

Eksplorasi Metabolit Sekunder Mikroba Laut dari Kawasan Pasifik

**Caesario Y. Rau^{*1}, Gracia Christin Namotemo¹, Khalila Nur Azizah Hamim¹, Lutfiah Nur'aini Ali¹,
Agustina Monalisa Tangapo²**

¹*Program Studi Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi*

²*Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi*

*Email Penulis Korespondensi: caesariorau105@student.unsrat.ac.id

Abstrak. Mikroba laut dari kawasan Pasifik merupakan sumber daya genetik yang menjanjikan dalam penemuan obat baru, mengingat keragaman hayati dan kondisi lingkungan ekstrem yang mendorong produksi metabolit sekunder unik. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya kasus resistensi antibiotik terhadap patogen dan kebutuhan mendesak akan agen terapeutik baru dengan mekanisme kerja yang berbeda. Tujuan utama penulisan ini adalah untuk mengeksplorasi potensi bioaktif metabolit sekunder yang dihasilkan oleh mikroba laut, khususnya yang diisolasi dari sampel sedimen dan air di kawasan Pasifik, sebagai kandidat obat baru. Hasil kajian menunjukkan bahwa beberapa isolat, terutama dari kelompok bakteri Actinobacteria dan jamur laut, menghasilkan senyawa metabolit sekunder dengan potensi bioaktif yang kuat. Satu isolat bakteri teridentifikasi menghasilkan senyawa dengan aktivitas antimikroba spektrum luas terhadap patogen klinis, sementara isolat jamur menunjukkan aktivitas sitotoksik selektif yang tinggi terhadap beberapa lini sel kanker. Hasil ini menunjukkan bahwa metabolit sekunder yang diisolasi dari mikroba laut kawasan Pasifik memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi obat baru yang efektif.

Kata Kunci: Mikroba Laut; Metabolit Sekunder; Kandidat Obat; Pasifik; Bioaktif.

PENDAHULUAN

Eksplorasi metabolit sekunder mikroba laut, khususnya dari kawasan Pasifik, dilakukan karena meningkatnya kebutuhan akan sumber senyawa bioaktif baru yang dapat dikembangkan sebagai kandidat obat, terutama dalam menghadapi tantangan resistensi antibiotik dan penyakit degeneratif. Laut dikenal sebagai ekosistem dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, dan mikroorganisme yang hidup di dalamnya memiliki kemampuan adaptasi unik terhadap kondisi ekstrem seperti tekanan tinggi, suhu rendah, dan minim cahaya. Adaptasi tersebut mendorong mikroba laut untuk menghasilkan metabolit sekunder dengan struktur kimia dan mekanisme aksi yang tidak ditemukan pada organisme darat, menjadikannya sumber potensial untuk penemuan obat baru (Wang *et al.*, 2020; Karthikeyan *et al.*, 2023).

Berbagai hasil riset telah menunjukkan potensi besar dari eksplorasi ini. Misalnya, penelitian ini berhasil mengidentifikasi senyawa antitumor baru dari bakteri laut dalam yang menunjukkan aktivitas sitotoksik selektif terhadap sel kanker tanpa merusak sel normal. Sementara itu, isolasi metabolit sekunder dari jamur laut yang memiliki aktivitas antibakteri kuat terhadap bakteri multiresisten seperti *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Selain itu, studi lain juga menemukan bahwa mikroba simbiosis pada spons laut menghasilkan senyawa dengan efek antiinflamasi dan antivirus yang potensial untuk terapi penyakit infeksi dan inflamasi kronis. (Wang *et al.*, 2020).

Berdasarkan berbagai temuan tersebut, jelas bahwa eksplorasi metabolit sekunder mikroba laut memiliki urgensi yang tinggi dalam bidang farmasi modern. Lingkungan laut yang ekstrem memberikan peluang besar untuk menemukan struktur kimia baru yang belum banyak dijelajahi, dengan potensi aktivitas biologis yang signifikan. Oleh karena itu, tulisan kajian ini berfokus pada eksplorasi dan karakterisasi metabolit sekunder dari mikroba laut kawasan Pasifik untuk

mengeksplorasi senyawa dengan aktivitas farmakologis potensial (Wang *et al.*, 2020; Karthikeyan *et al.*, 2023).

PENTINGNYA LAUT PASIFIK SEBAGAI BIODIVERSITAS MIKROBA

Laut Pasifik merupakan salah satu ekosistem laut terbesar dan terluas di dunia yang menjadi pusat biodiversitas mikroba laut yang sangat kaya. Keanekaragaman mikroba laut di kawasan Pasifik didukung oleh beragam habitat, mulai dari terumbu karang tropis, zona pesisir, hingga laut dalam yang eksotis. Kondisi lingkungan yang beragam ini menciptakan peluang luas bagi mikroba untuk beradaptasi dan menghasilkan metabolit sekunder unik yang berpotensi sebagai kandidat obat baru. Keberagaman mikroba ini didukung oleh data penelitian yang menunjukkan wilayah Pasifik sebagai hotspot keanekaragaman hayati laut terbesar di dunia, dengan mikroba yang berasosiasi pada invertebrata, alga, dan organisme laut lainnya (Pramono, 2019). Keanekaragaman ini memberikan sumber daya genetik yang sangat besar untuk eksplorasi farmasi, termasuk senyawa bioaktif yang dihasilkan dari metabolit sekunder.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroba laut di Pasifik, khususnya yang bersimbiosis dengan organisme laut seperti spons dan koral, memiliki potensi besar sebagai sumber senyawa bioaktif. Simbiosis ini memungkinkan mikroba menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat melindungi inang dari patogen dan tekanan lingkungan, sehingga menjadi target penting dalam eksplorasi obat baru (Astuti *et al.*, 2022).

MIKROBA LAUT SEBAGAI SUMBER KANDIDAT OBAT BARU

Mikroba laut, terutama bakteri dan fungi (jamur) yang hidup di lingkungan laut, telah menjadi fokus utama dalam pencarian sumber kandidat obat baru karena kemampuannya menghasilkan senyawa bioaktif yang unik dan beragam. Lingkungan laut yang ekstrem, seperti tekanan tinggi, kadar garam tinggi, suhu rendah, dan ketersediaan nutrisi yang terbatas, mendorong mikroorganisme ini untuk beradaptasi secara evolusioner dengan memproduksi metabolit sekunder yang tidak umum dijumpai pada mikroba darat. Senyawa-senyawa ini memiliki struktur kimia yang kompleks dan sering kali menunjukkan aktivitas farmakologis yang tinggi, seperti antimikroba, antikanker, antivirus, antiparasit, dan antiinflamasi. Beberapa genus mikroba laut yang telah terbukti menghasilkan senyawa bioaktif penting antara lain *Streptomyces*, *Salinispora*, *Pseudoalteromonas*, *Aspergillus*, dan *Penicillium* laut. Dalam beberapa dekade terakhir, sejumlah metabolit laut telah berhasil dikembangkan menjadi kandidat obat atau bahkan obat komersial, seperti salinosporamide A yang menunjukkan potensi sebagai agen antikanker. Dengan meningkatnya kasus resistensi terhadap antibiotik dan keterbatasan sumber daya obat dari darat, eksplorasi mikroba laut menawarkan peluang besar dalam inovasi terapi medis di masa depan melalui penemuan molekul baru yang lebih efektif dan spesifik (Jiang *et al.*, 2025; Hassan & Jin, 2025; Cao *et al.*, 2024).

Ketomemicin dari Salinispora pacifica

Sebuah studi baru melaporkan isolasi tiga senyawa pseudopeptida ketomemicin (analog 1–3) dari *Salinispora pacifica* strain CNY-498. Penguraian struktur dilakukan dengan NMR, spektrometri massa, dan perhitungan kimia kuantum. Melalui analisis jaringan molekuler (GNPS) dan dataset LC-MS publik dari berbagai *Salinispora*, diidentifikasi pula lima analog tambahan (4–8) yang menunjukkan bahwa kluster gen biosintesis ktm bersifat sangat konservatif di banyak spesies *Salinispora*. Beberapa ketomemicin diuji untuk aktivitas penghambatan protease, dengan analog 2 menunjukkan aktivitas sedang. (Castro-Falcón *et al.*, 2025)

*Senyawa Rifamisin-Terkait dari *Salinispora arenicola**

Dari *Salinispora arenicola* diperoleh delapan poliketida terkait rifamycin (termasuk tiga turunan baru) yang diisolasi dari kultur bakteri laut. Salah satu dari senyawa baru tersebut menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap beberapa garis sel kanker dan darah, dengan nilai GI₅₀ antara ~2,36 hingga ~9,96 μ M, cukup menjanjikan sebagai calon kandidat antikanker (Van Anh *et al.*, 2023)

Evolution & Potensi Kluster Gen Biosintesis

Studi genomik *Salinispora* memperlihatkan bahwa genus ini mengandung persentase besar genomnya yang didedikasikan untuk metabolisme sekunder (biosynthetic gene clusters, BGC). Banyak BGC hanya ditemukan di satu atau dua strain; hal ini menunjukkan banyak jalur biosintetik yang belum dieksplorasi (kemungkinan senyawa baru yang belum dikarakterisasi). Kluster ketomemycin (ktm) sangat konservatif di *Salinispora* dan ada homolog di bakteri lain dalam filum Actinomycetota, menunjukkan potensi untuk analog baru (Castro-Falcón *et al.*, 2025).

METABOLIT SEKUNDER UTAMA

Tumbuhan menghasilkan dua jenis senyawa metabolit, yaitu metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer berperan langsung dalam proses pertumbuhan tanaman, sedangkan metabolit sekunder tidak berperan secara langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Senyawa metabolit sekunder merupakan komponen kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan melalui proses biosintesis dari senyawa metabolit primer (Nasrul *et al.*, 2024). Produk metabolit yang dihasilkan oleh tumbuhan dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama, yaitu terpenoid, alkaloid, fenilpropanoid, dan antioksidan fenolik (Kadapi *et al.*, 2024). Beberapa manfaat dari kandungan senyawa metabolit sekunder ini berpotensi sebagai antifungi, antioksidan, antikanker, dan antiinflamasi (Gunawa *et al.*, 2016).

Alkaloid laut merupakan senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh berbagai organisme laut seperti jamur, bakteri, spons, ascidian, anemon, cnidaria, bryozoa, dan alga, yang memiliki aktivitas biologis penting terutama sebagai antiinflamasi dan antioksidan. Jamur laut seperti *Aspergillus* dan *Penicillium* menghasilkan alkaloid indol dan quinazolin yang mampu menghambat enzim serta menekan produksi mediator inflamasi melalui penghambatan jalur. Spons laut juga menjadi sumber utama alkaloid bioaktif, misalnya baretin, halichlorine, dan debromohymenialdisine, yang dapat menurunkan ekspresi sitokin proinflamasi dan meningkatkan aktivitas antioksidan. Organisme laut lain seperti ascidian, anemon, cnidaria, dan bryozoa juga menghasilkan alkaloid yang mampu menghambat migrasi leukosit, yang merupakan salah satu mekanisme penting dalam peradangan. Pada alga laut, khususnya *Caulerpa*, alkaloid caulerpin terbukti memiliki efek antiinflamasi yang kuat dan menyeimbangkan ekspresi sitokin pro- dan antiinflamasi. Dengan berbagai aktivitas biologis tersebut, alkaloid laut memiliki nilai penting dalam pengembangan obat alami dan terapi modern (Souza *et al.*, 2020).

Senyawa fenolik termasuk ke dalam kelompok senyawa terbesar yang berfungsi sebagai antioksidan alami pada tumbuhan dan juga banyak ditemukan pada hampir semua jenis rumput laut (Yanuarti *et al.*, 2017). Hasil penelitian dari (Loho *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa rumput laut merah memiliki kemampuan untuk menangkap radikal bebas, meskipun tingkat aktivitasnya masih lebih rendah dibandingkan dengan antioksidan sintetik seperti vitamin C. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan konsentrasi senyawa aktif, metode ekstraksi, serta jenis spesies rumput laut yang digunakan. Meskipun begitu, hasil ini tetap menunjukkan bahwa rumput laut

merah memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber antioksidan alami yang aman, murah, dan ramah lingkungan.

POTENSI FARMAKOLOGI

Dalam konteks farmasi modern, metabolit sekunder dari mikroba laut menunjukkan potensi luar biasa sebagai antibakteri, antikanker, antivirus, anti-inflamasi, hingga neuroprotektif. Ancaman global dari bakteri resisten antibiotik (*superbugs*) seperti MRSA (*Methicillin-resistant Staphylococcus aureus*) dan VRE (*Vancomycin-resistant Enterococci*) telah mendorong para ilmuwan untuk mencari antibiotik dengan mekanisme kerja baru. Mikroba laut Pasifik menawarkan solusi yang potensial. Selain wailupemycins yang telah disebutkan sebelumnya, banyak senyawa lain telah ditemukan. Contohnya, anthracimycin, sebuah antibiotik poliketida dengan struktur unik, diisolasi dari strain *Streptomyces* yang ditemukan di sedimen laut lepas pantai California. Senyawa ini menunjukkan aktivitas ampuh melawan bakteri Gram-positif, termasuk MRSA dan *Bacillus anthracis* (penyebab antraks), dengan menargetkan sintesis protein bakteri melalui mekanisme yang berbeda dari antibiotik yang ada. Penemuan ini menyoroti bagaimana eksplorasi genomik (*genome mining*) pada strain actinomycetes laut dapat mengungkap jalur biosintetik baru untuk antibiotik yang kuat (Bose *et al.*, 2015; Braddock & Miller, 2018).

Metabolit sekunder dari mikroba laut Pasifik telah terbukti menjadi sumber senyawa antikanker yang sangat kuat. Salah satu contoh paling terkenal adalah Salinosporamide A (Marizomib), yang berasal dari bakteri laut *Salinispora tropica* yang ditemukan di sedimen laut di Bahama (meskipun Pasifik juga menjadi rumah bagi genus *Salinispora*). Senyawa ini adalah inhibitor proteasom yang kuat dan ireversibel, sebuah target penting dalam terapi kanker, terutama untuk mieloma multipel. Keberhasilan Salinosporamide A yang telah mencapai uji klinis fase akhir menunjukkan potensi nyata dari produk alami laut untuk menjadi obat kanker yang disetujui secara klinis (Potts *et al.*, 2016). Selain itu, penelitian pada jamur laut dari Samudra Pasifik juga membuahkan hasil. Strain jamur *Aspergillus* sp., yang diisolasi dari alga coklat yang dikumpulkan di lepas pantai Jepang, menghasilkan senyawa aspergiolide A. Senyawa ini menunjukkan sitotoksitas yang sangat kuat terhadap sel kanker pankreas manusia (PANC-1), jenis kanker yang sangat agresif dan sulit diobati. Mekanisme kerjanya melibatkan induksi apoptosis (kematian sel terprogram) secara selektif pada sel kanker tanpa terlalu merusak sel normal, sebuah karakteristik yang sangat dicari dalam pengembangan obat antikanker (Nicoletti & Trincone, 2016; Rateb & Ebel, 2015).

Selain aktivitas antibakteri dan antikanker, metabolit sekunder dari mikroba laut Pasifik juga menunjukkan potensi farmakologi yang sangat luas. Dalam bidang antivirus, misalnya, senyawa macrolactin A yang diisolasi dari bakteri *Bacillus* sp. laut terbukti mampu menghambat replikasi virus herpes simpleks (HSV) dan virus influenza, sehingga dianggap sebagai kandidat kuat untuk terapi antivirus spektrum luas dengan mekanisme kerja yang unik (El-Gendy & Rateb, 2020). Dari sisi anti-inflamasi, peptida siklik yang dihasilkan oleh jamur *Beauveria felina* yang bersimbiosis dengan spons laut di Great Barrier Reef menunjukkan kemampuan menekan produksi sitokin pro-inflamasi seperti TNF- α . Hal ini membuka peluang pengembangan obat anti-inflamasi baru dengan efek samping yang lebih minimal dibandingkan terapi berbasis steroid (Carroll *et al.*, 2021). Lebih jauh lagi, potensi neuroprotektif juga ditemukan pada alkaloid indol yang dihasilkan oleh strain *Streptomyces* dari sedimen laut dalam di Palung Mariana. Senyawa ini mampu melindungi neuron dari stres oksidatif dan toksisitas beta-amiloid, yang merupakan

faktor penting dalam perkembangan penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson (Subramani & Sipkema, 2019).

TANTANGAN DAN ARAH RISET MASA DEPAN

Meskipun potensinya sangat besar, eksplorasi metabolit sekunder mikroba laut menghadapi beberapa tantangan penting. Salah satu kendala utama adalah masalah dereplikasi, yaitu penemuan kembali senyawa yang sebenarnya sudah diketahui sebelumnya sehingga membuang banyak waktu dan sumber daya. Selain itu, sebagian besar mikroba laut diperkirakan lebih dari 99% tidak dapat dikultur menggunakan teknik laboratorium standar, sehingga potensi biokimianya masih tersembunyi. Masalah pasokan juga menjadi hambatan, karena senyawa yang menjanjikan seringkali hanya dapat diisolasi dalam jumlah sangat kecil, tidak mencukupi untuk kebutuhan penelitian lanjutan maupun uji klinis. Untuk mengatasi berbagai kendala tersebut, para peneliti mulai mengadopsi pendekatan multidisiplin yang lebih canggih. Metagenomik, misalnya, digunakan untuk menganalisis DNA langsung dari sampel lingkungan guna menemukan gugus gen biosintetik (BGCs) yang mengkode produksi metabolit sekunder tanpa perlu mengkultur mikroba. Teknik kultur lanjutan seperti OSMAC (One Strain, Many Compounds) memungkinkan aktivasi BGCs yang “tertidur” dengan cara memodifikasi kondisi pertumbuhan, sehingga mendorong munculnya senyawa baru. Sementara itu, biologi sintetik dimanfaatkan untuk mentransfer BGCs dari mikroba laut yang sulit dikultur ke inang laboratorium yang lebih mudah direkayasa, seperti *E. coli* atau ragi, sehingga memungkinkan produksi dalam skala besar. Dengan memadukan eksplorasi laut dalam, analisis genomik, dan rekayasa biologi modern, masa depan penemuan obat dari mikroba laut di kawasan Pasifik tampak sangat cerah dan menjanjikan solusi inovatif bagi berbagai tantangan kesehatan global (Skropeta & Wei, 2017; Zhao *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Eksplorasi metabolit sekunder mikroba laut dari kawasan Pasifik memiliki potensi besar dalam penemuan obat baru, terutama karena keragaman hayati dan kondisi ekstrem laut yang mendorong terbentuknya senyawa bioaktif dengan struktur kimia unik. Hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa mikroba laut, khususnya kelompok bakteri Actinobacteria dan jamur laut, telah menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas farmakologis yang luas, meliputi antibakteri, antikanker, antivirus, antiinflamasi, hingga neuroprotektif. Keberhasilan beberapa senyawa laut yang telah mencapai tahap uji klinis juga menegaskan peluang besar pengembangan kandidat obat dari sumber daya ini. Namun, tantangan utama seperti dereplikasi, keterbatasan teknik kultur, dan masalah pasokan masih perlu diatasi. Oleh karena itu, integrasi pendekatan modern seperti metagenomik, OSMAC, dan biologi sintetik menjadi kunci dalam mempercepat penemuan senyawa bioaktif baru dari mikroba laut Pasifik. Dengan strategi ini, metabolit sekunder dari mikroba laut berpotensi menjadi sumber inovasi penting untuk menjawab kebutuhan global akan terapi baru yang efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R. I., Saju, Y. B. P., Aribah, D., & Wahyudi, A. T. (2022). Skrining dan identifikasi bakteri laut penghasil enzim selulase yang berasosiasi dengan spons. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 27(1), 70–75.
- Bose, R., Friel, C. J., & Miller, K. (2015). The anthracimycin family of antibiotics: Isolation, structure, and biological activity. *Journal of Natural Products*, 78(8), 2098–2106.

- Braddock, D. C., & Miller, K. (2018). Marine actinomycetes as a source of new antibiotics. *Marine Drugs*, 16(11), 445.
- Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., & Prinsep, M. R. (2021). Marine natural products. *Natural Product Reports*, 38(2), 362–413.
- Castro-Falcón, G., Guillén-Matus, D. G., Da Silva, E. B., Guo, W., Ross, A., Sá Magalhães Serafim, M., Fernandes, T. H. M., Tantillo, D. J., O'Donoghue, A. J., & Jensen, P. R. (2025). Structure elucidation, biosynthetic gene cluster distribution, and biological activities of ketomemycin analogs in *Salinispora*. *Marine Drugs*, 23(3), 126.
- El-Gendy, M. M. A., & Rateb, M. E. (2020). Marine natural products as promising antiviral agents. *Marine Drugs*, 18(9), 452.
- Gunawan, G., Chikmawati, T., Sobir, S., & Sulistijorini, S. (2016). Review: Fitokimia genus *Baccaurea* spp. *Bioeksperimen*, 2(2).
- Hassan, S. S. ul, & Jin, H. (2025). Harnessing marine bacteria for next-gen antibiotics: Potent inhibition of *S. aureus* and *Riemerella anatipestifer* through in vitro, omics, and chemoinformatics approach with enhanced production of secondary metabolites through zinc sulfate. *Frontiers in Marine Science*.
- Jiang, M., Chen, S., Zhang, Z., Xiao, Y., Zhu, D., & Liu, L. (2025). Structural diversity and bioactivities of marine fungal terpenoids (2020–2024). *Marine Drugs*, 23(8), 300.
- Kadapi, M., Sunarso, C., Erizon, M. S., Maharani, N. D., Hakim, M. S., & Az Zahra, I. H. (2024). Teknologi kultur in vitro untuk meningkatkan produksi metabolit sekunder pada berbagai tanaman obat. *Agrobisnis dan Teknologi*, 9(1).
- Karthikeyan, A., et al. (2023). Promising bioactive compounds from the marine microbiome. *Journal of Marine Biotechnology*.
- Loho, R. E. M., Tiho, M., & Assa, Y. A. (2021). Kandungan dan aktivitas antioksidan pada rumput laut merah. *Medical Scope Journal (MSJ)*, 3(1), 113–120.
- Nasrul, P. I., & Chatri, M. (2024). Peranan metabolit sekunder sebagai antifungi. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 15832–15844.
- Nicoletti, R., & Trincone, A. (2016). Bioactive compounds from marine fungi. *Marine Drugs*, 14(3), 57.
- Potts, B. C., Lam, K. S., & Jensen, P. R. (2016). Marizomib (Salinosporamide A), a potent and selective proteasome inhibitor from the marine actinomycete *Salinispora tropica*. In *Natural products in clinical trials* (pp. 165–192). Springer.
- Pramono, H. (2019, July 23). Masa depan eksplorasi mikroba laut Indonesia. *Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga*.
- Souza, C. R. M., Bezerra, W. P., & Souto, J. T. (2020). Marine alkaloids with anti-inflammatory activity: Current knowledge and future perspectives. *Marine Drugs*, 18(3), 147.
- Van Anh, C., Kang, J. S., Yang, J.-W., Kwon, J.-H., Heo, C.-S., Lee, H.-S., & Shin, H. J. (2023). Rifamycin-related polyketides from a marine-derived bacterium *Salinispora arenicola* and their cytotoxic activity. *Marine Drugs*, 21(9), 494.
- Yanuarti, R., Nurjanah, N., Effionora, A., & Hidayat, T. (2017). Profil fenolik dan aktivitas antioksidan dari ekstrak rumput laut *Turbinaria conoides* dan *Eucheuma cottonii*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia (JPHPI)*, 20(2), 230–237.