



KOMPOSISI PROKSIMAT DAN PROFIL SPEKTRA INFRAMERAH *Gracilaria* sp. DARI LIMA LOKASI PANEN

Sukma Budi Prasetyati¹, Hanifah Nuryani Lioe^{1*}, Nancy Dewi Yuliana¹,
Azis Boing Sitanggang¹, Aef Permadi²

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University
Jalan Lingkar Akademik, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

²Prodi Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan, Sekolah Tinggi Perikanan, Politeknik Ahli Usaha Perikanan
(POLTEK AUP)
Jalan AUP, Pasar Minggu, Jakarta Selatan, 12520

Diterima: 25 Agustus 2025/Disetujui: 3 Desember 2025

*Korespondensi: hanifahlio@apps.ipb.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Prasetyati, S. B., Lioe, H. N., Yuliana, N. D., Sitanggang, A. B., & Permadi, A. (2026). Komposisi proksimat dan profil spektra inframerah *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 29(1), 15-28. <http://dx.doi.org/10.17844/85qbhc79>

Abstrak

Gracilaria sp. merupakan rumput laut merah ketiga terbanyak dibudidayakan di Indonesia terutama di 10 provinsi antara lain Sulawesi Selatan dan Jawa Barat. Karakteristik kimia rumput laut dipengaruhi oleh lokasi panen. Tujuan penelitian ini untuk mengkarakterisasi secara kimia dan mengelompokkan *Gracilaria* sp. berdasarkan profil spektra *infra-red* (IR). Sampel diperoleh dari lima provinsi penghasil *Gracilaria* (68% total produksi nasional pada 2021): Sulawesi Selatan (SS); Jawa Barat (JB); Jawa Tengah (JT); Kalimantan Timur (KT); dan Nusa Tenggara Barat (NB). Data profil IR sampel dari lima lokasi dan lima ulangan dianalisis statistik multivariat dengan PCA dan OPLS-DA. Kadar air dan abu *Gracilaria* berbeda nyata antar lokasi panen, masing-masing dengan kisaran 8,64–19,79% (bb); dan 35,04–44,33% (bk). Kadar lemak, protein dan karbohidrat tidak berbeda nyata antar sampel, masing-masing, yaitu 0,51–1,25, 8,75–10,40, dan 46,21–54,83% (bk). Profil IR *Gracilaria* mengelompokkan sampel menjadi tiga kelompok berdasarkan hasil PCA dan OPLS-DA, yaitu kelompok sampel I dari sekitar Laut Jawa (JB dan JT), kelompok II Selat Makasar (KT) dan kelompok III Laut Flores (SS dan NB). Hal ini menunjukkan bahwa komposisi kimia *Gracilaria* berbeda berdasarkan kelompok lokasi panen. Hasil ini sejalan dengan hasil OPLS-DA profil spektra IR pada 1.539 dan 1.414 cm^{-1} (gugus fungsional N-H dan O-H *bending*) sebagai pembeda untuk kelompok I (JB dan JT); 1.035 dan 791 cm^{-1} (gugus fungsional C-O) sebagai pembeda kelompok II (KT); serta 2.930–2.927 cm^{-1} (gugus C-H) dan 1646 cm^{-1} (gugus fungsional C=O) sebagai pembeda kelompok III (SS dan NB). Spektra IR dapat diterapkan untuk mengidentifikasi asal geografis rumput laut.

Kata kunci: alga merah, gugus fungsional, PCA, rumput laut, OPLS-DA

Proximate Composition and Infra-Red Spectra Profiles of *Gracilaria* sp. from Five Harvest Locations

Abstrak

Gracilaria sp., a member of the red algae, is the third most widely cultivated seaweed in Indonesia, particularly across ten provinces spanning South Sulawesi to West Java. The chemical characteristics of seaweed are mostly influenced by the harvest location. This study aimed to characterize the proximate composition of *Gracilaria* and classify it based on infrared (IR) spectral profiles. Samples were collected from five major producing provinces representing 68% of the total national production in 2021: West Java (JB), Central Java (JT), East Kalimantan (KT), South Sulawesi (SS), and West Nusa Tenggara (NB). Multivariate statistical analysis (PCA and OPLS-DA) was applied to the IR spectral datasets derived from

five locations with five replicates per site. The moisture and ash contents of *Gracilaria* were significantly different, ranging from 8.64 to 19.79% (wb) and 35.04 to 44.33% (db). In contrast, the lipid, protein, and carbohydrate contents did not differ significantly, ranging from 0.51 to 1.25, 8.75–10.40, and 54.83–46.21% (db), respectively. PCA and OPLS-DA grouped the samples into three clusters: group I (JB and JT, Java Sea), group II (KT, Makassar Strait), and group III (SS and NB, Flores Sea). The OPLS-DA analysis results showed that wavenumbers 1539 and 1414 cm^{-1} (N-H and O-H functional groups) were markers for group I; 1035 and 791 cm^{-1} (C-O) for group II; and 2,930-2,927 cm^{-1} (C-H) and 1,646 cm^{-1} (C=O) for group III. These findings demonstrate that the combination of IR spectroscopy and multivariate analysis provides a robust approach for distinguishing the chemical composition and geographic origin of *Gracilaria*.

Keywords: functional groups, PCA, OPLS-DA, red algae, seaweed

PENDAHULUAN

Gracilaria sp. merupakan rumput laut dari kelas Rhodophyceae yang banyak dibudidayakan secara polikultur di tambak-tambak masyarakat dengan ikan nila atau ikan bandeng. *Gracilaria* termasuk dalam kategori *edible seaweed* (Ma'ruf *et al.*, 2013). Produksi *Gracilaria* dunia menurut laporan FAO pada tahun 2023 mencapai 16,5% dari produksi total makroalga (36,3 juta ton) dan menjadi yang terbesar ketiga paling banyak dibudidayakan setelah spesies *Laminaria* sp. (36,7%) dan *Kappaphycus* sp. 17,2% (Food and Agriculture Organization [FAO], 2023). Budidaya *Gracilaria* di Indonesia menempati peringkat ketiga terbesar setelah rumput laut *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma spinosum*. Produksi rumput laut *Gracilaria* sp. Indonesia yang merujuk pada laporan KKP di tahun 2024 sebanyak 1.626.281,20 ton yang didapatkan dari 10 provinsi, antara lain Sulawesi Selatan, Jawa Barat, Kalimantan Timur, Jawa Tengah, Banten, Gorontalo, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Tengah, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Selatan. Lima provinsi pertama menyumbang produksi terbanyak sebesar 94,20% dari total produksi (Kementerian Kelautan dan Perikanan RI [KKP], 2024).

Produk primer dari *Gracilaria* adalah agar yang mengandung karbohidrat sekitar 50% dalam basis kering (Jönsson *et al.*, 2020). *Gracilaria* mengandung komponen karbohidrat dan protein, termasuk asam amino bebas dan peptida yang berkontribusi terhadap flavor makanan. Kandungan protein alga merah dapat ditemukan dalam jumlah yang relatif tinggi (5-44%) dibandingkan kandungannya pada alga hijau (7-29%) dan alga cokelat (3-15%) (Fleurence *et al.*, 2017,

Pimentel *et al.*, 2019). *Gracilaria* terdiri dari sedikitnya 230 spesies yang ditemukan secara global, 13 diantaranya ditemukan di Indonesia (Meinita *et al.*, 2021). Komposisi proksimat *Gracilaria* kering dari berbagai spesies serta lokasi berbeda baik di dalam maupun luar Indonesia disimpulkan sebagai berikut: karbohidrat 49,5-67,19%; protein 6,68-22,13%; lemak 0,19-3,47%; dan abu 4,35-14,62% (Da Costa *et al.*, 2015; Sakthivel & Pandima Devi, 2015; Andiska *et al.*, 2019; Rasyid *et al.*, 2019; Purwaningsih & Deskawati, 2020; Yudiati *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2021). Kadar protein yang relatif tinggi mencapai 22,13% (Banik *et al.*, 2023) yang didapatkan dari *Gracilaria* yang tumbuh di Teluk Bengal (Bangladesh) memungkinkan rumput laut ini dimanfaatkan sebagai sumber protein dan turunannya.

Lokasi panen yang berbeda dapat memengaruhi komposisi proksimat *Gracilaria*. Komposisi kimia *Gracilaria* yang berbeda menurut lokasi panen perlu dikenali untuk memudahkan aplikasinya dalam berbagai bidang (Ma'ruf *et al.*, 2013). *Gracilaria* dengan kandungan agar tinggi dapat digunakan sebagai pengental, pengemulsi dan bahan pengikat dalam berbagai produk pangan dan non-pangan (Pereira *et al.*, 2021). *Gracilaria* dengan kandungan protein tinggi dapat digunakan sebagai sumber protein, bahkan pangan fungsional karena kandungan peptida bioaktifnya (Lafarga *et al.*, 2020). Peptida bioaktif dari rumput laut didapatkan melalui proses ekstraksi protein dan hidrolisis enzimatis, kemudian dilanjutkan dengan fraksinasi menggunakan ultrafiltrasi dan kromatografi. Validasi peptida umami dilakukan dengan uji *in vitro* atau *in silico* (Cermeño *et al.*, 2020; Echave *et al.*, 2021).



Informasi mengenai profil kimia *Gracilaria* juga didapatkan melalui analisis menggunakan spektrofotometer FTIR-ATR untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi senyawa yang dihasilkan berdasarkan vibrasi molekul (Simatupang *et al.*, 2023). Profil spektra FTIR dapat digunakan untuk pengelompokan sampel dengan bantuan analisis statistik multivariat (Budziak-Wieczorek *et al.*, 2023; Simatupang *et al.*, 2023; Dimakopoulou-Papazoglou *et al.*, 2025). Penggunaan profil spektra IR untuk membedakan sampel rumput laut khususnya *Gracilaria* belum cukup diungkap, karena itu studi ini fokus pada profil spektra IR *Gracilaria* dari berbagai lokasi untuk melihat perbedaannya. Hal ini disebabkan *Gracilaria* dari lokasi panen berbeda memiliki komposisi kimia seperti protein yang berbeda konsentrasinya (Purwaningsih & Deskawati, 2020; Yudiati *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2021). Pengelompokan sampel berdasarkan profil spektra IR akan lebih memudahkan karena pengukuran spektra IR yang jauh lebih cepat.

Riset tentang karakterisasi komposisi proksimat *Gracilaria* dari berbagai lokasi telah banyak dilakukan, namun pengelompokan *Gracilaria* berdasarkan profil spektra IR dari berbagai lokasi panen dari lima provinsi utama penghasil *Gracilaria* belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk karakterisasi komposisi proksimat *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen yang berbeda serta mengelompokkan *Gracilaria* berdasarkan profil spektra infra merah (IR) dari penggunaan instrumen FTIR-ATR dengan analisis statistik multivariat.

BAHAN DAN METODE

Preparasi Rumput Laut

Rumput laut *Gracilaria* diperoleh dari lima provinsi yaitu Provinsi Jawa Barat (JB) dari Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Tengah (JT) dari Kabupaten Brebes, Provinsi Kalimantan Timur (KT) dari Kabupaten Paser, Provinsi Nusa Tenggara Barat (NB) dari Kabupaten Sumbawa, dan Provinsi Sulawesi Selatan (SS) dari Kabupaten Bone. Masing-masing provinsi mempunyai lima pembudidaya yang mewakili pengulangan

pengambilan sampel (lima ulangan). *Gracilaria* sp. yang diperoleh dari pembudidaya adalah dalam bentuk kering. Pengerinan yang dilakukan oleh pembudidaya menggunakan sinar matahari (penjemuran) di lokasi masing-masing pembudidaya selama 2–4 hari. Rumput laut yang dipanen berusia sekitar 90 hari dari sejak bibit *Gracilaria* ditanam.

Gracilaria yang diterima dari pembudidaya (kadar air bervariasi antara 30–40%) sejumlah 1 kg diletakkan pada nampan aluminium (38×58 cm²) dengan ketebalan bahan sekitar 1 cm, dikeringkan lebih lanjut di Laboratorium Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB, dengan menggunakan oven (Cascade Tek, Amerika Serikat) pada suhu konstan 60°C (tersedia *temperature controller* pada pengeringnya) selama 12 jam. *Gracilaria* kering (dari oven), dihancurkan dengan grinder (Fomac, Indonesia) dan disaring menggunakan saringan *mesh* 60 (Sieve, Indonesia). Pengerinan di laboratorium bertujuan untuk menurunkan kadar air hingga kadar air sekitar 10%, karena rumput laut kering dari pembudidaya masih relatif tinggi kadar airnya (di atas 20%). Selain itu pengerinan oven ini bertujuan untuk mempermudah bahan dihaluskan menjadi bubuk. Bubuk yang dihasilkan disimpan dalam *freezer* pada suhu sekitar -20°C sebelum digunakan untuk analisis. Analisis yang dilakukan terhadap masing-masing sampel adalah analisis proksimat dan FTIR-ATR.

Analisis Proksimat

Analisis proksimat *Gracilaria* dilakukan pada setiap sampel dari lima lokasi dan lima ulangan (lima pembudidaya) sehingga jumlah keseluruhan 25 sampel. Analisis proksimat kadar air menggunakan metode oven, kadar abu dengan metode pengabuan dengan tanur, kadar protein kasar dengan metode Kjeldahl, kadar lemak dengan metode Soxhlet, dan kadar karbohidrat melalui *by difference* (AOAC, 2005). Data kadar air disajikan dalam basis basah (wb), sedangkan kadar abu, lemak, protein dan karbohidrat dihitung dalam basis kering (db). Analisis proksimat dilakukan duplo untuk setiap sampel.

Analisis kadar air *Gracilaria* dilakukan dengan metode oven menggunakan wadah

cawan porselen pada suhu 105°C selama 6 jam, dengan jumlah sampel 2 g rumput laut kering. Sampel yang telah dioven, didinginkan dan ditimbang sebagai berat sampel kering. Perhitungan kadar air dilakukan dengan membagi berat air yang diuapkan dengan berat sampel awal untuk kadar air basis basah, sedangkan untuk kadar air basis kering dihitung dari berat air dibagi berat sampel kering dikali 100, dan masing-masing dinyatakan dalam persen basis basah (% wb atau % bb) dan basis kering (% db atau % bk).

Analisis kadar abu rumput laut dilakukan dengan metode pengabuan menggunakan tanur (Nabertherm, Jerman) pada suhu 600°C selama 6 jam dan berat sampel *Gracilaria* kering sejumlah 2 g. Sampel yang telah diabukan, didinginkan dan ditimbang. Kadar abu dihitung dari berat abu dibagi dengan berat sampel awal sebelum pengabuan dikali 100 untuk memperoleh persentase kadar abu basis basah.

Analisis kadar lemak *Gracilaria* menggunakan metode Soxhlet dan berat sampel 5 g. Heksana digunakan sebagai pengekstrak lemak. Ekstraksi berlangsung pada suhu 80°C selama 6 jam. Pelarut disuling, ekstrak lemak dalam wadah lemak dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C, kemudian didinginkan dan ditimbang. Perhitungan kadar lemak dilakukan dengan membagi berat lemak dengan berat sampel awal dikali 100 untuk memperoleh kadar lemak basis basah.

Analisis kadar protein dilakukan dengan metode mikro Kjeldahl dan menerapkan jumlah sampel *Gracilaria* sekitar 0,10-0,25 g. Pereaksi yang digunakan adalah 1 g K₂SO₄, 40 mg HgO, dan 0,1 mL H₂SO₄ untuk setiap ulangan analisis. Isi labu didestruksi selama 1-1,5 jam. Tahap berikutnya adalah destilasi dengan penambahan 8-10 mL larutan 60% NaOH-5% Na₂S₂O₃. Destilat ditampung dalam Erlenmeyer berisi 5 mL larutan H₃BO₃ dan 2-4 tetes indikator merah metilen-biru. Destilasi dilakukan sampai diperoleh destilat ±15 mL. Destilat dititrasi dengan HCl 0,02 N dan dilakukan pencatatan volume HCl 0,02 N yang dibutuhkan selama titrasi. Keseluruhan bahan kimia yang digunakan adalah bahan kimia dengan kualitas *pro-analysis* dari Merck

(Jerman). Prosedur yang sama digunakan untuk penetapan blanko agar terhindar dari bias pengukuran. Perhitungan kadar protein dilakukan dengan menghitung kadar nitrogen dalam sampel dan dinyatakan sebagai % N, dikalikan dengan faktor konversi 6,25.

Kadar karbohidrat dihitung menggunakan metode *by difference*. Kadarnya dalam basis basah dihitung dengan mengurangi 100% dengan jumlah kadar air, abu, lemak dan protein bahan dalam basis basah. Kadar abu, lemak, protein dan karbohidrat basis kering dihitung dengan cara membagi persentase kadar abu, lemak, protein, karbohidrat basis basah dengan kadar solid basis basah dikali 100.

Analisis FTIR-ATR

Sampel dari lokalisasi sama (5 pembudidaya) dihomogenisasi dan dijadikan lima bagian untuk mewakili lima ulangan dengan tujuan memudahkan pengelompokan sampel dari hasil analisis FTIR-ATR dengan analisis statistik multivariat. Analisis profil spektra IR dilakukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer FTIR-ATR (Bruker ALPHA II, USA). Sekitar 2 mg sampel diletakkan pada *crystal plate* ATR, dianalisis spektrum IR pada bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹ dengan resolusi 4 cm⁻¹ (Simatupang *et al.*, 2023). Setiap selesai pengukuran, permukaan kristal ATR dibersihkan dengan tisu yang lembut bebas serat. Spektrum yang diperoleh dibaca dengan menggunakan perangkat lunak *Opus*. Spektrum IR dibaca dalam bentuk persen *transmittance* dan dalam *absorbance*.

Analisis Data

Pengolahan data menggunakan analisis statistik *one-way* ANOVA (selang kepercayaan 95%) dengan perangkat lunak SPSS 13. Jika terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dilakukan uji lanjut dengan metode Tukey pada taraf signifikansi 5%. Analisis multivariat dari data absorbansi spektra IR diolah menggunakan perangkat lunak SIMCA 18 (Sartorius Stedim Biotech GmbH, Jerman) untuk melihat pengelompokan sampel *Gracilaria* dan bilangan gelombang *marker* dari sampel tersebut dengan metode *principal component analysis* (PCA). Hasil analisis PCA



dilanjutkan dengan *orthogonal projections to latent structures discriminant analysis* (OPLS-DA) untuk mengetahui bilangan gelombang pembeda (*marker*) yang berhubungan dengan sampel dari lokasi tertentu. Nilai *variable importance in the projection* (VIP) yang lebih dari 1,0 dengan *error bar* kurang dari 1,0 serta memiliki koefisien plot yang positif dengan *error bar* koefisien yang tidak menyinggung sumbu x menjadi acuannya. Validasi dilakukan dengan CV ANOVA dan uji permutasi dengan 100 pengulangan. Hasil OPLS-DA disebut valid apabila memiliki *p value* di bawah 0,05 dan nilai *fit* dari hasil permutasi berada di bawah nilai *fit* yang diperoleh sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Proksimat *Gracilaria* sp dari Berbagai Lokasi

Hasil pengujian komposisi proksimat *Gracilaria* sp. dari lima lokasi (Jawa Barat, Jawa Tengah, Kalimantan Timur, Nusa Tenggara Barat dan Sulawesi Selatan) disajikan pada *Table 1*. Hasil analisis ANOVA pada nilai rata-rata menunjukkan kadar air *Gracilaria* dari lima lokasi panen berbeda nyata ($p < 0,05$). Hasil uji lanjut menunjukkan *Gracilaria* sp. dari Nusa Tenggara Barat (NB) berbeda signifikan dengan keempat lokasi lainnya. Kadar air rata-rata NB adalah yang tertinggi yaitu $19,79 \pm 6,68\%$ (bb), sedangkan kadar air rata-rata terendah ditemukan pada *Gracilaria* sp. dari Jawa Tengah (JT) yaitu $8,64 \pm 2,40\%$ (bb).

Perbedaan kadar air yang terdapat dalam bahan disebabkan oleh faktor-faktor

seperti kondisi lingkungan, lama penjemuran, lama penyimpanan, suhu dan kelembaban udara (Yanuarti *et al.*, 2017). Informasi yang didapatkan dari pembudidaya rumput laut menyebutkan bahwa rata-rata lama penjemuran 2–4 hari tergantung intensitas panas matahari. Penyimpanan di gudang hanya menggunakan penutup terpal sehingga memungkinkan terjadinya fluktuasi suhu dan kelembaban seperti yang dilaporkan oleh Insani *et al.* (2022). Suhu udara, kelembaban, curah hujan dan intensitas sinar matahari rata-rata pada tahun 2023 (tahun yang berkaitan dengan masa pengambilan sampel) di lima lokasi ditunjukkan pada *Table 2*. NTB memiliki kelembaban udara tertinggi berdasarkan data pada *Table 2*, hal ini diduga menjadi penyebab kadar air *Gracilaria* NB paling tinggi. Kelembaban udara yang tinggi menyebabkan proses penguapan selama penjemuran relatif lambat. *Gracilaria* sp. dari Jawa Tengah (JT) memiliki kadar air terendah, kondisi ini diduga disebabkan karena Provinsi Jawa Tengah memiliki suhu udara tertinggi, kelembaban udara terendah, curah hujan terendah serta intensitas penyinaran matahari tertinggi dibanding empat provinsi lainnya.

Kadar air *Gracilaria* sp. merupakan salah satu standar yang dipersyaratkan dalam SNI 2690-2015 tentang rumput laut kering (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2015). Standar kadar air minimum yang dipersyaratkan untuk *Gracilaria* kering adalah 40% basis basah. Sampel dari lima lokasi (100% sampel *Gracilaria*) mempunyai kadar air yang sesuai persyaratan SNI 2690-2015.

Table 1 Proximate composition of *Gracilaria* sp. from five harvest locations

Tabel 1 Komposisi proksimat *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen

Samples	Proximate composition (%)				
	Moisture (wb)	Ash (db)	Lipid (db)	Protein (db)	Carbohydrate (db)
West Java	12.16 ± 2.25^a	40.80 ± 3.62^a	1.24 ± 0.89^a	9.72 ± 2.71^a	48.23 ± 5.86^a
Central Java	8.64 ± 2.40^a	44.33 ± 5.48^a	0.51 ± 0.17^a	8.94 ± 2.15^a	46.21 ± 7.07^a
South Sulawesi	12.96 ± 2.49^a	35.54 ± 4.76^b	0.78 ± 0.22^a	10.40 ± 5.57^a	53.27 ± 10.40^a
West Nusa Tenggara	19.19 ± 6.68^b	35.04 ± 1.78^b	0.85 ± 0.17^a	9.28 ± 0.83^a	54.84 ± 1.86^a
East Kalimantan	11.25 ± 4.90^a	42.64 ± 2.46^a	0.56 ± 0.16^a	8.76 ± 2.53^a	48.04 ± 2.10^a

The same superscript letters in one column indicate no significant difference ($p > 0.05$) according to ANOVA followed by Tukey's test.

Table 2 Temperature, humidity, rainfall and sunshine intensity at five provinces at 2023
Tabel 2 Suhu, kelembapan, curah hujan dan intensitas matahari lima provinsi pada tahun 2023

Provinces	Temperature (°C)	Humidity (%)	Rainfall (mm)	Sunshine intensity (%)	References
West Java (JB)	26.5	80.5	3,736	53.7	(Badan Pusat Statistik [BPS], 2024 ^b)
Central Java (JT)	28.1	77	1,333	78.6	(BPS, 2024 ^a)
South Sulawesi (SS)	22.96	79.95	2,035.2	23.33	(BPS, 2024 ^e)
West Nusa Tenggara (NB)	26.7	83	1,639	75.8	(BPS, 2024 ^d)
East Kalimantan (KT)	28	82	1,827	46	(BPS, 2024 ^c)

Kadar air *Gracilaria* kering dari berbagai wilayah Indonesia yang pernah dilaporkan peneliti lain juga memenuhi persyaratan tersebut. Kadar air yang dilaporkan adalah 19,04% (Rasyid *et al.*, 2019) dengan sampel *Gracilaria gracilis* yang berasal dari Sulawesi Selatan dengan pengeringan sinar matahari; 11,83±0,18% (Munandar *et al.*, 2019) dengan sampel *Gracilaria* spp. dari Banten; 9,77±0,62% dan 9,17±0,50% (Andiska *et al.*, 2019) yang menggunakan *Gracilaria* sp. dari Yogyakarta dan Brebes, 17,06±0,10% dan 18,23±0,18% (Yudiati *et al.*, 2020) dengan sampel *Gracilaria* sp. dengan pengeringan suhu ruangan; dan 16,25±0,73% (Insani *et al.*, 2022) yang menggunakan *Gracilaria* sp. dari Pamekasan dengan pengeringan sinar matahari.

Kadar abu *Gracilaria* dari Sulawesi Selatan (SS) dan Nusa Tenggara Barat (NB) berbeda nyata dengan *Gracilaria* dari Jawa Barat (JB), Jawa Tengah (JT), serta Kalimantan Timur (KT), sedangkan antara SS dengan NB tidak berbeda nyata. Faktor yang memengaruhi kadar abu rumput laut salah satunya adalah salinitas perairan, semakin tinggi salinitas maka kadar abu akan semakin meningkat (Kusumawati, 2022). Lama masa budidaya juga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kadar abu pada rumput laut, semakin lama waktu budidaya maka mineral dari lingkungan semakin banyak terserap sehingga kadar abunya semakin tinggi (Insani *et al.*, 2022). Tambak *Gracilaria* di Sulawesi Selatan dan Nusa Tenggara Barat mendapat pasokan air dari perairan Laut Flores dengan

salinitas 33,4–33,6 PSU (*practical salinity unit*), Jawa Barat dan Jawa Tengah dari Laut Jawa dengan salinitas berkisar <30 – 32,9 PSU; Kalimantan Timur dari Selat Makassar dengan salinitas >33 – 34,5 PSU (Apriansyah *et al.*, 2024). Kadar abu *Gracilaria* dari Laut Jawa (JT) pada penelitian ini, paling tinggi dibandingkan lokasi lain meskipun memiliki nilai salinitas paling rendah. Kadar abu *Gracilaria* terendah adalah 35,04±0,07% (NB), sedangkan kadar abu tertinggi 44,33±0,02% (JT). Hal ini menunjukkan bahwa kadar abu rumput laut tidak selalu berhubungan dengan salinitas air laut. Kadar abu *Gracilaria* di Indonesia yang sudah dilaporkan sangat beragam yaitu 15,08±0,48% (Munandar *et al.*, 2019); 14,62±0,20% (Andiska *et al.*, 2019); 9,95±0,74% (Yudiati *et al.*, 2020); 21,02±0,70% (Insani *et al.*, 2022); 24,83±0,83% (Purwaningsih *et al.*, 2024). Kadar abu keseluruhan lokasi menunjukkan hasil yang umumnya lebih tinggi dari *Gracilaria* yang sudah diteliti di Indonesia, akan tetapi mendekati hasil penelitian Mengisteab *et al.* (2023) yaitu 42,68±0,40%.

Analisis ANOVA kadar lemak menunjukkan hasil tidak berbeda nyata ($p>0,05$). Rata-rata kadar lemak *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen berkisar 0,51–1,25%. Kadar lemak tertinggi didapatkan pada *Gracilaria* sp. dari Jawa Barat, sedangkan terendah dari Jawa Tengah. *Gracilaria* sp. memiliki kadar lemak rendah karena rumput laut umumnya menyimpan cadangan makanan dalam bentuk polisakarida (Yanuarti *et al.*, 2017). Andiska *et al.* (2019) melaporkan



kadar lemak *Gracilaria* sp. dari tambak Brebes berada di bawah 1% yaitu $0,43 \pm 0,10\%$. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Insani *et al.* (2022) pada penelitiannya terhadap *Gracilaria* sp. dari tambak Pamekasan dengan kadar lemak $0,09 \pm 0,07\%$. Khairy & El-Shafay (2013) menyebutkan bahwa kadar lemak rumput laut merah, hijau dan coklat rendah yaitu kurang dari 4%. Rendahnya kadar lemak rumput laut sangat baik untuk digunakan sebagai penyusun utama pangan rendah lemak (Tapotubun, 2018). Variasi kadar lemak dalam rumput laut dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara di perairan, suhu dan kedalaman tambak, dan letak geografis (Ma'ruf *et al.*, 2013).

Kadar protein *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen tidak berbeda nyata berdasarkan analisis ANOVA dengan nilai p yaitu 0,926. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar protein *Gracilaria* sp. berkisar 8,75–10,40%. Kadar protein tertinggi terdapat pada sampel SS, sedangkan kadar protein terendah pada sampel NB. Pimentel *et al.* (2019) menyebutkan bahwa kadar protein alga merah berkisar antara 5–44% basis kering. Kadar protein keseluruhan sampel menunjukkan nilai lebih tinggi dibandingkan hasil yang didapatkan oleh Ma'ruf *et al.* (2013) yang meneliti *Gracilaria verrucosa* dari Perairan Jepara yakni 4,6%. Kadar protein lima sampel dari lima lokasi panen masih lebih rendah bila dibandingkan kadar protein *Gracilaria* sp. dari Serang (Banten) seperti yang dilaporkan oleh Purwaningsih & Deskawati (2020) yaitu 12,78%. Variasi kadar protein dipengaruhi oleh jenis dan tempat tumbuhnya sehingga rumput laut yang berasal dari perairan sama memiliki kandungan protein yang berbeda tergantung pada kondisi perairan di mana bibit rumput laut ditanam. Perubahan kadar protein dalam rumput laut *Gracilaria* sp. dapat disebabkan oleh fluktuasi kandungan nitrat dan fosfat, jika kedua senyawa di dalam perairan tersedia cukup banyak, maka kadar protein rumput laut juga akan bertambah (Insani *et al.*, 2022). Hasil penelitian Rodrigues *et al.* (2015) menunjukkan bahwa kadar protein alga merah dengan jenis *Osmundaria pinnatifida*, *Grateloupia turuturu*, *Gracilaria gracilis* lebih tinggi dibandingkan kadar protein alga coklat dari jenis *Sargassum muticum*, *Saccorhiza*,

Polyschides serta alga hijau dari jenis *Codium tomentosum*. Hal ini didukung oleh Fleurence *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa alga merah memiliki kadar protein lebih tinggi, yakni mencapai 47% dari berat kering, melebihi alga hijau (9–26% bk) dan alga coklat (3–15% bk).

Karbohidrat merupakan komponen utama yang didapatkan dari *Gracilaria* sp. Kadar karbohidrat sampel tidak berbeda nyata dengan nilai p yaitu 0,183, dimana kadar tertinggi berasal dari Nusa Tenggara Barat yakni $54,83 \pm 0,11\%$ dan terendah berasal dari Jawa Tengah yaitu $46,21 \pm 0,10\%$. Kadar karbohidrat yang dilaporkan dalam penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dari hasil penelitian Rasyid *et al.* (2019) yakni 63,13%; Andiska *et al.* (2019) $67,19 \pm 0,86\%$; dan Insani *et al.* (2022) $61,80 \pm 0,19\%$. Rasyid *et al.* (2019) menggunakan *Gracilaria gracilis* yang diambil dari Sulawesi Selatan, sedangkan Andiska *et al.* (2019) dan Insani *et al.* (2022) masing-masing dari Jawa Tengah dan Madura. *Gracilaria* mengandung karbohidrat berupa agar yang banyak dimanfaatkan pada industri pangan dan farmasi. Agar merupakan campuran polisakarida yaitu agarosa dan agaropektin yang dapat membentuk gel. Agarosa adalah fraksi utama dari agar yang diperkirakan membentuk 70% dari polisakarida agar. Agaropektin memiliki berat molekul yang lebih rendah dan jumlah gugus ester sulfat yang lebih tinggi dibandingkan dengan agarosa (Jönsson *et al.*, 2020).

Profil Spektra *Infra-red Gracilaria* sp.

Analisis dengan spektrofotometer FTIR-ATR pada sampel *Gracilaria* sp. dari lima lokasi dan lima ulangan pengambilan sampel menunjukkan pita serapan yang lebar dan kuat pada rentang bilangan gelombang $3.600\text{--}3.000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus fungsional O-H dengan puncak 3.294 cm^{-1} pada sampel SS; 3.285 cm^{-1} pada NB; 3.287 cm^{-1} pada JB; dan 3.283 cm^{-1} pada JT dan KT (Figure 1). Pita serapan ini diasosiasikan dengan regangan simetris dan asimetris dari ikatan O-H pada protein dan karbohidrat yang mengindikasikan keberadaan keduanya dalam sampel *Gracilaria* dan dapat dilihat

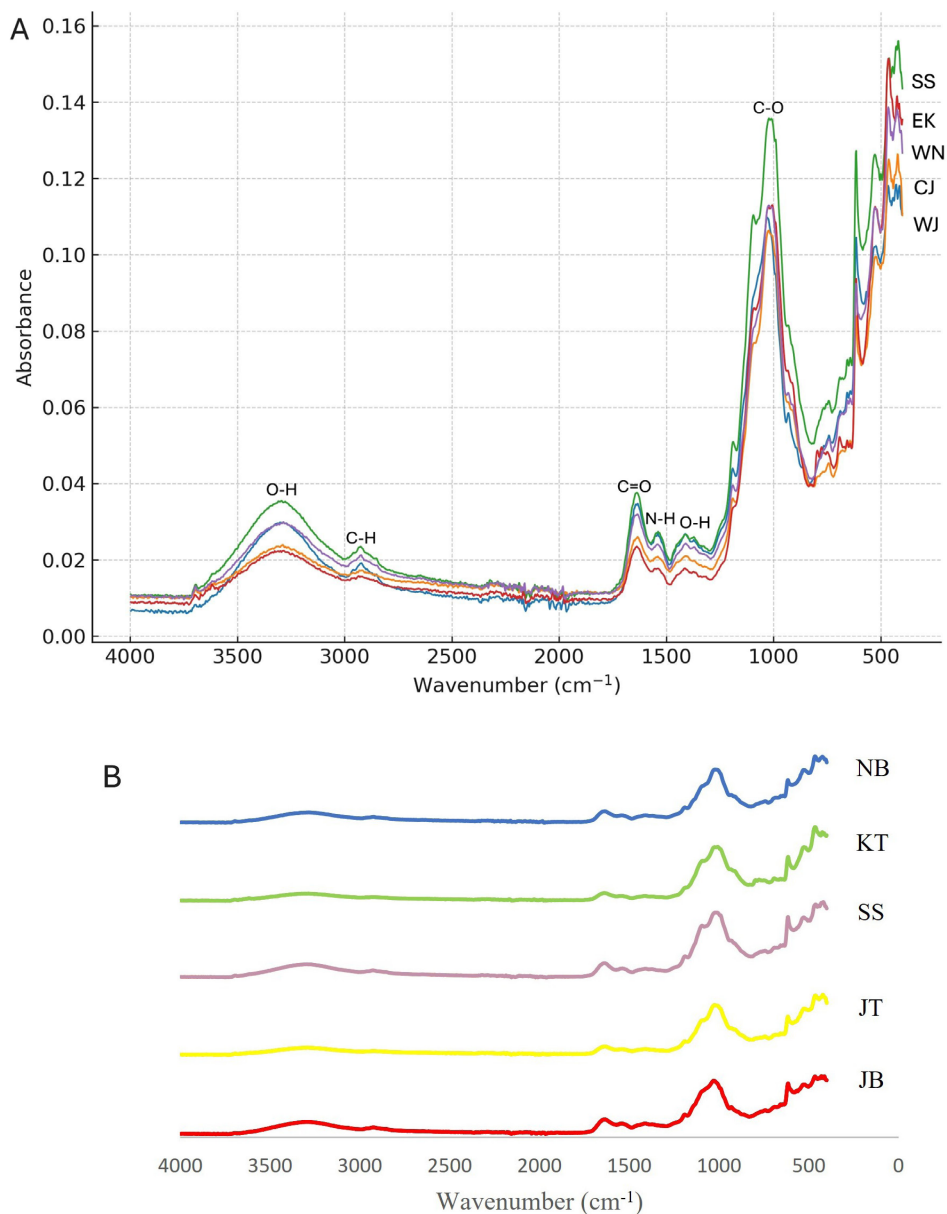


Figure 1 (A) Infra-red spectra of *Gracilaria* sp., (B) overlay of IR spectra of *Gracilaria* sp.
Gambar 1 (A) Spektra inframerah *Gracilaria* sp., (B) overlay spektra IR *Gracilaria* sp.

pada hasil analisis proksimat pada *Table 1*, serta teramati pada penelitian *Gracilaria* oleh Bajad *et al.* (2024) yang dapat dilihat pada *Table 3*.

Puncak pada 2.925 cm^{-1} (JB dan SS); 2.908 cm^{-1} (JT); 2.935 cm^{-1} (KT); 2.918 cm^{-1} (NB) yang berada dalam rentang 3.000–2.850 cm^{-1} berkaitan dengan regangan C-H dari atom karbon jenuh yang menandakan keberadaan senyawa alifatik, polisakarida, protein, dan glikoprotein (Kamble *et al.*, 2022; Bajad *et al.*, 2024). Puncak antara 1.629 cm^{-1}

(JB, JT, dan NB); 1.635 cm^{-1} (KT); dan 1.631 cm^{-1} (SS) yang berada pada rentang 1.650–1.600 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus fungsional C=O. Bilangan gelombang antara 1.547–1.525 cm^{-1} dengan puncak pada sekitar 1.543 cm^{-1} (NB); 1.535 cm^{-1} (JB); 1.537 cm^{-1} (JT); 1.531 cm^{-1} (KT dan SS) menunjukkan *bending* dari gugus fungsional N-H yang berasal dari protein (Amida I). Puncak 1.416 cm^{-1} (JB); 1.420 cm^{-1} (JT); 1.412 cm^{-1} (KT, NB, dan SS) pada rentang 1.440–1.395 cm^{-1} menunjukkan deformasi gugus hidroksil



(O-H) berdasarkan penelitian Bajad *et al.* (2024). Puncak antara 1.025 cm^{-1} (JB, NB, dan SS); 1.026 cm^{-1} (JT); 1.033 cm^{-1} (KT) pada rentang $1.192\text{--}1.025\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan ikatan C–O dari karbohidrat, yang mengindikasikan keberadaan senyawa seperti agar dan karagenan. Hal ini mendukung penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Andiska *et al.* (2019) yang menyebutkan bahwa terdapat karbohidrat berupa agar puncak pada bilangan gelombang sekitar $1.075\text{--}1.020\text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang puncak dalam spektrum IR dan gugus fungsional yang berkaitan, yang terbaca untuk *Gracilaria* sp. dapat dilihat pada Table 3. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbohidrat merupakan komponen utama *Gracilaria* mencapai 55% (bk). Table 3 menunjukkan bahwa gugus fungsional dari karbohidrat dan protein merupakan gugus fungsional utama yang terbaca dalam spektrum IR *Gracilaria*.

Hasil Analisis Multivariat

Hasil pengolahan data multivariat menggunakan SIMCA 18, Figure 2 menunjukkan terjadi pengelompokan sampel *Gracilaria* menjadi tiga kelompok berdasarkan analisis spektra IR dengan *principal component analysis* (PCA). Model PCA yang dihasilkan menunjukkan nilai *fit* yang sangat baik dengan nilai $R^2X=0,99$ dan $Q^2=0,987$. Nilai R^2X yang

mendekati 1 mengindikasikan bahwa model mampu menjelaskan 99% variasi dalam data spektra FTIR-ATR, sedangkan nilai Q^2 yang sangat tinggi (0,987) dapat diartikan bahwa kemampuan prediksi model PCA yang akurat. Hasil analisis multivariat dari profil IR *Gracilaria* dari lima lokasi panen dari lima provinsi di Indonesia ini merupakan yang pertama kali dilaporkan.

Sampel JT cenderung mengelompok dengan sampel JB, demikian pula sampel SS dan NB. Sampel dari Kalimantan Timur (KT) cenderung terpisah dari dua kelompok yang lain (Figure 2). Sampel JT dan JB berasal dari tambak yang mendapat pasokan air dari perairan yang sama yaitu pesisir Laut Jawa. Sampel NB dan SS berasal dari perairan Laut Flores, sedangkan sampel KT berasal dari perairan Selat Makassar. Hal ini menunjukkan bahwa data spektra IR *Gracilaria* dapat menjelaskan perbedaan sampel berdasarkan lokasi panen (perairan). Pengelompokan yang terjadi mengindikasikan adanya kemiripan komposisi kimia dalam satu kelompok lokasi. Hal ini baru diungkapkan pertama kali.

Hasil analisis dengan OPLS-DA pada Figure 3 menunjukkan pengelompokan *Gracilaria* yang lebih jelas menjadi tiga kelompok berdasarkan lokasinya, yaitu dari Pulau Jawa (JB dan JT), Pulau Kalimantan (KT) dan Pulau Sulawesi-Pulau Nusa Tenggara (SS

Table 3 Wavenumber and functional groups of *Gracilaria* sp. from five harvest locations
Tabel 3 Bilangan gelombang dan gugus fungsi *Gracilaria* sp. dari lima lokasi panen

Wavenumber (cm ⁻¹)	Peak (cm ⁻¹)	Functional group	Component prediction	Reference
3,550–3,200	3,294; 3,287; 3,285; 3,283	O-H stretching	Carbohydrate Protein	Bajad <i>et al.</i> (2024)
3,000–2,850	2,935; 2,925; 2,918; 2,908	C-H stretching	Carbohydrate Protein	Kamble <i>et al.</i> (2022); Bajad <i>et al.</i> (2024)
1,650–1,600	1,635; 1,631; 1,629	C=O stretching	Protein	Bajad <i>et al.</i> (2024)
1,547–1,525	1,543; 1,537; 1,535; 1,531	N-H bending	Protein	Bajad <i>et al.</i> (2024)
1,440–1,330	1,420; 1,416; 1,412	O-H bending	Protein	Bajad <i>et al.</i> (2024)
1,075–1,020	1,033; 1,026; 1,025	C-O stretching	Protein	Andiska <i>et al.</i> (2019); Bajad <i>et al.</i> (2024)

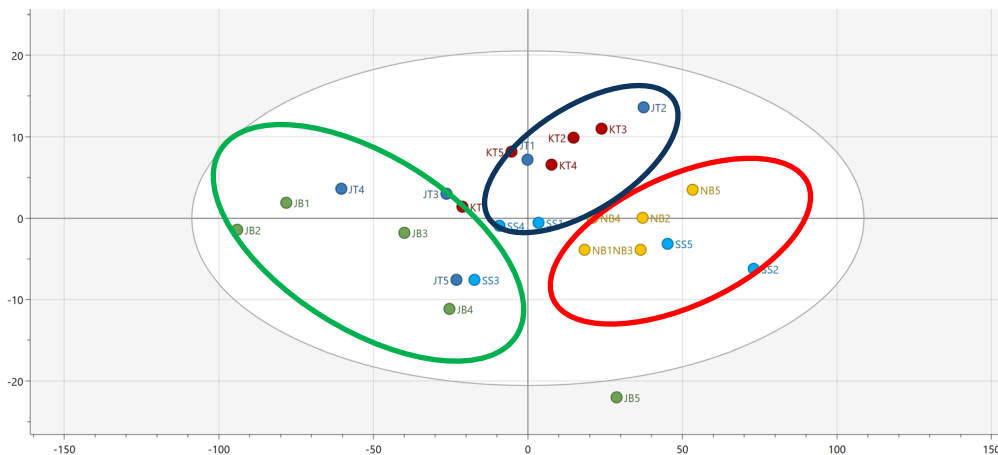


Figure 2 PCA score plot of infrared spectra *Gracilaria* from five locations; JB (West Java), JT (East Java), KT (East Kalimantan), NB (West Nusa Tenggara), SS (South Sulawesi)
 Gambar 2 Plot skor PCA spektra infra merah *Gracilaria* dari lima lokasi; JB (Jawa Barat), JT (Jawa Timur), KT (Kalimantan Timur), NB (Nusa Tenggara Barat), SS (Sulawesi Selatan)

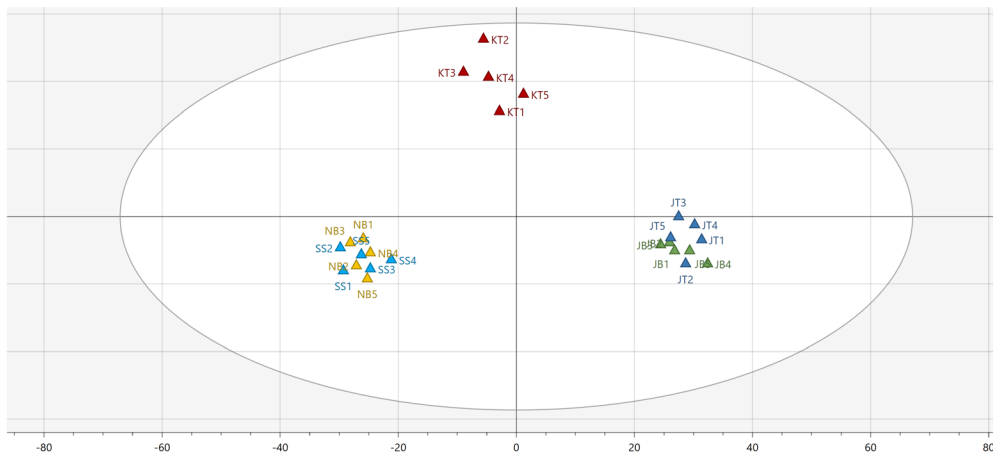


Figure 3 OPLS-DA score plot of infrared spectra *Gracilaria* from five locations; JB (West Java), JT (East Java), KT (East Kalimantan), NB (West Nusa Tenggara), SS (South Sulawesi)
 Gambar 3 Plot skor OPLS-DA spektra infra merah *Gracilaria* dari lima lokasi; JB (Jawa Barat), JT (Jawa Timur), KT (Kalimantan Timur), NB (Nusa Tenggara Barat), SS (Sulawesi Selatan)

dan NB). Pengelompokan ini mempunyai nilai fit yang sangat baik, yaitu $R^2X=0,997$; $R^2Y=0,971$ dan $Q^2=0,909$. Nilai R^2X dan R^2Y yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model yang digunakan dapat menjelaskan semua variasi data. Dengan demikian, profil spektra IR dapat membedakan kelompok sampel berdasarkan lokasi panen. Nilai $Q^2>0,5$ menunjukkan kemampuan prediksi model yang baik, dimana model ini dapat

memprediksi pengelompokan dengan akurasi lebih dari 90 %. Nilai p dari CV-ANOVA yaitu $6,428 \times 10^{-10}$ ($p < 0,05$) menunjukkan model yang valid. Uji permutasi pada kelompok pertama (JB dan JT) menjelaskan bahwa nilai R^2Y (0,979) dan Q^2 (0,932) model asli memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan model yang dipermutasikan (masing-masing 0,545 dan -0,704). Hasil serupa juga didapatkan pada uji permutasi kelompok kedua (KT) dan



Table 4 Plot coefficient and VIP of wavenumber's marker
Tabel 4 Koefisien plot dan VIP bilangan gelombang pembeda

Group	Wave number (cm ⁻¹)	Coefficient plot	VIP	Functional group	Reference
1 (Central and West Java)	1,539	0.0115744	1.10626	N-H bending	Bajad <i>et al.</i> (2024)
	1,414	0.0116412	1.09759	O-H bending	Bajad <i>et al.</i> (2024)
2 (East Kalimantan)	1,035	0.0134522	1.08432	C-O stretching	Mohibbullah <i>et al.</i> (2023)
	791	0.0101427	1.17487	C-H bending	Gómez-Ordóñez & Rupérez (2011)
3 (South Sulawesi and West Nusa Tenggara)	2,931; 2,929;	0.0127981;	1.01609	C-H stretching	Kamble <i>et al.</i> (2022)
	2,927	0.0152363;	1.03547		
	1,646	0.0131945	1.02405	C=O stretching	Bajad <i>et al.</i> (2024)

ketiga (NB dan SS). Hal ini mengindikasikan validitas model dan tidak adanya *overfitting* (Pranata *et al.*, 2021).

Bilangan gelombang yang menjadi *marker* pada kelompok pertama (JB dan JT) dengan VIP lebih dari 1 dan error barnya tidak melebihi nilai VIP adalah 1.539 cm⁻¹ dan 1414 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsional N-H *bending* dan O-H *bending* (Table 4). Bilangan gelombang *marker* pada kelompok kedua (KT) adalah 1.035 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsional C-O *stretching* dan 791 cm⁻¹ yang berada pada daerah sidik jari yang menunjukkan keberadaan C-H *bending*. *Marker* pada kelompok ketiga (NB dan SS) diperoleh pada bilangan gelombang 2.931 cm⁻¹; 2.929 cm⁻¹ dan 2.927 cm⁻¹ yang menunjukkan keberadaan C-H *stretching* serta 1.646 cm⁻¹ yang mengindikasikan C=O *stretching* sebagai penciri kelompok ini. Keseluruhan kelompok memberikan hasil bilangan gelombang *marker* yang berbeda satu sama lain, dan ini memperkuat dugaan bahwa lokasi panen *Gracilaria* menentukan profil komponen kimia yang terkandung di dalamnya (Table 4).

KESIMPULAN

Proksimat *Gracilaria* sp. yang diambil dari Jawa Barat, Jawa Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara

Barat bervariasi dengan kadar air dan kadar abu yang berbeda nyata antar lokasi panen. *Gracilaria* dapat dibedakan antar kelompok lokasi panen sesuai perairannya, yaitu perairan Laut Jawa, Selat Makasar dan Laut Flores, berdasarkan profil spektra IR. Spektrum FTIR-ATR dapat menjadi dasar untuk penelitian identifikasi *Gracilaria* lebih lanjut dari lokasi panen lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui pendanaan Program Riset Keilmuan Skema Hibah Penelitian Disertasi Doktor dengan nomor kontrak: 18843/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2023 pada tahun 2023 dan ketua peneliti Hanifah Nuryani Lioe; serta Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia atas Beasiswa Pendidikan Doktor untuk Sukma Budi Prasetyati.

DAFTAR PUSTAKA

Andiska, P. W, Susanto, A. B., & Pramesti, R. (2019). Hasil kandungan agar ekstraksi non-alkali *Gracilaria* sp. yang tumbuh di lingkungan berbeda. *Journal of Marine Research*, 8(4), 387-392. <https://doi.org/10.14710/jmr.v8i4.24860>.

- [AOAC] Association of analytical chemist publisher. (2005). Official methods of analysis of AOAC International (18th ed). The Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- Apriansyah, Atmadipoera, A. S., Natih, N. M. N., Nugroho, D., Zuraida, R., Hartanto, M. T., & Syahdan, M. (2024). Water mass exchange in triangle seas of the Java-Makassar-Flores (JMF): A modelling study. *Continental Shelf Research*, 275, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105225>.
- Bajad, R. B., Kamble, M. G., Gawai, S. R., Syed, I., & Roy, M. (2024). Analysis of physicochemical, functional, and antioxidant properties of four different Indian seaweed species. *Future Foods*, 10, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100435>.
- Banik, U., Mohiuddin, M., Wahab, M. A., Rahman, M. M., Nahiduzzaman, M., Sarker, S., Wong, L., Asaduzzaman, M. (2023). Comparative performance of different farming systems and associated influence of ecological factors on *Gracilaria* sp. seaweed at the south-east coast of the Bay of Bengal, Bangladesh. *Aquaculture*, 574, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739675>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2024a). Provinsi Jawa Tengah dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2024b). Provinsi Jawa Barat dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2024c). Provinsi Kalimantan Timur dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2024d). Provinsi Nusa Tenggara Barat dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2024e). Provinsi Sulawesi Selatan dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI-2690:2015. Rumput laut kering. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Budziak-Wieczorek, I., Maśán, V., Rząd, K., Gładyszewska, B., Karcz, D., Burg, P., Čížková, A., Gagoś, M., & Matwijczuk, A. (2023). Evaluation of the quality of selected white and red wines produced from Moravia Region of Czech Republic using physicochemical analysis, FTIR infrared spectroscopy and chemometric techniques. *Molecules*, 28, 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules28176326>.
- Cermeño M., Kleekayai, T., Benavent, M. A., Rothwell, P. H., FitzGerald, R. (2020). Current knowledge on the extraction, purification, identification, and validation of bioactive peptides from seaweed. *Electrophoresis*, 1-42. <https://doi.org/10.1002/elps.202000153>.
- Da Costa, J. F., Merdekawati, W., & Otu, F. R. (2015). Analisis proksimat, aktivitas antioksidan *Ulva lactuca*. *Bioteknologi*. 12(2), 34-35. <https://doi.org/DOI:10.13057/biotek/c120202>.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., Serrano, S., Rodríguez, I., Ploskas, N., Koutsoumanis, K., & Katsanidis, E. (2025). FTIR spectroscopy combined with machine learning for the classification of Mediterranean honey based on origin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 144, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107778>.
- Echave, J., Fraga-Corral, M., Garcia-Perez, P., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). Seaweed protein hydrolysates and bioactive peptides: Extraction, purification, and applications. *Marine Drugs*, 19 (9), 1-22. <https://doi.org/10.3390/md19090500>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. (2023). Quarterly species analysis Seaweed trade and market potential. Food and Agriculture Organization.
- Fleurence, J., Morançais, M., & Dumay, J. (2017). Seaweed proteins. In *Proteins in Food Processing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00010-3>.
- Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification



- in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1514-1520. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.009>.
- Insani, A. N., Hafiludin, H., & Chandra, A. B. (2022). Pemanfaatan ekstrak *Gracilaria* sp. dari Perairan Pamekasan sebagai antioksidan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 16–25. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i1.14783>.
- Jönsson, M., Allahgholi, L., Sardari, R. R. R., Hreggviósson, G. O., & Karlsson, E. N. (2020). Extraction and modification of macroalgal polysaccharides for current and next-generation applications. *Molecules*, 25(4), 1-29. <https://doi.org/10.3390/molecules25040930>.
- Kamble, M. T., Rudtanatip, T., Soowannayan, C., Nambunruang, B., Medhe, S. V., & Wongprasert, K. (2022). Depolymerized fractions of sulfated galactans extracted from *Gracilaria fisheri* and their antibacterial activity against *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi*. *Marine Drugs*, 20(8), 1-18. <https://doi.org/10.3390/md20080469>.
- Khairy, H. M., & El-Shafay, S. M. (2013). Seasonal variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt. *Oceanologia*, 55(2), 435-452. <https://doi:10.5697/oc.55-2.435>.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2024). Statistik Perikanan Budidaya. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kusumawati, R. P. H. (2022). Eksplorasi komponen bioaktif Tiram *Crassostrea angulata* dari estuari Batu Karas [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor.
- Lafarga, T., Ación-Fernández, F. G., & Garcia-Vaquero, M. (2020). Bioactive peptides and carbohydrates from seaweed for food applications: Natural occurrence, isolation, purification, and identification. *Algal Research*, 48, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101909>.
- Ma'ruf, F. W., Ibrahim, R., Dewi, E. N., Susanto, E., Amalia, U. (2013). Profil rumput laut *Caulerpa racemosa* dan *Gracilaria verrucosa* sebagai edible food. *Jurnal Saintek Perikanan*, 9(1), 68-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/ijfst.9.1.68-74>.
- Meinita, M. D. N., Akromah, N., Andriyani, N., Setijanto, Harwanto, D., & Liu, T. (2021). Molecular identification of *Gracilaria* species (Gracilariales, rhodophyta) obtained from the South Coast of Java Island, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(7), 3046–3056. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220759>.
- Mengisteab, M., Tekle, R., Gebreyohannes, D., Gebrezigabheir, Z., Tesfamariam, E. H., & Tareke, E. (2023). Proximate and mineral content of seaweeds as an alternative to vegetable in Eritrea. *Food and Humanity*, 1, 514–518. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.06.023>.
- Mohibullah, M., Talha, M. A., Baten, M. A., Newaz, A. W., & Choi, J. S. (2023). Yield optimization, physicochemical characterizations, and antioxidant properties of food grade agar from *Gracilaria tenuistipitata* of Cox's Bazar coast, Bangladesh. *Food Science and Nutrition*, 11(6), 2852–2863. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3265>.
- Munandar, A., Surilayani, D., Haryati, S., Sumantri, M. H., Aditia, R. P., & Pratama, G. (2019). Characterization flour of two seaweeds (*Gracilaria* spp. and *Kappaphycus alvarezii*) for reducing consumption of wheat flour in Indonesia. The 1st International Conference on Agriculture and Rural Development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/383/1/012009>.
- Pereira, S. G., Teixeira-Guedes, C., Souza-Matos, G., Maricato, É., Nunes, C., Coimbra, M. A., Teixeira, J. A., Pereira, R. N., & Rocha, C. M. R. (2021). Influence of ohmic heating in the composition of extracts from *Gracilaria vermiculophylla*. *Algal Research*, 58, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102360>.
- Pimentel, F. B., Alves, R. C., Harnedy, P. A.,

- FitzGerald, R. J., & Oliveira, M. B. P. (2019). Macroalgal-derived protein hydrolysates and bioactive peptides: Enzymatic release and potential health enhancing properties. *Trends in Food Science and Technology*, 93, 106–124. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.006>.
- Pranata, A. W., Yuliana, N. D., Amalia, L., & Darmawan, N. (2021). Volatilomics for halal and non-halal meatball authentication using solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(5), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103146>.
- Purwaningsih, S., & Deskawati, E. (2020). Karakteristik dan aktivitas antioksidan rumput laut *Gracilaria* sp. Asal Banten. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan* 23(3), 503-512. <https://doi.org/https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i3.32808>.
- Purwaningsih, S., Ramadhan, W., Nabila, W. T., Deskawati, E., & Baabud, H. M. (2024). Dataset on the chemical composition and bioactive compound of estuarine seaweed *Gracilaria* from four different cultivation area in Java and Lombok Island, Indonesia. *Data in Brief*, 56, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110825>.
- Rasyid, A., Ardiansyah, A., & Pangestuti, R. (2019). Nutrient composition of dried seaweed *Gracilaria gracilis*. *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 24(1), 1-6. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.24.1.1-6>.
- Rodrigues, D., Freitas, A. C., Pereira, L., Rocha-Santos, T. A. P., Vasconcelos, M. W., Roriz, M., Rodríguez-Alcalá, L. M., Gomes, A. M. P., & Duarte, A. C. (2015). Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chemistry*, 183, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.057>.
- Sakthivel, R., & Pandima Devi, K. (2015). Evaluation of physicochemical properties, proximate and nutritional composition of *Gracilaria edulis* collected from Palk Bay. *Food Chemistry*, 174, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.142>.
- Simatupang, M., Herawati, D., & Yuliana, N. D. (2023). Fingerprinting FTIR-ATR fraksi kopi robusta dan arabika serta korelasinya terhadap aktivitas antioksidan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 34(1), 70–85. <https://doi.org/10.6066/jtip.2023.34.1.70>.
- Tapotubun, A. M. (2018). Komposisi kimia rumput laut (*Caulerpa lentillifera*) dari Perairan Kei Maluku dengan metode pengeringan berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(1), 13-23. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i1.21257>.
- Yanuarti, R., Nurjanah, N., Anwar, E., & Pratama, G. (2017). Kandungan senyawa penangkal sinar ultra violet dari ekstrak rumput laut *Eucheuma cottonii* dan *Turbinaria conoides*. *Biosfera*, 34(2), 51-58. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2017.34.2.467>.
- Yudiati, E., Ridlo, A., Nugroho, A. A., Sedjati, S., & Maslukah, L. (2020). Analisis kandungan agar, pigmen dan proksimat rumput laut *Gracilaria* sp. pada reservoir dan biofilter tambak udang *Litopenaeus vannamei*. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2), 133–140. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i2.29453>.