



DNA Barcoding sebagai Pilar Bank Genetik: Analisis Sistematis Konservasi *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia

¹Muhammad Ilham Burhanuddin ^{1*}, ²Dewi Mustikaningtyas, ³Yustinus Ulung Anggraito

¹ Universitas Negeri Semarang

Email: ilhamburhan@students.unnes.ac.id, ¹, dewi_mustikaningtyas@mail.unnes.ac.id, ²,
anggraitoulung27@mail.unnes.ac.id, ³

*Corresponding author: ilhamburhan@students.unnes.ac.id.

ABSTRAK

Kappaphycus alvarezii merupakan salah satu rumput laut strategis dalam industri marikultur Indonesia karena perannya sebagai sumber utama karagenan. Namun, tantangan seperti pencemaran, perubahan iklim, dan praktik budidaya yang intensif telah mengancam keberlanjutan dan keragaman genetik spesies ini. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis pemanfaatan DNA barcoding sebagai pilar pengembangan bank genetik *K. alvarezii* di Indonesia. Metode yang digunakan adalah studi literatur sistematis berdasarkan protokol PRISMA, dengan sumber utama dari database Scopus dan Google Scholar. Hasil seleksi menghasilkan tujuh artikel relevan yang dianalisis menggunakan pendekatan tematik. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa DNA barcoding dengan gen penanda seperti *rbcl*, *COI*, *cox1*, dan *cox2-3* spacer efektif mengidentifikasi *K. alvarezii* secara akurat ($\geq 99\%$ kesamaan sekuens dengan referensi GenBank), serta mengungkap keberadaan variasi genetik lokal dalam bentuk haplotipe. Beberapa studi juga menggabungkan pendekatan molekuler dengan analisis kimiawi (FTIR) untuk memperkuat keabsahan identifikasi dan mendukung sistem ketertelusuran (traceability). Temuan ini menegaskan bahwa DNA barcoding merupakan fondasi penting dalam strategi konservasi berbasis bukti dan pembangunan bank genetik nasional, guna menunjang pemuliaan bibit unggul dan pelestarian hayati laut secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Kappaphycus alvarezii*, DNA barcoding, bank genetik, keragaman genetik, konservasi rumput laut, konservasi Indonesia

ABTRACT

Kappaphycus alvarezii is a key seaweed species in Indonesia's mariculture industry, primarily valued for its role as a major source of carrageenan. However, challenges such as pollution, climate change, and intensive farming practices have raised concerns regarding the sustainability and genetic diversity of this species. This study aims to systematically analyze the role of DNA barcoding as a cornerstone in the development of a genetic bank for *K. alvarezii* in Indonesia. A systematic literature review was conducted following the PRISMA protocol, drawing on articles indexed in Scopus and Google Scholar. Seven relevant studies were selected and thematically analyzed. The results indicate that DNA barcoding using genetic markers such as *rbcl*, *COI*, *cox1*, and *cox2-3* spacer is highly effective in accurately identifying *K. alvarezii* ($\geq 99\%$ sequence similarity to GenBank references), and also reveals the presence of local genetic variations in the form of haplotypes. Some studies further integrated molecular and chemical approaches (e.g., FTIR) to validate species identity and support product traceability. These findings highlight the critical role of DNA barcoding in evidence-based conservation strategies and the establishment of a national genetic bank to support elite cultivar selection and the sustainable preservation of marine biodiversity.

Keywords: *Kappaphycus alvarezii*, DNA barcoding, genetic bank, genetic diversity, seaweed conservation, Indonesia conservation

1. PENDAHULUAN

Rumput laut *Kappaphycus alvarezii* merupakan salah satu komoditas utama dalam industri rumput laut Indonesia yang dikenal sebagai sumber utama karaginan atau zat alami berupa

polisakarida yang diekstrak dari *kappa alvarezii* yang biasa digunakan sebagai bahan pengental, pembuat gel dan pengstabilan zat emulsi. Spesies ini memiliki peran penting tidak hanya dalam perekonomian pesisir, tetapi juga dalam menjaga ekosistem laut tropis yang seimbang. Namun, peningkatan aktivitas budidaya yang tidak terkendali, pencemaran laut, serta perubahan iklim telah menyebabkan tekanan terhadap keberlanjutan dan keragaman genetik spesies ini. Dalam konteks ini, pendekatan konservasi modern menjadi penting untuk menjaga dan mengelola sumber daya genetik yang ada.

Salah satu strategi ilmiah yang mendukung konservasi jangka panjang adalah pengembangan bank genetik, yaitu sistem penyimpanan informasi genetik spesies secara terorganisir untuk mendukung konservasi ex-situ. Dalam mendukung strategi tersebut, DNA barcoding telah menjadi metode molekuler yang efektif untuk mengidentifikasi dan membedakan spesies serta varietas melalui penanda genetik tertentu, seperti gen *rbcl* atau *cox1*. Teknik ini menawarkan identifikasi yang cepat, akurat, dan dapat direplikasi, sehingga menjadi fondasi penting bagi sistem bank genetik di masa depan (Satriani et al., 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Satriani et al. (2024) menunjukkan bahwa *Kappaphycus alvarezii* yang dibudidayakan di berbagai wilayah Indonesia memiliki variasi genetik yang dapat dideteksi menggunakan gen *rbcl*, yang berimplikasi langsung terhadap efektivitas seleksi bibit dan pengembangan basis data genetik nasional. Selain itu, studi oleh Ihsan, Pramesti, dan Susanto (2023) menunjukkan bahwa variasi pertumbuhan *K. alvarezii* dapat dipengaruhi oleh jarak tanam dan kondisi lingkungan, yang semakin menegaskan perlunya konservasi berbasis pendekatan molekuler. Kajian ini sejalan dengan pentingnya integrasi data DNA barcoding dalam upaya konservasi dan pengembangan bank genetik.

Sejumlah penelitian terbaru menekankan bahwa menggabungkan DNA barcoding dengan pendekatan kimiawi seperti Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dapat semakin memperkuat keabsahan identifikasi spesies. Hal ini karena DNA barcoding mampu memberikan informasi genetik dengan resolusi tinggi, sementara FTIR mengungkapkan profil kimiawi spesifik yang menjadi ciri khas setiap spesies. Integrasi kedua metode tersebut menghasilkan validasi ganda, baik secara molekuler maupun kimiawi, sehingga meningkatkan reliabilitas identifikasi *K. alvarezii* dalam konteks konservasi dan pemuliaan rumput laut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis sistematis terhadap strategi konservasi *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia dengan menempatkan DNA barcoding sebagai pilar utama dalam pengembangan bank genetik, guna memperkuat kebijakan perlindungan sumber daya hayati laut secara ilmiah dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

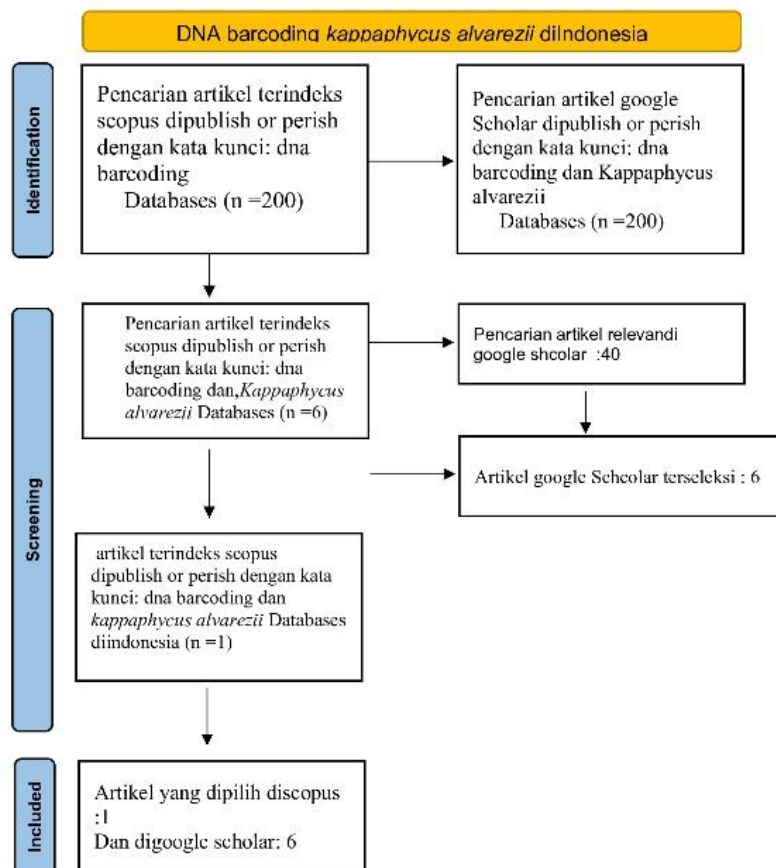
Penelitian ini merupakan studi literatur sistematis yang disusun berdasarkan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk memastikan transparansi dan replikasi dalam proses peninjauan. Data bibliografis dikumpulkan menggunakan perangkat lunak Publish or Perish, dengan basis data utama berasal dari jurnal terindeks Scopus. Kata kunci seperti "DNA barcoding," "*Kappaphycus alvarezii*," digunakan untuk mengekstraksi artikel relevan yang dipublikasikan hingga tahun 2025.

Kriteria inklusi mencakup:

1. Artikel berbahasa Inggris
2. Dipublikasikan dalam jurnal ilmiah terindeks Scopus,
3. Fokus pada penerapan DNA barcoding untuk konservasi atau karakterisasi genetik *Kappaphycus alvarezii*.

Proses seleksi artikel dilakukan melalui 4 tahap PRISMA: identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan inklusi. Visualisasi proses ini ditampilkan dalam alur PRISMA. Untuk mendukung pembahasan,

literatur tambahan juga ditelusuri melalui Google Scholar. Studi ini juga mengadopsi teknik analisis tematik untuk menyintesis konten artikulasi konservasi berbasis genetik, dengan mempertimbangkan kebijakan pelestarian, keragaman genetik intra-spesies, serta kesiapan *K. alvarezii* sebagai kandidat utama dalam pengembangan bank genetik nasional (Farooq et al., 2020).



(Diagram PRISMA literatur *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia)

Gambar di atas merupakan bagan alur sistematis (flowchart) proses identifikasi dan seleksi artikel dalam kajian literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR) mengenai topik DNA barcoding *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia. Proses dimulai dari tahap identifikasi, di mana pencarian dilakukan pada dua sumber utama: database artikel terindeks Scopus dan Google Scholar, masing-masing menggunakan kata kunci “DNA barcoding” dan “*Kappaphycus alvarezii*.” Dari pencarian awal sebanyak 200 artikel di masing-masing database dipublish or parish, tahap penyaringan selanjutnya dilakukan berdasarkan relevansi dan kecocokan dengan fokus geografis (Indonesia).

Pada tahap screening, jumlah artikel dari Scopus yang relevan dengan topik dan konteks geografis dipersempit menjadi 3, lalu difilter kembali sehingga hanya satu artikel yang benar-benar sesuai dengan kata kunci dan lokasi penelitian. Di sisi lain, dari 200 artikel Google Scholar yang ditemukan, 40 dinilai relevan dan disaring lebih lanjut hingga tersisa 6 artikel yang sesuai kriteria. Hasil akhir dari proses seleksi ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 1 artikel dari Scopus dan 6 artikel dari Google Scholar yang memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis dalam kajian ini. Kriteria inklusi yang digunakan meliputi: (1) membahas *Kappaphycus alvarezii* dalam konteks konservasi atau karakterisasi genetik, (2) menggunakan metode DNA barcoding atau analisis molekuler terkait, (3)

dipublikasikan dalam jurnal ilmiah terindeks dan tersedia dalam bentuk full-text, serta (4) memiliki keterkaitan langsung dengan konteks geografis Indonesia atau wilayah tropis relevan. Artikel yang tidak memenuhi syarat ini, seperti penelitian yang bersifat umum, duplikat, atau tanpa data empiris, dikeluarkan dari analisis. Dengan demikian, tujuh artikel yang diperoleh mewakili literatur paling relevan dan valid untuk dianalisis lebih lanjut dalam kajian ini..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Sumber Literatur yang Relevan

Judul	Penulis/Tahun	Metode	Hasil
Identifikasi Genetik Bibit K. alvarezii Kalimantan Utara	Satriani et al., 2023	DNA barcoding menggunakan gen rbcL dan cox2-3 spacer pada 17 varietas bibit	99% kemiripan sekuens dengan K. alvarezii; ditemukan 4 haplotipe berbeda; variasi genetik menunjukkan potensi seleksi bibit unggul; nilai jarak genetik 0–0,243
Filogenetik dan Analisis Kimia Karagenan Bibit K. alvarezii	Satriani et al., 2024 (IPB)	DNA barcoding rbcL dan spektrum FTIR pada 16 sampel bibit dari sentra budidaya	99% kemiripan dengan K. alvarezii (rbcL); semua sampel mengandung gugus sulfat dan galaktosa khas kappa karagenan; mendukung sistem traceability
Identifikasi Kappaphycus di 14 Lokasi Budidaya	Ratnawati et al., 2018	DNA barcoding menggunakan gen COI	Hampir seluruh sampel adalah K. alvarezii, 1 sampel K. striatus; keragaman genetik rendah, namun terdapat variasi morfologis di lapangan
Verifikasi Spesies Kappaphycus di Jawa Timur	Asyabil et al., 2023	DNA barcoding gen rbcL terhadap sampel budidaya	Identifikasi K. alvarezii dengan jarak genetik intraspesies sangat rendah (0–0,005); menunjukkan kestabilan genetik meski bentuk morfologi bervariasi
Analisis Filogenetik Kappaphycus di Utara Jawa	Suci, 2022	DNA barcoding cox1 dan rbcL dari 5 lokasi (Serang, Seribu, Karimunjawa, Madura, Banyuwangi)	Ditemukan 2 spesies (K. alvarezii dan K. striatus); namun populasi budidaya bersifat klonal; Hd: 0–0,333, π : 0–0,0004
Analisis Haplotipe Bibit K. alvarezii di Tarakan	Satriani et al., 2020	Marker cox2-3 spacer terhadap 16 kultur bibit	Ditemukan 4 haplotipe; hasil genetik berkorelasi dengan performa pertumbuhan bibit unggul
Genetic diversity analysis of cultivated Kappaphycus in Indonesian seaweed farms using COI gene	Ratnawati, P., Simatupang, N.F., Pong-Masak, P.R., Paul, N.A., Zuccarello, G.C. / 2020	Analisis DNA barcoding menggunakan gen COI (600 bp dari bagian 5') terhadap sampel Kappaphycus dari 14 lokasi budidaya di Indonesia (April 2017 – Mei 2018); identifikasi morfologi juga dilakukan	semua sampel dari budidaya <i>floating line</i> diidentifikasi sebagai <i>Kappaphycus alvarezii</i> tanpa variasi genetik; satu sampel dari <i>bottom-line</i> diidentifikasi sebagai <i>K. striatus</i> ; variasi morfologi tidak mencerminkan variasi genetik; variasi fenotip diduga akibat respons lingkungan, penting untuk pertumbuhan dan kualitas karagenan

Berdasarkan telaah sistematis terhadap enam artikel yang membahas identifikasi genetik *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia, diketahui bahwa seluruh studi menggunakan pendekatan DNA barcoding sebagai metode utama, dan hasilnya membuktikan bahwa teknik ini akurat serta bermanfaat dalam mengidentifikasi *K. alvarezii*. Sebagian besar penelitian mengandalkan analisis filogenetik dengan gen target tertentu, yaitu *rbcl* yang berperan sebagai penanda plastida untuk mengungkap hubungan taksonomi antarspesies alga, COI atau *cox1* sebagai gen mitokondria yang lazim dipakai dalam DNA barcoding karena mampu membedakan spesies dengan tingkat resolusi tinggi, serta *cox2-3* spacer yang digunakan untuk mendeteksi variasi intraspesies sekaligus menjelaskan hubungan kekerabatan yang lebih rinci dalam genus *Kappaphycus*. Kombinasi penggunaan gen tersebut tidak hanya memvalidasi identitas spesies, tetapi juga memberikan gambaran mengenai variasi genetik antar populasi. Selain itu, beberapa penelitian turut memanfaatkan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) sebagai metode tambahan untuk memperkuat konfirmasi spesies melalui analisis kimiawi.

Studi oleh Satriani et al. (2023) di Kalimantan Utara menganalisis 17 varietas bibit *K. alvarezii* menggunakan marker *rbcl* dan *cox2-3* spacer. Hasil analisis menunjukkan 99% kesamaan sekuens dengan data referensi *K. alvarezii* di GenBank. Penelitian ini juga mengidentifikasi empat haplotipe berbeda, menunjukkan adanya keragaman genetik lokal. Peneliti mencatat adanya korelasi positif antara haplotipe tertentu dengan pertumbuhan bibit unggul selama budidaya, dengan nilai jarak genetik berkisar antara 0 hingga 0,243 (menggunakan model Kimura 2-parameter). Studi lanjutan oleh Satriani et al. (2020) di Tarakan yang menggunakan marker *cox2-3* spacer juga berhasil mendeteksi empat haplotipe, menguatkan potensi marker ini dalam seleksi genetik bibit unggul.

Penelitian oleh Gloria Ika Satriani dkk. (2024) dari Institut Pertanian Bogor bertujuan untuk menyediakan informasi filogenetik dan potensi karagenan bibit *Kappaphycus alvarezii* dari berbagai sentra budidaya di Indonesia. Studi ini menggunakan pendekatan identifikasi molekuler melalui penanda gen *rbcl* serta analisis kimia karagenan menggunakan spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR). Hasil analisis menunjukkan bahwa 16 sampel bibit yang diuji memiliki kemiripan sekuens DNA sebesar 99% dengan *K. alvarezii* berdasarkan referensi GenBank. Sementara itu, hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa semua sampel mengandung struktur kimia khas kappa karagenan, seperti gugus sulfat dan galaktosa. Penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan DNA barcoding dan analisis kimiawi sebagai dasar penentuan keaslian dan kualitas bibit rumput laut dalam mendukung program pemuliaan dan sistem traceability hasil budidaya di Indonesia.

Selanjutnya, Ratnawati et al. (2018) menganalisis sampel dari 14 lokasi di Indonesia menggunakan gen COI. Studi ini menemukan bahwa hampir seluruh sampel adalah *K. alvarezii*, dengan satu sampel teridentifikasi sebagai *K. striatus*. Meskipun keragaman genetik yang terdeteksi pada COI relatif rendah, penelitian tetap mengamati variasi morfologis yang signifikan di lapangan. Asyabil dkk. (2023) dari Universitas Brawijaya meneliti spesimen dari Jawa Timur dengan gen *rbcl*, yang menunjukkan jarak genetik intraspesies yang rendah (0–0,005), menegaskan kestabilan genetik populasi budidaya meskipun terdapat perbedaan bentuk morfologi.

Penelitian oleh Suci (2022) dari Universitas Gadjah Mada mengkaji status keragaman genetik dan verifikasi spesies *Kappaphycus* yang dibudidayakan di perairan utara Pulau Jawa menggunakan pendekatan DNA barcoding dan filogenetik berbasis marker mtDNA *cox1* dan cpDNA *rbcl*. Sampel dikumpulkan dari lima lokasi budidaya yaitu Serang, Kepulauan Seribu, Karimunjawa, Madura, dan Banyuwangi. Hasil identifikasi menunjukkan adanya dua spesies, yaitu *Kappaphycus alvarezii* dan *Kappaphycus striatus*. Meskipun ditemukan dua spesies, analisis molekuler menunjukkan bahwa keragaman genetik dari populasi budidaya sangat rendah, dengan masing-masing spesies secara umum terdiri dari satu haplotipe. Nilai keragaman haplotipe (H_d) berkisar antara 0 hingga 0,333 dan keragaman nukleotida (π) hanya 0 hingga 0,0004. Penelitian ini menyimpulkan bahwa seluruh populasi *Kappaphycus* budidaya di wilayah tersebut secara genetik bersifat klonal, meskipun secara fenotipe menunjukkan variasi (Suci, 2022).

Dalam studi Ratnawati et al. (2020), identifikasi genetik *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia dilakukan menggunakan pendekatan DNA barcoding, dengan fokus pada gen COI (cytochrome oxidase

subunit I) sebagai penanda genetik utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini efektif dan akurat untuk mengidentifikasi spesies secara genetik, meskipun terdapat variasi morfologi yang cukup tinggi di lapangan. Seluruh sampel dari budidaya floating line diidentifikasi sebagai *K. alvarezii* tanpa menunjukkan variasi pada sekuens gen COI, sampel dari sistem budidaya floating line diidentifikasi sebagai *K. alvarezii* tanpa menunjukkan variasi pada sekuens gen COI. Namun, satu sampel yang berasal dari metode budidaya dasar (*bottom culture*) teridentifikasi sebagai *K. striatus*. Temuan ini sejalan dengan penelitian lain yang menegaskan keandalan DNA barcoding dalam membedakan spesies rumput laut dengan variasi morfologi yang tinggi.

Dari hasil analisis sistematis dalam ketujuh penelitian tersebut teridentifikasi genetik *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia umumnya dilakukan dengan metode DNA barcoding, yaitu teknik yang menggunakan potongan DNA tertentu untuk mengenali spesies. Gen-gen yang sering digunakan dalam penelitian ini antara lain *rbcl*, COI, *cox1*, dan *cox2-3* spacer. Berdasarkan tujuh studi yang dianalisis, metode ini terbukti sangat akurat dalam mengenali *K. alvarezii*, meskipun bentuk atau warna rumput laut seringkali terlihat berbeda-beda. Sebagian besar sampel menunjukkan kemiripan sekuens DNA $\geq 99\%$ dengan referensi dari GenBank, menunjukkan bahwa rumput laut yang dibudidayakan memiliki identitas genetik yang seragam.

Namun, beberapa studi juga menemukan adanya variasi genetik lokal dalam bentuk haplotipe yang berbeda, meskipun jumlahnya masih terbatas. Misalnya, penelitian oleh Satriani, G. I., et al. (2024) berhasil mengidentifikasi beberapa haplotipe, yang menunjukkan adanya potensi genetik dalam budidaya bibit unggul. Selain itu, metode tambahan seperti FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) juga digunakan untuk memastikan bahwa rumput laut yang diuji mengandung senyawa karagenan khas. Hal ini penting untuk mendukung program pemuliaan, menjaga kualitas hasil panen, dan memastikan ketelusuran produk (*traceability*) rumput laut di Indonesia.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian *systematis literatur review* (SLR) terhadap tujuh studi yang relevan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan DNA barcoding merupakan metode yang sangat efektif dan akurat untuk mengidentifikasi spesies *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia. Penggunaan gen penanda seperti *rbcl*, COI, *cox1*, dan *cox2-3* spacer secara konsisten menunjukkan tingkat kemiripan DNA $\geq 99\%$ dengan referensi GenBank, sekaligus mampu mendeteksi adanya keragaman genetik lokal dalam bentuk haplotipe. Hal ini penting mengingat variasi morfologi yang tinggi tidak selalu mencerminkan perbedaan genetik, sehingga metode molekuler sangat diperlukan untuk identifikasi yang valid, objektif dan efisien. Selain itu, studi yang menggabungkan DNA barcoding dengan pendekatan kimiawi seperti FTIR sangat memperkuat keabsahan identifikasi dan mendukung pengembangan sistem *traceability* hasil budidaya *Kappaphycus alvarezii* di Indonesia.

Temuan ini menggaris bawahi pentingnya integrasi pendekatan molekuler dalam strategi konservasi dan pengembangan bank genetik nasional untuk *K. alvarezii*. Identifikasi variasi genetik lokal, meskipun terbatas, membuka peluang seleksi bibit unggul dan pelestarian sumber daya hayati laut yang lebih terencana. Selain itu, pendekatan sistematis dalam seleksi literatur menunjukkan perlunya kebijakan riset yang terarah untuk mengisi kekosongan data genetik nasional dan mendukung kebijakan perlindungan hayati laut berbasis bukti ilmiah. Dengan demikian, DNA barcoding dapat diposisikan sebagai pilar utama dalam konservasi modern dan pengelolaan berkelanjutan komoditas rumput laut strategis ini.

REFERENSI

- Asyabil, M., Fitriani, R., & Prakoso, Y. (2023). Karakterisasi molekuler *Kappaphycus alvarezii* di Jawa Timur menggunakan gen *rbcL*. *Universitas Brawijaya*. Retrieved from <https://repository.ub.ac.id>
- Mamat, H., Abdul Aziz, A. H., Zainol, M. K., Pindi, W., Mohammad Ridhwan, N., Kobun, R., & Putra, N. R. (2024). Utilizing seaweeds for food production and applications: a comprehensive review of *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 33(7), 553-572.
- Nunes, A., Azevedo, G. Z., de Souza Dutra, F., dos Santos, B. R., Schneider, A. R., Oliveira, E. R., ... & Lima, G. P. (2024). Uses and applications of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii*: a systematic review. *Journal of Applied Phycology*, 36(6), 3409-3450.
- Nurani, W., Anwar, Y., Batubara, I., Arung, E. T., & Fatriasari, W. (2024). *Kappaphycus alvarezii* as a renewable source of kappa-carrageenan and other cosmetic ingredients. *International Journal of Biological Macromolecules*, 260, 129458.
- Ratnawati, E., & Widodo, N. (2019). Analisis variasi genetik rumput laut *Kappaphycus alvarezii* dari 14 lokasi budidaya menggunakan gen COI. BBP4B KKP. Retrieved from <https://etd.repository.ugm.ac.id>
- Ratnawati, P., Simatupang, N. F., Pong-Masak, P. R., Paul, N. A., & Zuccarello, G. C. (2020). Genetic diversity analysis of cultivated *Kappaphycus* in Indonesian seaweed farms using COI gene. *Squalen: Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 15(2), 65–72. <https://doi.org/10.15578/squalen.v15i2.466>
- Satriani, G. I., Yusup, A., & Nurhayati, N. (2020). Analisis haplotipe bibit unggul *Kappaphycus alvarezii* di Tarakan menggunakan penanda *cox2-3* spacer. BBP4B KKP. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id>
- Satriani, G. I., et al. (2024). Identification of *Kappaphycus alvarezii* seaweed based on phylogenetic and carrageenan conten. *Journal of Tropical Marine Biotechnology, IPB*. Retrieved from <https://journal.ipb.ac.id>
- Suci, P. A. (2022). Analisis filogenetik *Kappaphycus alvarezii* dan *K. striatus* di pesisir utara Jawa menggunakan gen *cox1* dan *rbcL*. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Retrieved from <https://etd.repository.ugm.ac.id>