

Potensi Bakteri Selulolitik pada *Ulva lactuca* dari Pantai Ujung Genteng, Sukabumi, Indonesia

Potency of Cellulolytic Bacteria in *Ulva lactuca* from Ujung Genteng Beach, Sukabumi, Indonesia

Rizfi Fariz Pari^{1*}, Safrina Dyah Hardiningtyas¹, Ranula Supraba¹

¹Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Article Info

Received: 2023-06-07

Revised: 2023-06-25

Accepted: 2023-06-26

Online: 2023-06-28

Koresponding:

Rizfi Fariz Pari, Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

E-mail:

rizfi-fp@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Ulva lactuca merupakan spesies rumput laut hijau potensial yang menyebabkan *green tides* dan belum dimanfaatkan. *U. lactuca* berpotensi memiliki daya tarik untuk bakteri selulolitik karena kandungan karbohidrat yang tinggi. *U. lactuca* banyak ditemukan pada pantai laut selatan Pulau Jawa, salah satunya adalah Pantai Ujung Genteng, Sukabumi, Indonesia. Pada penelitian ini, dilakukan investigasi potensi bakteri selulolitik pada *U. lactuca*. Sumber bakteri dapat berasal dari lingkungan hidup, permukaan rumput laut, dan didalam rumput laut (endofit). Untuk dapat mengetahui asal bakteri potensial, dilakukan perhitungan *total plat count* (TPC) dengan perlakuan tanpa pencucian, pencucian dengan akuades, steril dan pencucian kombinasi akuades dan alkohol. Dari bakteri ini, dilakukan pengujian aktivitas selulolitik menggunakan media CMC dan karakterisasi secara morfologi. Bakteri terbanyak terdapat pada perlakuan tanpa pencucian, sebanyak 7.48 Log cfu/ml. Proses pencucian menurunkan TPC menjadi 5.88 dan 5.7 Log cfu/ml pada perlakuan pencucian dengan akuades steril dan pencucian kombinasi akuades dan alkohol, sehingga didapat bakteri endofit. Isolat bakteri dengan potensi selulolitik tertinggi adalah UW 1(1)1 5A1 berasal dari perlakuan tanpa pencucian dengan indeks selulolitik 2.25. Bakteri Gram positif ini berbentuk filamentous lobate berwarna krim matte dengan sel berbentuk cocci. Sedangkan bakteri endofit yang potensial adalah isolat bakteri coccus Gram positif UW 3(1)1.2 dengan indeks selulolitik 0.85. Kedua isolat ini potensial untuk mendegradasi selulosa.

Kata kunci: bakteri, endofit, lingkungan, morfologi, selulosa

Abstract

Fishery *Ulva lactuca* is a potential green seaweed species that causes green tides and has not been utilized. *U. lactuca* has the potency to attract cellulolytic bacteria due to its high carbohydrate content. *U. lactuca* is commonly found on the

southern seacoast of Java Island, one of which is Ujung Genteng Beach, Sukabumi, Indonesia. In this research, we investigated the potential of cellulolytic bacteria from *U. lactuca*. Sources of bacteria are coming from the environment, the surface of the seaweed, and inside the seaweed (endophytes). To be able to determine the origin of the potential bacteria, the total plate count (TPC) was calculated with treatment without washing, washing with distilled water, and washing with a combination of distilled water and alcohol. From these bacteria, cellulolytic activity was tested using CMC media and morphological characterization. The most bacteria were found in the treatment without washing, as much as 7.48 Log Cfu/ml. The washing process reduced the TPC to 5.88 and 5.7 Log Cfu/ml in the treatment of washing with distilled water and washing with a combination of distilled water and alcohol, so that endophytic bacteria were obtained. The bacterial isolate with the highest cellulolytic potential was UW 1(1)1 5A1 from the non-washing treatment with a cellulolytic index of 2.25. These Gram-positive bacteria were in the form of filamentous lobates with a matte cream color with cocci-shaped cells. Meanwhile, the potential endophytic bacteria were Gram-positive coccus bacteria UW 3(1)1.2 with a cellulolytic index of 0.85. Both isolates have the potency to degrade cellulose.

Keywords: bacteria, cellulose, endophyte, environment, morphology

1. Pendahuluan

Ulva lactuca merupakan rumput laut yang termasuk ke dalam divisi Chlorophyta, kelas *Ulvophyceae*, ordo *Ulvales*, dan genus *Ulva*. Rumput laut *Ulva* dapat tumbuh optimum pada suhu 27-31°C (Zanolla *et al.*, 2019). Di lingkungan, *Ulva* menyebabkan fenomena *green tides*, dimana rumput laut ini menutupi permukaan perairan dan menghasilkan gas asam berbahaya (Dominguez *et al.*, 2019) yang menyebabkan kematian biota laut (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2012). *Green tides* disebabkan oleh pertumbuhan macroalga yang sangat pesat pada perairan. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan harian *Ulva* yang mencapai 24% per hari (Trivedi *et al.*, 2013a). Upaya untuk menekan pertumbuhannya telah dilakukan dengan menggunakan bahan kimia, namun residu toksik menimbulkan masalah lingkungan baru (Tang *et al.*, 2021). Rumput laut hidup menempel pada substrat, baik pasir ataupun bebatuan. Karakteristik perairan demikian dapat ditemukan di wilayah pantai selatan Pulau Jawa, seperti pantai Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat. Kandungan yang paling potensial pada *Ulva* adalah karbohidrat, terdiri dari: ulvan (36-40%), selulosa (10%, dan hemiselulosa (12%) (Kidgel *et al.*, 2019).

Rumput laut secara umum bersimbiosis dengan mikroorganisme, baik mikroorganisme endofit yang hidup di dalam jaringan ataupun mikroorganisme yang hidup di permukaan. Keragaman

mikroorganisme pada rumput laut sangat dipengaruhi oleh kondisi tempat hidup rumput laut dan mempengaruhi komposisi kimia rumput laut (Polikovskiy *et al.*, 2020). *Ulva lactuca* hidup di daerah intertidal atau pasang surut sehingga pada saat surut, rumput laut tidak terendam air laut, terpapar matahari secara langsung dan kontak erat dengan lingkungan daratan (Jiang *et al.*, 2019). Oleh karena itu, keragaman dan keunikan mikroorganisme pada *Ulva lactuca* diduga sangat bervariasi.

Bakteri adalah mikroorganisme yang dapat hidup berdampingan dengan rumput laut, seperti bakteri endofit yang hidup di dalam jaringan inangnya. Bakteri endofit diketahui dapat menghasilkan metabolit berupa enzim, misalnya enzim selulase (Mulyasari *et al.*, 2015). Selulase adalah enzim yang memiliki nama generik dari enzim hidrolase β -1,4 yang berfungsi sebagai katalis dalam hidrolisis selulosa menjadi struktur gula dan glukosa larut air (Behera *et al.*, 2017). Berdasarkan mekanisme kerjanya, enzim selulase terbagi menjadi tiga jenis enzim utama, meliputi: kompleks endo β -1,4-glukanase (Carboxy methyl cellulase (CMCase)), kompleks ekso- β -1,4-glukanase (aviselase, selonihidrolase, C1 selulase) dan β -1,4-glukosidase atau selobiase (Bhat and Bhat, 1997; Narra *et al.*, 2012). Enzim selulase ini telah banyak digunakan dalam beberapa bidang industri, misalkan untuk produksi bioetanol dari bahan lignoselulosa, dalam industri makanan untuk pengolahan jus buah dan ekstraksi

warna dari jus, dalam industri pertanian untuk mengendalikan patogen dan penyakit tanaman, dalam pembuatan deterjen rumah tangga untuk meningkatkan kelembutan dan kecerahan kain, dan dalam industri tekstil untuk menghasilkan tampilan denim yang seperti batu (Saini *et al.*, 2015; Sadhu and Maiti, 2013) Oleh karena itu permintaan enzim selulase sangat tinggi. Ukuran pasar enzim selulolitik global diproyeksikan tumbuh dari US\$ 11.9 juta pada tahun 2022 menjadi US\$ 23.2 juta pada tahun 2029 (MRP, 2023).

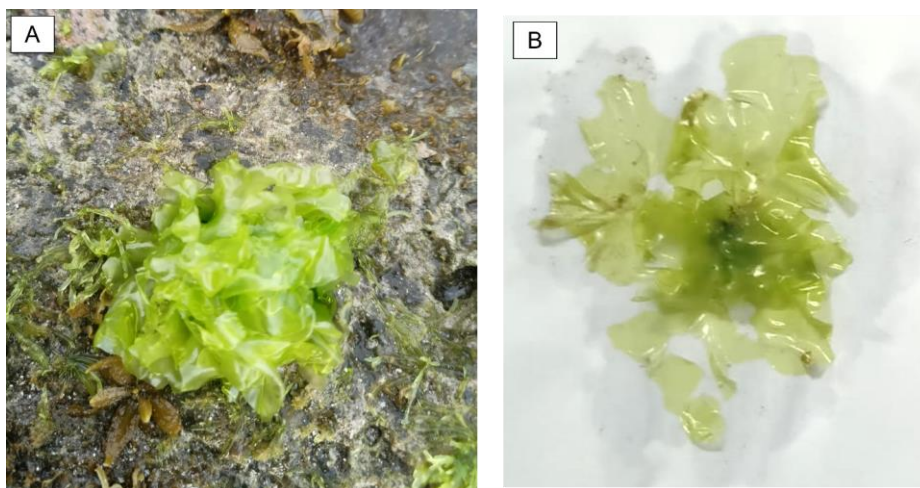
Saat ini, enzim selulase diproduksi dari kapang yang berasal dari terestrial, contohnya *Aspergillus*. Akan tetapi, proses produksinya cukup lama karena kecepatan pertumbuhan kapang yang lebih lambat dari bakteri sehingga biaya produksi enzim dari kapang cukup tinggi. Selain itu, enzim selulase dari mikroorganisme yang berasal dari terestrial cenderung tidak stabil pada kondisi yang ekstrim (Trivedi *et al.*, 2016). Selulase dari mikroba laut diketahui memiliki tingkat stabilitas yang lebih besar pada suhu tinggi dan rendah, tekanan dan salinitas tinggi, serta asam kuat dan alkali (Trivedi *et al.*, 2013b; Yu and Li, 2015). Oleh karena itu, isolasi dan *screening*

potensi penghasil enzim selulase dari bakteri yang hidup pada rumput laut *Ulva lactuca* masih masih perlu dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah melakukan investigasi potensi bakteri selulolitik dari *Ulva lactuca* dan diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai potensi bakteri untuk biodegradasi dan aplikasi bioteknologi.

2. Material dan Metode

Material

Bahan utama adalah rumput laut *Ulva lactuca* yang diambil secara langsung dari Pantai Cibuaya, Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat (-8° 39' 16.35", 106° 24' 10.65") pada bulan Mei. Bahan-bahan lain yang digunakan meliputi: aquades, alkohol, Zobell Marine Agar (ZMA, Himedia), NaCl (Merck), bahan pewarnaan gram (kristal violet, safranin, iodin), Tris-HCl (Himedia), Marine Broth (Difco™), agarose (Merck), ruthenium red (Merck), p-Nitrophenyl sulfat (Merck), potassium phosphate (Merck), 4-Methylumbelliferyl-3-cellobioside (Merck), Carboxymethyl Cellulose (CMC, Merck), 4-Nitrophenyl-β-D-glucopyranoside (Merck), congo red (Merck).



Gambar 1. Kondisi lokasi pengambilan rumput laut (A) dan *Ulva lactuca* (B) dari Pantai Cibuaya, Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat.

Metode

a. Preparasi Sampel

Rumput laut hijau *U. lactuca* diambil secara aseptik, dimasukkan ke dalam

zipper bag dan disimpan dalam *cooling box* untuk dibawa ke Laboratorium Bioteknologi Hasil Perairan 2, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Sampel dalam keadaan

segar, langsung dilakukan isolasi bakteri dengan tiga perlakuan, yaitu: perlakuan sampel tanpa dicuci atau dibersihkan dengan kode (1), perlakuan sampel direndam atau dicuci dengan aquades yang telah disterilkan dengan kode (2), dan perlakuan sampel yang direndam dan dibersihkan dengan alkohol dengan kode (3). Masing-masing perlakuan dilakukan ulangan tiga kali.

b. Isolasi Bakteri pada *Ulva lactuca*

Bakteri diisolasi dari seluruh bagian *U. lactuca*. Perlakuan pertama tidak dilakukan tahap pencucian, perlakuan kedua *U. lactuca* direndam dalam aquades steril selama 1 menit lalu ditiriskan, dan perlakuan ketiga *U. lactuca* direndam dalam alkohol 90% selama 1 menit lalu ditiriskan. Masing-masing sampel perlakuan di potong kecil-kecil kurang lebih 2 cm dan dimasukkan ke dalam cawan Petri media ZMA, selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C

selama 48 jam. Koloni yang tumbuh dimurnikan. Pemurnian dilakukan dengan menginokulasi isolat pada media ZMA baru dengan metode empat kuadran dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam.

c. Uji Aktivitas Enzim Selulase

Uji aktivitas enzim selulase mengacu pada Meryandini (2009). Media racik CMC disiapkan dengan komposisi 1% CMC (1 g CMC; 0,02 g MgSO₄.7H₂O; 0,075 g KNO₃; 0,002 g K₂HPO₄; 0,004 g CaCl₂.2H₂O; 1,5 g agar batang), formula untuk 100 ml media. Bakteri murni ditotolkan pada media CMC dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Bakteri yang tumbuh kemudian ditetaskan larutan iodine. Media yang mengandung CMC akan berubah menjadi warna kuning. Aktivitas enzim ditandai dengan zona bening. Aktivitas enzim dihitung berdasarkan indeks selulolitik dengan rumus berikut:

$$\text{Indeks selulolitik} = \frac{\text{Diameter zona bening} - \text{Diameter bakteri}}{\text{Diameter bakteri}} \times 100\%$$

d. Karakterisasi Bakteri

Karakterisasi bakteri dilakukan dua tahap yaitu karakterisasi morfologi koloni pada cawan dan morfologi bakteri secara mikroskopis. Karakterisasi morfologi koloni pada cawan dilakukan dengan pengamatan koloni bakteri tunggal. Karakteristik yang diamati adalah bentuk, tepian, warna, permukaan, dan elevasi koloni. Karakterisasi morfologi bakteri dengan pewarnaan Gram dan tampilan mikroskopis. Koloni bakteri murni dari cawan diambil untuk dicampur dengan aquades steril di atas kaca preparat, difiksasi dengan dipanaskan menggunakan bunsen. Kemudian, kaca preparat diberi tetesan kristal violet, iodine, alkohol dan safranin secara berturut-turut. Pada setiap antar tetesan, kaca preparat dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan sebelum diberi tetesan berikutnya. Pengamatan kaca preparat dilakukan dengan mikroskop (Olympus CH20i, perbesaran 100x) dengan memperhatikan warna dan bentuk bakteri.

Bakteri dengan warna merah artinya bakteri Gram negatif, sedangkan bakteri dengan warna violet artinya bakteri Gram positif.

3. Hasil dan Pembahasan

Total Bakteri pada *Ulva lactuca*

Perlakuan dengan total bakteri terbanyak adalah perlakuan tanpa pencucian (Tabel 1). Perlakuan tanpa pencucian merepresentasikan total bakteri yang berada pada lingkungan dan pada *U. lactuca*. Sterilisasi dengan aquades steril diharapkan dapat membersihkan elemen makro pada permukaan *U. lactuca*, sehingga menghilangkan faktor lingkungan. Sterilisasi dengan aquades steril dan alkohol membersihkan bakteri yang berada pada permukaan dan hanya menyisakan bakteri dari dalam *U. lactuca*. Penurunan total bakteri setelah pencucian menunjukkan proses pencucian menghilangkan potensi bakteri dari lingkungan, sehingga diperoleh bakteri endofit saja. Potensi bakteri endofit pada

U. lactuca dari secara keseluruhan sebanyak 5.7 Log cfu/ml.

Tabel 1. Total plate count bakteri pada *Ulva lactuca* dari Pantai Cibuaya, Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat

No	Perlakuan	Total Bakteri (Log Cfu/ml) \pm SD
1	Tanpa pencucian	7.48 \pm 0.00 ^a
2	Pencucian dengan Aquades steril	5.88 \pm 0.42 ^b
3	Pencucian dengan Aquades steril+alkohol	5.70 \pm 0.49 ^b

Keterangan: Notasi huruf superscript yang berbeda berarti terdapat perbedaan nyata pada uji DMRT dengan tingkat kepercayaan 95%

Bakteri Laut dengan Aktivitas Selulolitik

Penapisan awal potensi aktivitas selulolitik dari isolat bakteri simbiosis *U. Lactuca* menggunakan media agar yang mengandung CMC sebagai substrat. Media ini merupakan media selektif dan selektif mendukung pertumbuhan organisme selulolitik karena organisme

penghasil selulase hanya dapat memanfaatkan selulosa sebagai sumber karbon. Potensi selulolitik ditunjukkan dengan adanya area zona bening di sekitar isolat bakteri (Reddy *et al.*, 2017). *U. lactuca* bersimbiosis dengan bakteri selulolitik (Tabel 2).

Tabel 2. Indeks selulolitik isolat bakteri dari *Ulva lactuca*, Pantai Cibuaya, Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat

Perlakuan	Kode isolat	Indeks selulolitik \pm SD
Tanpa pencucian	UW 1(1)1 4B1	1.23 \pm 0.83
	UW 1(1)1 5A1	2.25 \pm 0.85
	UW 1(1)1 6B1	0.33 \pm 0.26
	UW 1(1)2 4A3	0.25 \pm 0.29
	UW 1(1)2 6A3	1.68 \pm 1.14
	UW 1(2)3 5B1	0.40 \pm 0.14
	UW 1(2)3 6A1	0.88 \pm 0.59
	UW 1(2)3 6A2	0.40 \pm 0.14
	UW 1(2)3 6B1	0.45 \pm 0.06
	UW 1(3)1 4B1	0.48 \pm 0.36
Pencucian dengan Aquades steril	UW 2(1)2 4A1	0.35 \pm 0.45
	UW 2(1)3 5A1	0.58 \pm 0.30
Pencucian dengan Aquades steril+alkohol	UW 3(1)1.2	0.85 \pm 0.57
	UW 3(3)3.1	0.20 \pm 0.00

Hasil indeks selulolitik menunjukkan bahwa sebanyak 10 isolat diperoleh dari perlakuan tanpa pencucian, 2 isolat dari perlakuan pencucian dengan aquades steril dan 2 isolat lain dari perlakuan pencucian dengan aquades dan alkohol (Tabel 2). Bakteri dengan aktivitas selulolitik terbanyak pada perlakuan tanpa pencucian. Hal ini dimungkinkan karena bakteri yang berasal dari lingkungan bertindak sebagai pendegradasi alami. Hasil penelitian ini sejalan dengan

penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Trivedi *et al.* (2011a). Penelitian tersebut membuktikan bahwa bakteri laut pendegradasi *Ulva*, yaitu *Bacillus flexus* dapat menghasilkan enzim selulase yang memiliki toleransi dan stabilitas tinggi terhadap berbagai pelarut alkali dan *saline*.

Indeks selulolitik isolat bakteri dari *Ulva lactuca* diketahui berkisar antara 0.20 \pm 0.00-2.25 \pm 0.85 (Tabel 2). Isolat dengan indeks selulolitik tertinggi adalah UW 1(1)1 5A1 dengan indeks selulolitik

2.25 dan termasuk ke dalam kategori aktivitas selulolitik yang kuat. Trivendi *et al.* (2011) mengelompokkan indeks selulolitik berdasarkan tiga kategori, yaitu rendah (<1), sedang (1-2), dan tinggi/kuat (>2). Isolat bakteri laut yang memiliki indeks selulolitik memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai biokatalis di berbagai bidang.

Karakteristik Bakteri Selulolitik Laut

Karakterisasi isolat bakteri selulolitik dari *U. lactuca*, antara lain: deskripsi ciri-ciri morfologi isolat, bentuk sel, dan pewarnaan Gram (Tabel 3). Berdasarkan

hasil pewarnaan Gram, bakteri yang memiliki aktivitas selulolitik didominasi oleh bakteri Gram positif sebanyak 10 isolat dan empat isolat bakteri Gram negatif. Bakteri laut yang memiliki aktivitas selulolitik dapat berasal bakteri Gram positif dan Gram negatif. Genus bakteri Gram positif yang berpotensi menghasilkan enzim selulolitik, antara lain: *Nocardiopsis*, *Bacillus*, *Alteromonas*, *Acetivibrio*, sedangkan genus bakteri selulolitik Gram negatif, yakni *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Cellulomonas* (Chantarasiri, 2015; Robson and Chambliss, 1989; Tajuddin *et al.*, 2018).

Tabel 3. Karakteristik isolat bakteri selulolitik dari *Ulva lactuca*, Pantai Cibuaya, Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat

Kode isolat	Gram	Bentuk	Tepian	Warna	Permukaan	Elevasi	Morfologi Sel
UW 1(1)1 4B1	+	Circular	undulate	cream	matte	Raised	Cocci
UW 1(1)1 5A1	+	Filamentous	Lobate	cream	matte	Flat	Cocci
UW 1(1)1 6B1	+	Circular	Entire	cream	mengkilat	Raised	Cocci
UW 1(1)2 4A3	+	Irregular	Undulate	putih	matte	Flat	Cocci
UW 1(1)2 6A3	+	Irregular	Entire	cream	mengkilat	Flat	Cocci
UW 1(2)3 5B1	-	Circular	Entire	cream	mengkilat	Umbonate	Basil
UW 1(2)3 6A1	+	Circular	Entire	cream	mengkilat	Raised	Cocci
UW 1(2)3 6A2	+	Circular	undulate	cream	mengkilat	Umbonate	Cocci
UW 1(2)3 6B1	-	Circular	Entire	cream	mengkilat	Umbonate	Cocci
UW 1(3)1 4B1	-	Irregular	undulate	cream	mengkilat	convex	Cocci
UW 2(1)2 4A1	+	Circular	undulate	cream	mengkilat	umbonate	Cocci

Kode isolat	Gram	Bentuk	Tepian	Warna	Permukaan	Elevasi	Morfologi Sel
UW 2(1)3 5A1	-	Irregular	Entire	cream	mengkilat	umbonate	Cocci
UW 3(1)1. 2	+	Irregular	undulate	cream	mengkilat	umbonate	Cocci
UW 3(3)3. 1	+	Irregular	undulate	cream	mengkilat	umbonate	Cocci

Keterangan : isolat bakteri dengan huruf tebal memiliki indeks selulolitik >1. Kode isolat UW 1, UW 2, dan UW 3, secara berturut-turut menunjukkan perlakuan tanpa pencucian, pencucian dengan aquades steril, dan pencucian dengan aquades steril+alkohol

Berdasarkan indeks selulitiknya, isolat bakteri selulitik yang memiliki aktivitas selulitik moderat dan kuat termasuk dalam bakteri Gram Positif. Aktivitas Sslulitik bakteri Gram positif cenderung lebih tinggi dari Gram negatif (Tabel 2 dan Tabel 3). Isolat bakteri dari penelitian ini berasal dari laut. Isolat bakteri dari laut berpotensi memiliki stabilitas dan ketahanan yang tinggi terhadap lingkungan dengan kadar garam tinggi. Namun, perbedaan sifat enzimatik pada setiap isolat dapat dipengaruhi oleh karakteristik kelas selulase, spesifisitas enzim terhadap substrat, stabilitas, kondisi lingkungan dan pertumbuhan bakteri (Mai-Prochnow *et al.*, 2016). Pada penelitian ini, diperoleh isolat bakteri selulolitik Gram-positif dan Gram-negatif. Bakteri Gram positif memiliki dinding sel yang lebih tebal dan kompleks dibandingkan dengan bakteri Gram negatif (Mai-Prochnow *et al.*, 2016). Dinding sel bakteri Gram positif terdiri dari peptidoglikan yang terikat rapat, sementara bakteri Gram negatif memiliki dinding sel yang lebih tipis dan memiliki lapisan luar membran lipopolisakarida (LPS) (Sun *et al.*, 2022). Perbedaan ini dapat mempengaruhi sifat enzim, termasuk stabilitas, aktivitas, dan kemampuan enzim untuk berinteraksi dengan substrat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri laut Gram positif menghasilkan sifat enzim selulitik yang unggul, antara lain stabil pada suhu tinggi atau *thermostable* (mencapai suhu 80°C), stabil pada pH tinggi 9,0-12,0 dan aktivitas residu sekitar 70% pada konsentrasi garam (NaCl 15%) yang menunjukkan sifat toleransi alkali-

halotoleransinya, serta stabil pada pelarut organik (Annamalai *et al.*, 2013, Trevendi *et al.*, 2011a dan 2011b).

4. Kesimpulan

Bakteri laut yang bersimbiosis dengan *Ulva lactuca* dari Pantai Ujung Genteng, Sukabumi, Indonesia berhasil diisolasi. Terdapat 14 isolat bakteri laut yang memiliki aktivitas selulitik dengan nilai indeks selulolitik berkisar antara 0.20±0.00-2.25±0.85. Isolat bakteri banyak diperoleh dari perlakuan tanpa pencucian, yang menunjukkan isolat tersebut berasal dari lingkungan hidup *Ulva lactuca*. Isolat dengan indeks selulolitik tertinggi adalah UW 1(1)1 5A1 yang termasuk ke dalam kategori kuat. Bakteri laut termasuk Gram positif dengan bentuk sel cocci dan sel berwarna cream.

Acknowledgement

Penelitian ini didukung oleh pendanaan Program Penelitian Dosen Muda Institut Pertanian Bogor, Tahun Anggaran 2022 dengan nomor kontrak 2900/IT3.L1/PT.01.03/M/T/2022.

Daftar Pustaka

- Annamalai, N., Rajeswari, M. V., Elayaraja, S., & Balasubramanian, T. (2013). Thermostable, haloalkaline cellulase from *Bacillus halodurans* CAS 1 by conversion of lignocellulosic wastes. *Carbohydrate Polymers*, 94:409-415.
- Behera, B. C., Sethi, B. K., Mishra, R. R., Dutta, S. K., & Thatoi, H. N. (2017).

- Microbial cellulases - Diversity & biotechnology with reference to mangrove environment: A review. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(1):197-210
- Bhat, M. K., & Bhat, S. (1997). Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. *Biotechnology Advances*, 15:583-620.
- Chantarasiri, A. (2015). Aquatic *Bacillus cereus* JD0404 isolated from the muddy sediments of mangrove swamps in Thailand and characterization of its cellulolytic activity. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(3):257-264.
- Chevassus-au-Louis, B., Andral, B., Femenias, A., & Buvier, M. (2012). Bilan des Connaissances scientifiques sur Les Causes de Prolifération de Macroalgues Vertes. Conseil Général de L'environnement et du Développement Durable; Paris, France: Rapport Pour Le Gouvernement Français 2012. Report No.: CGEDD 007942-01 et CGAAER 11128.
- Dominguez, H., & Loret, E. P. (2019). *Ulva lactuca*, a source of troubles and potential riches. *Marine Drugs*, 17(6):357.
- Jiang, H., Gong, J., Lou, W., & Zou, D. (2019) Photosynthetic behaviors in response to intertidal zone and algal mat density in *Ulva lactuca* (Chlorophyta) along the coast of Nan'ao Island, Shantou, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26:13346-13353.
- Kidgell J. T., Magnusson M., de Nys R., & Glasson C. R. K. (2019). Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research*, 39(3):1-20.
- Mai-Prochnow, A., Clauson, M., Hong, J. & Murphy A. B. (2016). Gram positive and Gram negative bacteria differ in their sensitivity to cold plasma. *Scientific Reports*, 6:38610.
- Meryandini, A., Widosari, W., Maranatha, B., Sunarti, T. C., Rachmania N., & Satria, H. (2009). Isolasi bakteri selulolitik dan karakterisasi enzimnya. *Makara. Sains*, 13(1):33-38.
- Mulyasari, Melati, I., & Sunarno, M. T. D. (2015) Isolasi, seleksi, dan identifikasi bakteri selulolitik dari rumput laut *Turbinaria* sp. dan *Sargassum* sp. sebagai kandidat pendegradasi serat kasar pakan ikan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(1):51-60.
- [MRP] Market Research Reports. (2023) Global cellulolytic enzymes market growth 2023-2029. (<https://www.marketresearchreports.com/lpi/global-cellulolytic-enzymes-market-growth-2023-2029>). Diakses 5 Juni 2023
- Narra, M., Dixit, G., Divecha, J., Madamwar, D., & Shah, A. R. (2012). Production of cellulases by solid state fermentation with *Aspergillus terreus* and enzymatic hydrolysis of mild alkali-treated rice straw. *Bioresource Technology*, 121:355-361.
- Polikovskiy, M., Califano, G., Dunger, N., Wichard, T., & Golberg, A. (2020). Engineering bacteria-seaweed symbioses for modulating the photosynthate content of *Ulva* (Chlorophyta): Significant for the feedstock of bioethanol production. *Algal Research*, 49:101945.
- Reddy, K. V., Vijayalashmi, T., Ranjit, P., & Raju, M. N. (2017) Characterization of some efficient cellulase producing bacteria isolated from pulp and paper mill effluent contaminated soil. *Biological and Applied Sciences Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60:1-6.

- Sadhu, S., & Maiti, T. K. (2013) Cellulase production by bacteria: A review. *British Microbiology Research Journal*, 3(3):235-258.
- Saini, J. K., Saini, R., & Tewari, L. (2015). Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: Concepts and recent developments. *3 Biotech*, 5(4):337-353.
- Sun, J., Rutherford, S. T., Silhavy, T. J. & Huang, K. C. (2022). Physical properties of the bacterial outer membrane. *Nature Reviews Microbiology*, 20:236-248.
- Robson, L. M., & Chambliss, G. H. (1989). Cellulases of bacterial origin. *Enzyme and Microbial Technology*, 11(10):626-644.
- Tajuddin, N., Rizman-Idid, M., Convey, P., & Alias, S. A. (2018). Thermal adaptation in a marine-derived tropical strain of *Fusarium equiseti* and polar strains of *Pseudogymnoascus* spp. under different nutrient sources. *Botanica Marina*, 61(1):9-20.
- Tang, T., Effiong, K., Hu, J., Li, C., & Xiao, X. (2021). Chemical prevention and control of the green tide and fouling organism ulva: Key chemicals, mechanisms, and applications. *Frontiers in Marine Science*, 8:618950.
- Trivedi, N., Gupta, V., Kumar, M., Kumari, P., Reddy, C., & Jha, B. (2011a). An alkali-halotolerant cellulase from *Bacillus flexus* isolated from green seaweed *Ulva lactuca*. *Carbohydrate Polymers*, 83(2):891-897.
- Trivedi, N., Gupta, V., Kumar, M., Kumari, P., Reddy, C., & Jha, B. (2011b). Solvent tolerant marine bacterium *Bacillus aquimaris* secreting organic solvent stable alkaline cellulase. *Chemosphere*, 83(5):706-712.
- Trivedi, N., Gupta, V., Reddy, C., R., K., & Jha, B. (2013a). Enzymatic hydrolysis and production of bioethanol from common macrophytic green alga *Ulva fasciata* Delile. *Bioresource Technology*, 150:106-112.
- Trivedi, N., Gupta, V., Reddy, C. R. K., & Jha, B. (2013b). Detection of ionic liquid stable cellulase produced by the marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp. isolated from brown alga *Sargassum polycystum* C. Agardh. *Bioresource Technology*, 132:313-319.
- Trivedi, N., Reddy, C. R. K., & Lali, A. M. (2016) Marine microbes as a potential source of cellulolytic enzymes. *Advances in Food and Nutrition Research*, 79:27-41.
- Yu, H. Y., & Li, X. (2015). Alkali-stable cellulase from a halophilic isolate, *Gracilibacillus* sp. SK1 and its application in lignocellulosic saccharification for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 81:19-25.
- Zanolla, M., Carmona, R., Kawai, H., Stengel, D. B., & Altamirano, M. (2019). Role of thermal photosynthetic plasticity in the dispersal and settlement of two global green tide formers: *Ulva pertusa* and *U. ohnoi*. *Marine Biology*. 166:1-12.