdiri dari 10 mL H₃BO₃ 2% dan 4 tetes larutan indikator campuran dan Erlenmeyer. Setelah itu, dipipet 5 mL larutan hasil dekstruksi ke dalam labu destilasi, ditambahkan 10 mL NaOH 30% dan 100 mL akuades. Dilakukan proses destilasi hingga volume penampungan menjadi 50 mL. Larutan hasil destilasi kemudian dititrasi dengan H₂SO₄ 0,0103 N hingga diperoleh perubahan warna dari hijau menjadi ungu. Volume titran dibaca dan dicatat. Kadar protein kasar dihitung menggunakan rumus persamaan 3:

$$\text{Kadar Protein Kasar (\%)} = \frac{P \times V \times N \times 14 \times 6,25}{w} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

V : Volume Titran

P : Faktor Pengenceran

N : Normalitas H_2SO_4
 W : Bobot sampel (g)
 Faktor Konversi : 6,25

d. Penentuan Kadar Lemak

Serbuk kering *T. decurrens* 1 g dimasukkan dalam tabung reaksi berskala 15 mL ditambahkan kloroform mendekati skala 10 mL, tabung ditutup rapat, dikocok kembali. Campuran kemudian disaring setelah itu dipipet sebanyak 5 mL ke dalam cawan yang telah diketahui beratnya. Dikeringkan dalam oven pada suhu $100^\circ C$ selama 4 jam. Sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang. lemak dihitung menggunakan rumus persamaan 4:

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{(\text{bobot cawan kosong} + \text{lemak}) - \text{bobot cawan kosong}}{\text{bobot sampel}} \times 100\% \quad (4)$$

e. Kadar serat Kasar

Serbuk kering *T. decurrens* 1 g dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan 30 mL H_2SO_4 0,3 N. campuran tersebut dihidrolisis dalam autoklaf selama 30 menit pada suhu $105^\circ C$ dan tekanan 1 atm, kemudian didinginkan dan ditambahkan NaOH 1,5 N sebanyak 15 mL. Dilakukan hidrolisis kembali dalam autoklaf selama 30 menit, lalu disaring dengan kertas saring yang telah dikeringkan dan diketahui bobotnya. Kertas saring tersebut dicuci berturut-turut dengan 40 mL air panas, 40 mL H_2SO_4 0,3 N, 40 mL air panas dan terakhir menggunakan aseton sebanyak 10 mL. Dikeringkan dalam oven selama 8 jam. Didinginkan dalam desikator, setelah dingin ditimbang bobotnya. Kadar serat dihitung menggunakan rumus persamaan 5:

$$\text{Kadar Serat Kasar (\%)} = \frac{B-C}{A} \times 100\% \quad (5)$$

A : Berat sampel (g)
 B : Berat cawan + serat kasar (g)
 C : Berat cawan kosong (g)

f. Penentuan Kadar Karbohidrat

Kadar karbohidrat dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan 6:

$$\text{Kadar Karbohidrat (\%bk)} = 100\% - (A + B + C + D + E) \quad (6)$$

A : Kadar Air
 B : Kadar Abu
 C : Kadar lemak
 D : Kadar Protein
 E : Kadar Serat Kasar

2.3.3 Ekstraksi Fukoidan dengan Metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE)

Serbuk *T. decurrens* sebanyak 50,00 g kemudian dimasukkan dalam wadah tahan panas. Kemudian ditambahkan pelarut akuabides dengan rasio perbandingan (1:10 b/v). Selanjutnya wadah dimasukkan ke dalam *microwave* pada suhu $90^\circ C$ selama 15 menit dan diatur dengan daya 560 W (Yuang dan Macquarrie, 2015). Ekstrak yang diperoleh

kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 8.000 rpm selama 10 menit pada suhu ruang. Supernatan yang diperoleh ditambahkan 300 mL CaCl_2 2% (w/v) dan didiamkan semalaman pada suhu 4°C, lalu disentrifugasi dengan kecepatan 8.000 rpm selama 10 menit pada suhu ruang untuk mengendapkan asam alginat. Selanjutnya, supernatan ditambahkan 500 mL etanol 95% dan disentrifugasi dengan kecepatan 8.000 rpm selama 10 menit pada suhu ruang. Endapan yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama ± 30 menit, didinginkan dalam desikator, setelah dingin, digerus dan ditimbang untuk mengetahui rendemen fukoidan (Rajauria et al., 2023). Kemudian ekstrak *T. decurrens* yang diperoleh dimurnikan.

Rendemen hasil ekstraksi (%) dihitung menggunakan rumus pada persamaan 7:

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{berat rendemen hasil ekstrak (g)}}{\text{berat serbuk alga kering (g)}} \times 100\% \quad (7)$$

2.3.4 Pemurnian Ekstrak Fukoidan dari *T. decurrens*

Fukoidan sebanyak 25,00 g dilarutkan dalam 250 mL akuabides dan ditambahkan 75 mL HCl 3,0 M. Kemudian campuran dipanaskan selama 3 jam, lalu didinginkan pada suhu kamar. Selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 10 menit. Supernatan dinetralkan dengan NaOH 1,0 M dan diendapkan dengan penambahan 100 mL etanol 95%. Kemudian endapan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C (Palanisamy et al., 2017). Selanjutnya dilakukan pengujian karakterisasi menggunakan FTIR, H-NMR, XRD dan SEM.

2.3.5 Penentuan Karbohidrat Total dari Fukoidan (Dubois, 1956; Puspantari et al., 2020)

Kandungan total gula atau total karbohidrat ditentukan menggunakan metode kolorimetri dengan reagen Fenol-asam sulfat. Tahapan analisis kadar gula sebagai berikut:

a. Pembuatan Larutan Induk Glukosa 10 mg/mL

Serbuk glukosa sebanyak 0,1 g dilarutkan dengan akuades, dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL, dihipitkan sampai tanda batas dan dihomogenkan.

b. Pembuatan Deret Standar Glukosa

Larutan induk glukosa diencerkan untuk membuat deret standar dengan konsentrasi 0,10 ; 0,15 ; 0,20 ; 0,25 dan 0,30 mg/mL. Setelah itu 0,5 mL larutan tersebut dicampur dengan 0,5 mL fenol 5% dan 2,5 mL asam sulfat 98% kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Campuran didiamkan selama 20 menit pada suhu kamar sampai terbentuk perubahan warna. Kemudian campuran tersebut diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimum 490 nm.

c. Pengukuran Kadar Gula Total Fukoidan

Fukoidan *T. decurrens* sebanyak 1 g dilarutkan dalam 10 mL akuabides. Setelah itu 0,5 mL larutan tersebut dicampur dengan 0,5 mL fenol 0,5% dan 2,5 mL H_2SO_4 98%

kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Campuran didiamkan selama 15 menit pada suhu kamar sampai terbentuk perubahan warna. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 490 nm. Hasilnya dihitung berdasarkan kurva standar glukosa. Bagan kerja dapat dilihat pada Lampiran 5.

2.3.6 Penentuan Kandungan Sulfat dengan menggunakan Metode BaCl₂-gelatin (Kim, 2007)

Tahap analisis kadar sulfat sebagai berikut:

a. Pembuatan Larutan Induk SO₄²⁻ 10 mg/mL

Serbuk Natrium Sulfat (Na₂SO₄) sebanyak 0,1 g dilarutkan dengan akuabides, dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL, dihipitkan sampai tanda batas dan dihomogenkan.

b. Pembuatan Deret Standar SO₄²⁻

Larutan induk SO₄²⁻ diencerkan untuk membuat deret standar dengan konsentrasi 0,10, 0,20, 0,40, 0,60, dan 0,80 mg/mL. Setelah itu 1 mL larutan tersebut dicampur dengan 1 mL TCA 4% dan 1 mL reagen BaCl₂-gelatin kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Campuran didiamkan selama 10-20 menit pada suhu kamar. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 420 nm.

c. Pembuatan Reagen BaCl₂-gelatin

Serbuk gelatin sebanyak 0,5 g dilarutkan dalam akuades sebanyak 100 mL, dipanaskan sampai suhu 60-70°C kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu 4°C. setelah itu, serbuk BaCl₂ sebanyak 0,5 g dilarutkan ke dalam larutan gelatin dan didiamkan pada suhu 4°C selama 1 minggu sebelum digunakan.

d. Pengukuran Kadar Sulfat Fukoidan

Serbuk fukoidan *T. decurrens* sebanyak 0,1 g dilarutkan dalam 10 mL akuabides. Setelah itu 1 mL larutan tersebut dicampur dengan 1,4 mL TCA 4% dan 1 mL reagen BaCl₂-gelatin kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Campuran didiamkan selama 10-20 menit pada suhu kamar. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 420 nm. Hasilnya dihitung berdasarkan kurva natrium sulfat (Na₂SO₄). Bagan kerja dapat dilihat pada Lampiran 6.

2.3.7 Analisis Karakterisasi Struktur Fukoidan menggunakan FTIR

Karakterisasi struktur fukoidan menggunakan spektrofotometri FTIR, dilakukan dengan cara serbuk fukoidan standar dan fukoidan *T. decurrens* ditimbang masing-masing sebanyak 1 mg dicampurkan dengan 100 mg KBr, digerus di dalam mortar sampai homogen agar diperoleh pellet. Pellet dimasukkan ke dalam *simple pan* untuk direkam spektrum infra merahnya pada panjang gelombang 4.000 cm⁻¹ – 400 cm⁻¹. Spektrum IR fukoidan *T. decurrens* dibandingkan dengan fukoidan standar.

2.3.8 Analisis Karakteristik Struktur Fukoidan menggunakan H-NMR

Serbuk fucoidan *T. decurrens* sebanyak 2 mg dilarutkan dengan pelarut khusus NMR D₂O di dalam tube NMR dicukupkan volumenya hingga 4 cm dari panjang tube diinjeksikan ke dalam tabung injeksi dan dianalisis menggunakan spektroskopi NMR dengan agilent 500 MHz dengan menggunakan standar TMS yang beroperasi pada frekuensi 500 MHz untuk ¹H-NMR.

2.3.9 Analisis Karakterisasi Fisik Fukoidan menggunakan XRD

Serbuk fukoidan *T. decurrens* ditimbang masing-masing sebanyak 200 mg dicetak pada cetakan aluminium. Pengukuran XRD dilakukan pada suhu kamar dengan tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Spektrum diukur dalam kisaran 2 θ dari 30-80°.

2.3.10 Analisis Karakterisasi Morfologi Fukoidan menggunakan SEM

Serbuk fukoidan *T. decurrens* ditimbang masing-masing sebanyak 200 mg dicetak pada pita karbon, kemudian dikeringkan. Diletakkan pada alat dan diamati permukaan dari sampel secara langsung dengan perbesaran 10-1000x.

2.4 Hasil dan Pembahasan

2.4.1 Pengambilan Sampel Alga Cokelat *T. decurrens*

Sampel alga cokelat *T. decurrens* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Pantai Leppe, Kec. Banggae Timur, Kab. Majene, Provinsi Sulawesi Barat. Bentuk alga cokelat *Turbinaria decurrens* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Alga Cokelat *T. decurrens* (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan pengamatan alga cokelat *T. decurrens* yang diperoleh memiliki karakteristik antara lain berwarna cokelat kuning kehijauan, daun berbentuk segitiga kerucut, tebal, bagian atas rata, bagian tengah agak cengkung dan tepi kerucut segitiga bergerigi. Daunnya tersebar pada batang yang tegak dan batang ini dapat bercabang pada pertumbuhannya yang maksimal. Ukuran alga ini maksimal 20 cm dengan kedalamannya 1-20 m. *T. decurrens* mendapatkan makanannya sendiri melalui fotosintesis, radiasi cahaya, dan menyerap garam mineral dan karbon dioksida (CO₂) yang ada dalam air (Zubia et al., 2020).

Spesies ini memiliki ciri spesifik berupa bentuk daun yang menyerupai kerucut segitiga. Alga cokelat ini tumbuh secara alami di hampir seluruh wilayah pesisir atau perairan dangkal. Karakteristik alga cokelat *T. decurrens* yang diamati di laboratorium sama seperti yang disebutkan oleh sampel alga cokelat *T. decurrens* yang telah diamati dalam uji herbarium di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin sehingga telah dipastikan sampel yang diperoleh merupakan spesies *T. decurrens*. Hasil identifikasi spesies alga cokelat dapat dilihat pada Lampiran 13.

2.4.2 Analisa Proksimat Alga Cokelat *T. decurrens*

Alga cokelat *T. decurrens* yang telah dicuci bersih, dikeringkan dan dihaluskan dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Serbuk kering *T. decurrens*

Serbuk kering *T. decurrens* kemudian dianalisis kadar proksimatnya. Analisis komponen kimia *T. decurrens* dilakukan dengan menggunakan uji proksimat, diantaranya untuk mengetahui kadar air, kadar protein, kadar abu, kadar lemak, kadar serat kasar dan kadar karbohidrat. Hasil analisis proksimat *T. decurrens* dapat dilihat pada Tabel 2 dan perhitungan hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Lampiran 14.

Tabel 2. Hasil Analisis Proksimat *T. decurrens*

Parameter	Kandungan (%)	Standar (<i>Sargassum hystrix</i>)
Kadar air	9,63	11,43
Kadar abu	23,21	33,33
Kadar protein	4,4	11,25
Kadar lemak	0,26	1,02
Kadar serat kasar	5,35	6,25
Kadar karbohidrat	57,15	36,71

Tabel 2 menunjukkan hasil proksimat diperoleh kadar karbohidrat sebesar 57,15% menunjukkan bahwa komponen terbesar dalam *T. decurrens* adalah karbohidrat yang merupakan komponen utama polisakarida. Hasil analisis yang diperoleh sesuai dengan Contreras et al. (2023) bahwa karbohidrat merupakan komponen utama untuk metabolisme karena menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk respirasi dan proses metabolisme dengan kandungan sekitar 50% per berat kering. Beberapa penelitian lain menunjukkan kadar karbohidrat dalam alga cokelat berkisar antara 30-60%. Novianti dan

Arisandi (2021) menganalisis konsentrasi kadar karbohidrat alga cokelat *Sargassum crassifolium* yang menghasilkan kadar karbohidrat sebesar 45,46%. Dzul et al. (2020) kadar karbohidrat dari alga cokelat *Sargassum fluitans* yang diperoleh dari perairan pantai Puerto, Meksiko sebesar 25,80%. Palanisamy et al. (2017) memperoleh kadar karbohidrat alga cokelat *Sargassum polycystum* sebesar 38,76% yang tumbuh di pantai Mannar, India. Rajauria et al. (2023) kadar karbohidrat alga cokelat *Ascophyllum nodosum* yang tumbuh di perairan Irlandia diperoleh sebesar 54,4%. Kandungan karbohidrat dan komponen lainnya yang bervariasi dipengaruhi oleh perbedaan spesies, lokasi geografis, musim dan suhu tempat tumbuhnya alga.

2.4.3. Ekstraksi dan Pemurnian Fukoidan dari *T. decurrens*

Fukoidan adalah polisakarida sulfat yang ditemukan di hampir semua rumput laut coklat, namun tampaknya tidak ditemukan di tanaman darat. Fukoidan mengandung komponen utama L-Fukosa dan sulfat yang memiliki sifat farmakologis dan biomedis. Studi sebelumnya melaporkan bahwa fukoidan yang diisolasi dari berbagai jenis rumput laut menunjukkan aktivitas sebagai antioksidan dan antiinflamasi (Palanisamy et al., 2017).

Ekstraksi fukoidan dilakukan menggunakan metode MAE (*microwave assisted extraction*) dengan menggunakan pelarut akuades. Penggunaan pelarut akuades dalam proses ekstraksi fukoidan dari *T. decurrens* didasarkan karena sifat fukoidan yang larut air (Zhang et al., 2020). Selain itu, akuades juga memiliki kelebihan dalam mempertahankan stabilitas dan muatan keseluruhan molekul, sehingga menghasilkan mutu fukoidan terutama mutu bioaktivitasnya. Kelarutan polisakarida sulfat (fukoidan) dalam akuades lebih tinggi dibandingkan menggunakan pelarut asam yang juga dapat mempengaruhi kemurnian fukoidan (Sinurat dan Kusumawati, 2017).

Pada proses ekstraksi fukoidan, beberapa proses perlu dilakukan untuk menghilangkan senyawa-senyawa lain. Penambahan CaCl_2 berperan dalam pengendapan alginat untuk meningkatkan kemurnian dan kualitas fukoidan (Wang dan Chen, 2016). Alginat pada dasarnya merupakan polisakarida yang larut air dan akan bereaksi membentuk kalsium alginat yang tidak larut dalam air dengan penambahan CaCl_2 (Panjaitan dan Natalia, 2021). Pada penambahan CaCl_2 untuk mengendapkan alginat yang bereaksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) membentuk gel atau padatan yang dapat dipisahkan dari larutan.

Ekstrak fukoidan yang diperoleh dari *T. decurrens* berbentuk endapan berwarna coklat tua dapat dilihat pada lampiran dokumentasi penelitian 25. Warna ekstrak yang diperoleh menyerupai fukoidan yang diekstraksi menggunakan pelarut akuades (Sinurat dan Kusumawati, 2017). Persentase rendemen ekstrak polisakarida sulfat yang diperoleh dari serbuk alga cokelat *T. decurrens* sebesar 10,45%. Nilai rendemen yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode konvensional. Pemurnian fukoidan sesuai dengan metode yang digunakan oleh Manikandan et al. (2020).

Pada proses pemurnian dilakukan metode pada penelitian Manikandan et al. (2020) dan Palanisamy et al. (2017) yaitu penambahan asam klorida (HCl) digunakan untuk menciptakan lingkungan asam dalam larutan. Lingkungan asam membantu memecah ikatan yang tidak diinginkan seperti ikatan antara fukoidan dan protein atau komponen lain yang mungkin ada dalam ekstrak awal. Sehingga akan meningkatkan kemurnian

fukoidan. Penambahan natrium hidroksida (NaOH) untuk menetralkan pH larutan supernatan setelah setrifugasi, sehingga fukoidan tetap stabil dan tidak terdegradasi. Setelah itu, penambahan etanol untuk mengendapkan fukoidan dari larutan. Fukoidan yang merupakan polisakarida sulfat yang kurang larut dalam etanol, sehingga pada penambahan etanol akan mengendapkan dan dapat dipisahkan melalui sentrifugasi. Hal ini penting dalam pemurnian karena membantu memisahkan fukoidan dari komponen lain yang masih larut. Setelah fukoidan diendapkan dalam etanol, endapan dilarutkan kembali dalam akuabides untuk mendapatkan fukoidan murni dalam bentuk larutan. Proses ini bertujuan untuk memurnikan fukoidan dari ekstrak alga cokelat dengan menghilangkan kontaminan dan komponen lain yang tidak diinginkan (Palanisamy et al., 2020). Hasil rendemen fukoidan alga cokelat *T. decurrens* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase Rendemen Ekstrak Fukoidan dari Alga Coklat

No.	Jenis Alga	Teknik Ekstraksi	Waktu Ekstraksi	Pelarut	Rendemen/Yield (%)	Referensi
1.	<i>Sargassum polycystum</i>	Maserasi	1 jam	Akuades	4.51	Marudhupandi et al., 2017
2.	<i>Sargassum binderi</i>	Maserasi	4 jam	Akuades	3.36	Sinurat dan Kusumawati 2017
3.	<i>Sargassum cinareum</i>	Refluks	4-5 jam	Akuades	2.78	Nurhidayati et al., 2020
4.	<i>Turbinaria decurrens</i>	MAE	30 menit	Akuades	10.45	Hasil Penelitian

2.4.4 Analisis Kadar Gula Total dan Analisis Kadar Sulfat Fukoidan *T. decurrens*

Penentuan kadar gula menggunakan metode fenol-asam sulfat yang disebut juga metode TS (*total sugar*) yang digunakan untuk mengukur gula total. Fenol-asam sulfat dapat digunakan untuk mendeteksi hampir semua kelas karbohidrat termasuk monosakarida, disakarida, oligosakarida dan polisakarida dengan cepat dan dengan cara sederhana. Fenol asam sulfat lebih menguntungkan karena pereaksi dan biaya analisis rendah, bahan mudah diperoleh, peralatan dan pengujiannya sederhana. Asam sulfat berfungsi memecah polisakarida dan disakarida menjadi monosakarida. Kandungan gula total dihitung menggunakan persamaan regresi linear kurva standar larutan glukosa yang diukur pada panjang gelombang 489 nm dengan persamaan $y = ax + b$, dimana y merupakan absorbansi sampel sedangkan x merupakan kandungan gula dalam sampel. Hasil pengukuran kadar gula dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil perhitungan kadar gula total dapat dilihat pada Lampiran 13.

Tabel 4. Hasil Analisis Kandungan Gula Total dan Kandungan Sulfat dalam Fukoidan *T. decurrens*

No.	Sampel	Kandungan Gula Total (mg/mL)	Kandungan Sulfat (mg/mL)
1.	Fukoidan <i>T. decurrens</i>	0,2395	0,7153
2.	Standar Fukoidan	0,3683	0,8149

Selanjutnya analisis kadar sulfat menggunakan prinsip turbidimetri menggunakan reagen barium klorida-gelatin (BaCl_2), metode ini biasanya digunakan untuk menganalisis kadar sulfat dalam fukoidan. Turbidimetri mengukur kekeruhan dalam larutan yang dihasilkan dari pembentukan partikel-partikel dalam larutan tersebut. Keunggulan dari metode ini karena menggunakan reagen yang mudah diperoleh, murah dan alat yang digunakan sederhana. Prinsip metode barium klorida-gelatin (BaCl_2 -gelatin) yaitu ion sulfat (SO_4^{2-}) bereaksi dengan ion barium (Ba^{2+}) untuk membentuk barium sulfat (BaSO_4) dalam bentuk endapan keruh tidak larut air. Reaksi analisis kadar sulfat dapat dilihat pada persamaan 10. Kekeruhan yang dihasilkan oleh endapan umumnya dibentuk oleh gelatin (Manikandan, et al., 2020). Kekeruhan yang dihasilkan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 300-400 nm menunjukkan bahwa serapan puncak polisakarida sulfat dari alga cokelat (*Turbinaria decurrens*) terdapat pada panjang gelombang 302 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian Moon et al. (2009) bahwa serapan polisakarida sulfat khususnya fukoidan terdapat pada kisaran 260-350 nm dengan peak maksimum 302 nm.



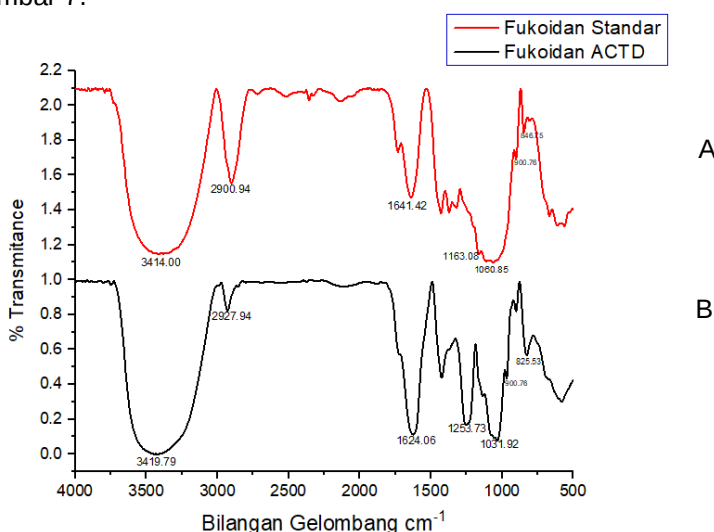
Kandungan sulfat diukur menggunakan persamaan regresi linear kurva standar larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) yang diukur pada panjang gelombang 302 nm dengan persamaan $y = ax+b$, nilai y merupakan absorbansi sampel sedangkan x merupakan kandungan sulfat dalam sampel. Hasil pengukuran kadar sulfat dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan kadar sulfat dapat dilihat pada Lampiran 17.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa kandungan sulfat fukoidan *T. decurrens* memiliki kandungan sulfat yang rendah dibandingkan standar fukoidan. Perbedaan kandungan sulfat disebabkan beberapa faktor diantaranya proses ekstraksi, pelarut yang digunakan, dan kondisi geografis pengambilan sampel. Semakin tinggi kandungan sulfat dalam polisakarida sulfat semakin tinggi pula potensi dalam menghasilkan aktivitas biologis. Wang et al. (2023) melaporkan bahwa fukoidan yang merupakan polisakarida sulfat yang memiliki berbagai manfaat biologis yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan terapi untuk kesehatan manusia karena fukoidan menyumbangkan sebagian besar energi saat dikonsumsi dan dapat dijadikan sumber metabolisme pada manusia. Beberapa manfaat fukoidan dalam bidang medis diantaranya aktivitas antioksidan yang kuat sehingga mampu dijadikan sebagai agen terapeutik. Manfaat lain dari fukoidan yaitu memiliki aktivitas sebagai antikanker, imunomodulatori, antidiabetes, antibakteri dan antiinflamasi. Selain itu, fukoidan yang

Sebagian besar terdiri dari polisakarida yang memiliki kandungan sulfat memiliki potensi untuk dikembangkan dalam formulasi biomedis (Mabate et al., 2021).

2.4.6 Karakterisasi Struktur Fukoidan *T. decurrens* dengan menggunakan FTIR dan H-NMR

Karakterisasi struktur fukoidan *T. decurrens* dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR dan $^1\text{H-NMR}$. Karakteristik gugus fungsi yang dianalisis dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 7 dengan menunjukkan beberapa puncak gugus fungsi khas untuk polisakarida. Puncak-puncak yang teridentifikasi diantaranya pita lebar pada bilangan gelombang 3419.79 cm^{-1} sesuai dengan peregangan O-H dari gugus hidroksil pada semua senyawa polisakarida. Pada pita puncak bilangan gelombang 2927.94 cm^{-1} mengindikasikan regangan C-H yang menunjukkan adanya gugus metil (CH_3) atau metilen (CH_2) pada fukoidan. Kemudian pada pita serapan 1624.06 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C=O (karbonil) pada bagian asam uronat. Kemudian pada pita serapan 1253.73 cm^{-1} dan 1031.92 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus sulfat S=O yang merupakan ciri khas polisakarida sulfat. Ini berhubungan juga dengan regangan S=O yang didukung oleh puncak serapan 900.76 dan 825.53 cm^{-1} yaitu puncak khas untuk gugus sulfat dengan regangan C-O-S dalam rantai fukoidan. Spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 7.

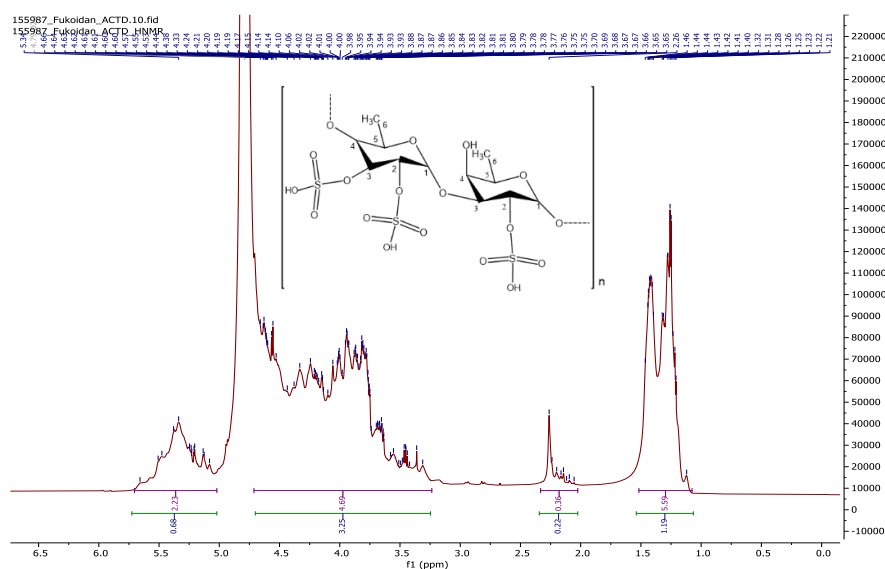


Gambar 7. Spektrum FTIR (A) Fukoidan Standar dari *Fucus vesiculosus* dan (B) Fukoidan hasil ekstrak dari *T. decurrens*

Menurut Shanthi et al. (2021) spektrum FTIR dari fukoidan menunjukkan banyak puncak karakteristik untuk polisakarida. Puncak-puncak yang teridentifikasi diantaranya pita lebar pada $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan regangan O-H untuk gugus hidroksil. Gugus karboksil pada bagian asam uronat menunjukkan puncak karakteristik peregangan simetris sekitar $1650\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$. Palanisamy et al. (2017) menunjukkan puncak karakteristik fukoidan pada pita $1270\text{--}1220\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan puncak khas untuk getaran asimetris dari gugus sulfat (S=O) dan pada pita $1080\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan regangan simetris S=O (Sugiono, 2017). Puncak kecil pada sekitar

serapan 900-800 cm^{-1} adalah karakteristik peregangan C-O-S yang menunjukkan adanya gugus sulfat yang biasanya berlimpah pada fukoidan (Panjaitan dan Natalia, 2021). Secara keseluruhan, fukoidan yang diekstraksi menunjukkan profil absorbansi yang serupa dengan spektrum standar fukoidan *Fucus vesiculosus* yang dianalisis dan spektrum FTIR fukoidan pada Shanthi et al. (2021) dan Palanisamy et al. (2017).

Pembuktian lebih lanjut terhadap fukoidan dilakukan dengan spektroskopi $^1\text{H-NMR}$ (Gambar 8). Spektrum $^1\text{H-NMR}$ fukoidan menunjukkan karakteristik sinyal dengan nilai geseran kimia antara 1,1-5,65 ppm. Sinyal pada geseran kimia 1,5-1,1 ppm menunjukkan proton dari gugus metil (CH_3) yang terikat pada C5 dari fukosa. Proton ini menghasilkan sinyal yang relatif tajam di sekitar 1,5-1,1 ppm. Sementara itu pada geseran kimia antara 4,5-3,5 ppm daerah proton di kisaran ini kemungkinan berasal dari sinyal proton yang terikat carbon yang berdekatan dengan oksigen (-OH atau -OR). Pada puncak geseran kimia disekitar 5,68-5,03 ppm menunjukkan karakteristik proton anomerik (H1) yang terikat pada C1 dari fukosa. Bentuk spektrum serupa juga diamati berbagai literatur dalam fukoidan rumput laut cokelat *Polycystum* (Palanisamy et al., 2017), *T. decurrens* (Shanthi et al., 2021) dan *T. conoides* (Manikandan et al., 2015). Secara keseluruhan, spektrum $^1\text{H-NMR}$ dan struktur fukoidan hampir sesuai dengan satu sama lain. Gugus metil, proton dari cincin gula dan proton anomerik semuanya memberikan sinyal daerah yang diharapkan.



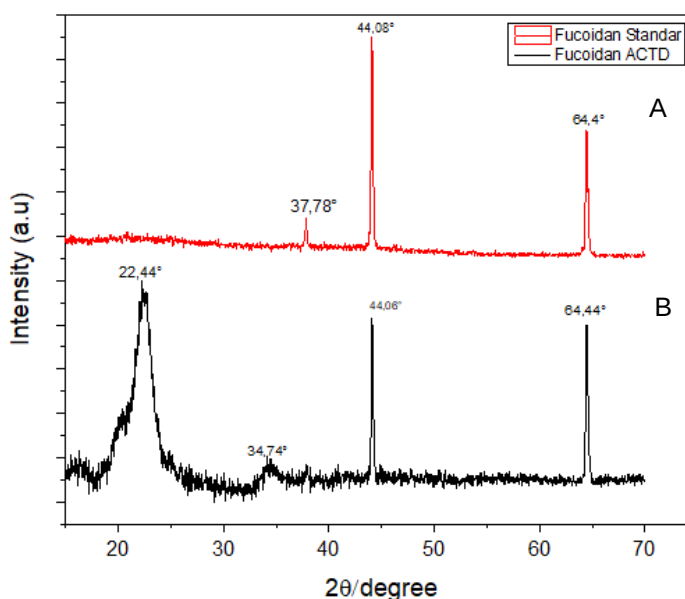
Gambar 8. Spektrum $^1\text{H-NMR}$ Fukoidan *T. decurrens*

Menurut Palanisamy et al (2017), spektrum $^1\text{H-NMR}$ pada nilai geseran kimia berkisar antara 1,0-5,5 ppm merupakan tipikal geseran kimia untuk polisakarida sulfat dari rumput laut. Sinurat et al. (2016), menyebutkan proton dari gugus metil fukosa kemungkinan akan muncul daerah sekitar 1,0-2,0 ppm pada spektrum $^1\text{H-NMR}$. Proton-proton yang terikat pada atom karbon dalam cincin karbohidrat, terutama yang tidak langsung terikat pada gugus fungsional seperti sulfat, akan menghasilkan sinyal di kisaran 3,0-4,0 ppm. Fukoidan memiliki banyak ikatan C-H yang berbeda di cincin karbohidrat, sehingga dapat menghasilkan banyak puncak kecil yang terlihat pada area

ini. Puncak ini juga bisa berasal dari proton yang berada di dekat gugus sulfat yang terikat pada atom karbon. Kemudian Marudhupandai et al. (2015) menyatakan bahwa sinyal anomeric yang terikat pada karbon pertama dari cincin gula biasanya muncul di sekitar 4,5-5,5 ppm.

2.4.7 Karakterisasi Fukoidan *T. decurrens* dengan menggunakan XRD

Karakterisasi selanjutnya menggunakan XRD dapat digunakan untuk menentukan derajat kristalinitas dari fukoidan *T. decurrens*. Hasil XRD fukoidan dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil ini menunjukkan grafik difraktogram muncul pada $2\theta = 22.4^\circ$, 34.74° , 44.06° dan 64.44° dan mempunyai puncak yang lebar dan lancip. Difraksi XRD fukoidan biasanya mengacu pada tiga puncak pola XRD yaitu 38.13° , 44.43° dan 64.66° . Hasil penelitian Shanthi et al. (2021) juga menunjukkan difraksi XRD mengacu pada puncak 32.4° dan 46.4° . Selanjutnya hasil pengamatan standar fukoidan menunjukkan tiga puncak pola XRD sebesar 37.78° , 44.08° dan 64.4° yang dapat dilihat pada Gambar 9.a



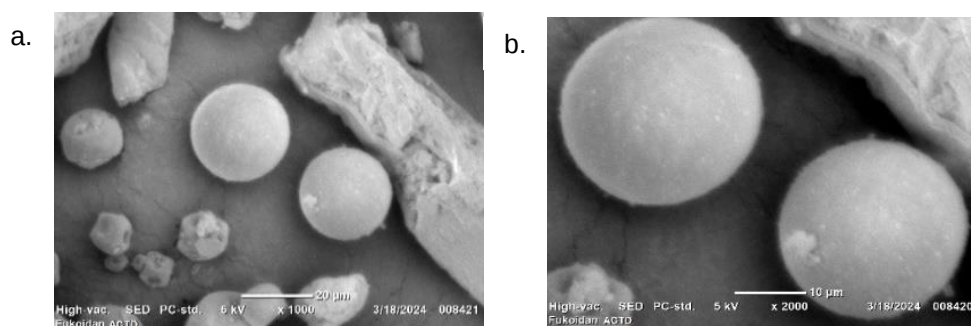
Gambar 9. Spektrum difraksi sinar-X untuk (A) Standar Fucoidan *Fucus vesiculosus* (B) Fucoidan *T. decurrens*

Pada Gambar 9.A menunjukkan puncak difraksi yang sangat tajam pada posisi 2θ sekitar 37.78° , 44.08° dan 64.4° yang mengindikasikan bahwa material bersifat kristalin. Sedangkan pola difraksi pada Gambar 9.B menunjukkan puncak lebar pada 22.44° yang mengindikasikan bahwa material kemungkinan memiliki kristalin yang rendah atau menjadi indikasi adanya fase amorf, karena material amorf cenderung menghasilkan difraksi yang melebar dan tidak beraturan. Puncak yang lebih lebar menunjukkan ukuran kristalin yang lebih kecil. Hal ini sama dengan penelitian Kamar et al., (2024) yang menyatakan bahwa secara umum untuk fukoidan tidak mempunyai puncak yang khas

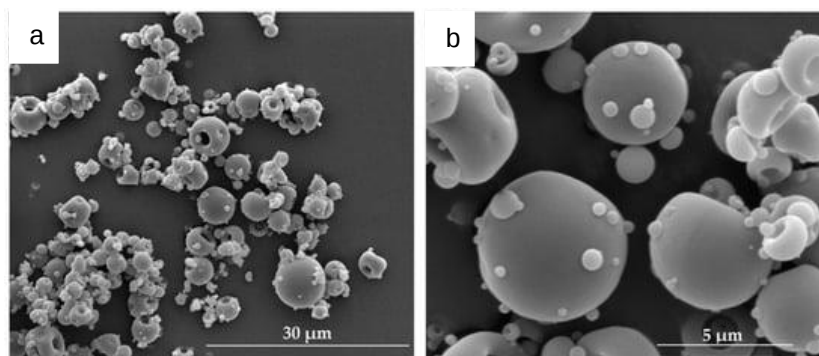
dan menunjukkan pola difraksi yang lebih luas, hal ini mungkin disebabkan karena fukoidan merupakan material amorf atau tidak beraturan. Komposisi kimia fukoidan yang heterogen menghasilkan struktur konformasi yang tidak beraturan yang dapat mengindikasikan bahwa fukoidan merupakan material amorf (Shanthi et al., 2021).

2.4.8 Analisis Morfologi Permukaan Fukoidan *T. decurrens* dengan Menggunakan SEM

Karakteristik fukoidan dapat diperjelas lebih lanjut dengan pengamatan morfologi menggunakan Scanning Electron Mikroskop (SEM). Morfologi fukoidan kemudian dibandingkan dengan hasil SEM dari penelitian Citkowska et al (2019) pada Gambar 11 dan morfologi permukaan fukoidan *T. decurrens* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar Scanning Electron Microscope (SEM) Fukoidan dari *T. decurrens*
(a) Perbesaran x1000 (b) Perbesaran x2000



Gambar 11. Gambar Scanning Electron Microscope (SEM) Fucooidan dari *Sargassum* sp (a) Pembesaran x5000; (b) Pembesaran x20000 (Citkowska et al., 2019)

Hasil menunjukkan morfologi fukoidan *T. decurrens* pada Gambar 10 terlihat bentuk partikel-partikel memiliki bentuk yang bervariasi dengan beberapa partikel berbentuk bulat atau hampir bulat. Seperti yang terlihat pada gambar perbesaran 2000 bentuk partikel bulat yang terlihat terkontrol. Ukuran partikel bervariasi, tetapi umumnya dalam rentang ukuran mikrometer seperti yang ditunjukkan pada pembesaran 2000 dengan skala 20 µm terlihat detail permukaan partikel bulat yang terlihat jelas. Permukaan partikel fukoidan terlihat bulat tampak halus, meskipun ada sedikit tekstur

yang dapat dilihat pada permukaan beberapa partikel. Hal ini kemungkinan menunjukkan adanya interaksi atau penggabungan dengan partikel lain atau akibat dari proses isolasi (Keshk et al., 2023). Selain partikel bulat, terdapat partikel dengan bentuk tidak beraturan yang terlihat pada Gambar 10. Partikel-partikel ini tampaknya lebih kecil dan mungkin pecahan atau bagian fragmen dari material yang tidak berbentuk bulat. Pada gambar dapat dilihat adanya kecenderungan partikel beragregasi. Hal ini umum terjadi pada bahan organik seperti fukoidan yang memiliki afinitas untuk berinteraksi dan membentuk kluster (Gruskiene et al., 2024). Pengaruh metode MAE terhadap morfologi fukoidan yaitu adanya perubahan struktur permukaan. Pada hasil SEM, fukoidan yang diekstraksi dengan MAE memungkinkan menunjukkan struktur yang lebih bulat, ukuran partikel lebih kecil dan residu dinding sel yang lebih merata dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional. MAE meningkatkan efisiensi ekstraksi fukoidan dengan memecah struktur dinding sel lebih efektif (Rodriguez-Jasso et al., 2024).

2.5 Kesimpulan

Hasil isolasi fukoidan dari alga cokelat *T. decurrens* diperoleh rendemen sebesar 10,45 %, kandungan gula total 0,2395 mg/mL dan kandungan sulfat sebesar 0,7153 mg/mL. Hasil karakteristik fukoidan menunjukkan adanya serapan pada daerah 1253.73, 1031.92 dan 825.53 cm^{-1} yang merupakan daerah sidik jari khas polisakarida sulfat. Kemudian nilai gesaran kimia menggunakan $^1\text{H-NMR}$ menunjukkan karakteristik sinyal dengan nilai geseran kimia antara 1,1-5,6 ppm. Sifat kristanilitas fukoidan *T. decurrens* yang dianalisis XRD menunjukkan bahwa fukoidan termasuk senyawa amorf dengan ukuran partikel 14,23 nm. Hal ini didukung oleh hasil morfologi fukoidan *T. decurrens* yang diukur menggunakan SEM terlihat bahwa bentuknya bulat tidak beraturan.

2.6 Daftar Pustaka

- Ahmad, T., Eapen, M.S., Ishaq, M., Park, A.Y., Karpinić, S.S., Stringer, D.N., et al. 2021. Anti-Inflammatory Activity of Fucoïdan Extracts In Vitro. *Marine Drugs*. 19(12): 702. Doi: <https://doi.org/10.3390/md19120702>.
- Clement, M.K., Tissot, B., Chevolot, L., Asjadj, E., Du, Y., Curmi, P.A., dan Daniel, R. 2010. NMR Characterization And Molecular Modeling Of Fucoïdan Showing The Importance Of Oligosaccharide Branching In Its Anticomplementary Activity. *Glycobiology*. 20(7): 883-940. Doi: [10.1093/glycob/cwq046](https://doi.org/10.1093/glycob/cwq046).
- Contreras, E.A.F., Araujo, R.G., Rodriguez-Aguayo, A.A., Guzman-Roman, M., Garcia-Venegas, J., et al. 2023. Polyscharides from the *Sargassum* and Brown Algae Genus: Extraction, Purification, and their Potential Therapeutic Applications. *Marine drugs*. 12 (13): 2445. [10.3390/plants12132445](https://doi.org/10.3390/plants12132445).
- Goncalves, J., Nunes, C., Ferreira, L.P., dan Cruz, M.M. 2021. Coating of Magnetite Nanoparticles with Fucoïdan to Enhance Magnetic Hyperthermia Efficiency. *Nanomaterials*. 11(11):2939. Doi: [10.3390/nano11112939](https://doi.org/10.3390/nano11112939).
- Gruskiene, R., Galinskaite, A., Kavleiskaja, A., Staneviciene, R., Serviene, E.E., dan Sereikaite, J. 2024. Fucoïdan as a carrier of antimicrobial peptide: Preparation and

- characterization of nisin-loaded particles. *Elsevier*. 191. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115598>.
- Handayani, Tri. 2018. Mengenal Makroalga *Turbinaria* dan Pemanfaatannya. *Oseana*. 13 (4): 28-39. Doi: [10.14203/oseana.2018.Vol.43No.4.5](https://doi.org/10.14203/oseana.2018.Vol.43No.4.5).
- Jawardena, T.U., Fernando, I.P., Lee, W.W., Sanjeewa, K.K.A., Kim, H.S., Lee, D.S., and Jeon Y.J. 2019. Isolation and purification of fucoidan fraction in *Turbinaria ornata* from the Maldives; Inflammation inhibitory potential under LPS stimulated conditions in in-vitro and in-vivo models. *Elsevier*. 131: 614-623. Doi: [10.1016/j.ijbiomac.2019.03.105](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.105) 0141-8130.
- Jun, J.Y., Jung, M.J., Jeong, I.-H., Yamazaki, K., kawai, Y., dan Kim, B.M. 2018. Antimicrobial and Antibiofilm Activities of Sulfated Polysaccharides from Marine Algae against Dental Plaque Bacteria. *Marine Drugs*. 16(9): 301. <https://doi.org/10.3390/md16090301>.
- Keshk, A.A., Elsayed, N.H., Almutairi, F.M., Al-Anazi, M., Said, S., Alturwi, .M., et al. 2023. Effect of green and sustainable extracted fucoidan polysaccharide as a corrosion inhibitor in 3.5% NaCl. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 3. Doi: [10.1007/s13399-022-03579-7](https://doi.org/10.1007/s13399-022-03579-7).
- Li, Y., Zheng, Y., Zhang, Y., Yang, Y., Wang, P., Imre, B., et al. 2021. Brown Algae Carbohydrates: Structures, Pharmaceutical Properties, and Research Challenges. *Marine Drugs*. 19(11): 620. Doi: <https://doi.org/10.3390/md19110620> .
- Lim, S. J., Aida, W. M. W., Maskat, M.Y., Latip, J., Badri, K.H., Hassan, O., et al. 2017. Characterisation of Fucoidan Extracted from Malaysian *Sargassum binderi*. *Food Chemistry*. 209: 267-273. Doi: [10.1016/j.foodchem.2016.04.058](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.058).
- Lim, S.J., and Mustapha, W.A. 2017. Extraction of Sulfated Polysaccharides (fucoidan) from Brown Seaweeds (*Pharopyceae*) Species. *Biodiversitas*, 21(7): 3179-3177. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210739>.
- Lin, J., Jiao, G., and Kermanshahi-pour, A. 2022. Algal Polysaccharides-Based Hydrogels: Extraction, Synthesis, Characterization, and Applications. *Marine Drugs*. 20(5): 306. Doi: <https://doi.org/10.3390/md20050306> .
- Manikandan, R., Parimalandhini, D., Mahalaksmi, K., Beulaja, M., Arumugam, M., Janarthanan, S., et al. 2020. Studies On Isolation, Characterization Of Fucoidan From Brown Algae *Turbinaria Decurrens* And Evaluation Of It's In Vivo And In Vitro Anti-Inflammatory Activities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 160: 1263-1276. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.152>.
- Novianti, S dan Arisandi, A. 2021. Analysis Concentration Levels of Fat, Protein, Fiber and Charbohydrates Brown Algae (*Sargassum crassifolium*) at Different Locations. *Juvenil*. 2 (1): 32-38. Doi: [10.21107/juvenil.v2i1.9767](https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i1.9767).
- Nurhidayati, L., Fitriani, Y., Abdillah, S., Mumpuni, E., dan Rafi, M. 2020. Sifat Fisikokimia dan Aktivitas Antioksidan Cude Fukoidan Hasil Ekstraksi dari *Sargassum cinereum*. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 18 (1): 68-74.

- Palanisamy, S., Vinosha, M., Marudhupandi, T., Rajasekar, P., and Prabhu, N. M. 2017. Isolation of Fucoidan from *Sargassum polycystum* Brown Algae: Structural Characterization, *in Vitro* Antioxidant and Anticancer Activity. *Elsevier*. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.182>.
- Panjaitan, R. S., dan Natalia, L. 2021. Ekstraksi Polisakarida Sulfat dari *Sargassum polycystum* dengan Metode Microwave Assisted Extraction dan Uji Toksisitasnya. *JPB Kelautan dan Perikanan*. 16 (1): 23-32. Doi: [10.15578/JPBKP.V16I1.692](https://doi.org/10.15578/JPBKP.V16I1.692).
- Rajauria, G., Ravindran, R., Vaquero, M.G., Rai D.K., Sweeney, T., O'Doerty, J. 2023. Purification and Molecular Characterization of Fucoidan Isolated from *Ascophyllum nodosum* Brown Seaweed Grown in Ireland. *Marine Drugs*. 21 (5): 315. Doi: [10.3390/md21050315](https://doi.org/10.3390/md21050315)
- Rodriguez-Jasso, R. M., MUatto, S.I., Pastrana, L., Aguilar, C. 2011. Microwave-assisted extraction of sulfated polysaccharides (fucoidan) from brown seaweed. *Carbohydrate Polymers*. 86(3): 1137-1144. Doi: [10.1016/j.carbpol.2011.06.006](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.006).
- Sarita, I., Subrata, I. M., Sumaryani, N. P., dan Rai, I. G. A. 2021. Identifikasi Jenis Rumput Laut yang Terdapat pada Ekosistem Alami Perairan Penida. *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*. 10(1): 141-153. Doi: [10.5281/ZENODO.4692118](https://doi.org/10.5281/ZENODO.4692118).
- Shanthi, N., Arumugam, P., Murugan, M., Sudhakar, M.P., and Arunmukar, K. 2021. Extraction of Fucoidan from *Turbinaria decurrens* and the Synthesis of Fucoidan-Coated AgNPs for Anticoagulant Application. *ACS Omega*. 6: 30998-31008. [10.1021/acsomega.1c03776](https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03776) .
- Sinurat, E., dan Kusumawati, R. 2017. Optimasi Metode Ekstraksi Fucoidan Kasar dari Rumput Laut Cokelat *Sargassum binderi* Sonder. *JPB Kelautan dan Peikanan*. 4 (1): 41-48. Doi: [10.15578/jpbkp.v12i2.388](https://doi.org/10.15578/jpbkp.v12i2.388).
- Sifat, R., Husni, A., dan Isnansetyo, A. 2017. Antioxidant Activity and Proximate Analysis of Dry Powder from Brown Seaweed *Sargassum hystris*. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. 19(1):29. Doi: [10.22146/jfs.23885](https://doi.org/10.22146/jfs.23885).
- Suprunchuk, V. 2021. Ultrasonic-treated Fucoidan as a Promising Therapeutic Agent. *Polymers in Medicine*. 51(2): 85-90. Doi: [10.17219/pim/143961](https://doi.org/10.17219/pim/143961).
- Wang, S.H., Huang, C.Y, Chen, C.Y., Chang, C.C., Huang, C.Y., Dong, C.D., et al. 2020a. Structure and Biological Activity Analysis of Fucoidan Isolated from *Sargassum siliculosum*. *ACS Publications*. 12(5): 32447-3245. Doi: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04591>.
- Wang, Shao-Hua., Huang, C. Y., Chen, C. Y., Chang, C. C., Huang, C. Y., Dong, C. D., et al. 2020b. Isolation and Purification of Brown Algae Fucoidan from *Sargassum siliculosum* and Analysis of Anti-lipogenesis Activity. *Biochemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107798>.
- Weelden, G.V., Bobinski, M., Okta, K., Weelden, W.J.V., Romano, A., and Pijnenborg, J.M.A. 2019. Fucoidan Structure and Activity in Relation to Anti-Cancer Mechanisms. *Mar. Drugs*, 17(1): 32. Doi: <https://doi.org/10.3390.md17010032>.

- Widiatma, B.O., Hardoko dan Sasmito, B. B. 2013. Pengaruh Ekstrak Kasar Fukoidan Alga Cokelat *Sargassum filipendula* sebagai Antikanker terhadap Viabilitas Sel Hela. *THPi Student Journal*. 1 (1): 1-10.
- Yin, P., Yang, X., Xia, B., Yang, Z., Wang, Z.I., Wang, J., Li, T., et al. 2019. The Fucoidan From Sea Cucumber *Apostichopus Japonicus* Attenuates Lipopolysaccharide-Challenged Liver Injury In C57BL/6J Mice. *Journal of Functional Foods*. 61: 103493. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103493>.
- Yuan, Y., and Macquarrie, D.J. 2015. Microwave Assisted Extraction of Sulfate Polysaccharides (Fucoidan) from *Ascophyllum nodosum* and its Antioxidant Activity. *Carbohydrate Polymers*. 228, 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.04.057>.
- Zhong, H., Gao, Cheng, C., Liu, C., Wang, Q., dan Han, X. 2020. The Structural Characteristics of Seaweed Polysaccharides and Their Application in Gel Drug Delivery Systems. *Marine Drugs*. 18(12): 658. Doi: <https://doi.org/10.3390/md18120658>.
- Zubia, M., Mattio, L., dan Stiger, V. 2020. A comprehensive review of the brown macroalgal genus *Turbinaria* J.V. Lamouroux (Fucales, Sargassaceae). *Journal of Applied Phycology*. 32(5). Doi: [10.1007/s10811-020-02188-z](https://doi.org/10.1007/s10811-020-02188-z).