

SUSTAINABLE SEAWEED FARMING IN MALAYSIA: CULTIVATING WILD EUCHEUMATIDS AND CONSERVING GENETIC RESOURCES

KELESTARIAN PENANAMAN RUMPAI LAUT DI MALAYSIA: PENANAMAN EUKEUMATOID LIAR DAN PEMULIHARAAN SUMBER GENETIK



Copyright 2025

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording or any information storage or retrieved system, without the expressed permission of the authors.

Published by | Diterbitkan oleh:

Institute of Ocean and Earth Sciences | Institut Sains Samudera dan Bumi
Universiti Malaya
50603 Kuala Lumpur, Malaysia
<https://ioes.um.edu.my>



Cataloguing-in-Publication Data

Perpustakaan Negara Malaysia

A catalogue record for this book is available
from the National Library of Malaysia

eISBN 978-967-26257-8-0

Sustainable Seaweed Farming in Malaysia: Cultivating Wild Eucheumatoids and Conserving Genetic Resource

Kelestarian Penanaman Rumpai Laut di Malaysia: Penanaman Eucheumatoid Liar dan Pemuliharaan Sumber Genetik

NURULAFIFAH YAHYA

POONG SZE WAN

JULIET BRODIE

ELIZABETH J. COTTIER-COOK

AZHAR HJ. KASSIM

LIM PHAIK EEM

Funded by:

Dibiayai:



Department
for Environment
Food & Rural Affairs

In collaboration with:

Dengan kerjasama:



PREFACE

Kappaphycus and *Eucheuma*, collectively known as eucheumatoid seaweeds, were first cultivated in Malaysia in 1978 using the longline method. Production has been steadily increasing over the years, reaching a peak in 2012. However, for the past 10 years, production of eucheumatoids in Malaysia has decreased, despite high market demand for these raw resources of carrageenan.

Given that eucheumatoid seaweeds have been generally propagated vegetatively since the 1970s, low genetic diversity among cultivars has been highlighted as one of the factors for the declining vigor and reduced productivity of the crops. As these cultivars 'age', they exhibit slower growth rates. Coupled with climate change, especially increasing heatwaves in tropical regions, these cultivars are becoming increasingly vulnerable to pests and diseases.

Supported by funding from the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs and UK International Development for the Global Centre on Biodiversity for Climate (GCBC) projects, Innovative Seaweed Aquaculture and Global Seaweed SUPERSTAR, our team collected genetically diverse eucheumatoids from the wild to be developed into new potential cultivars with desirable traits such as high growth rate and resilience to the environmental changes.

This guidebook provides an overview of the development of new cultivars from wild eucheumatoid stocks in Semporna, Sabah, while highlighting the critical importance of conserving these wild resources as genetic resources for sustainable seaweed farming. The topics covered in this guide aim to provide readers with the information required for sustainable eucheumatoid farming in the longer term.

PRAKATA

Kappaphycus dan *Eucheuma*, secara kolektif dikenali sebagai rumput laut eukeumatoid, mula ditanam di Malaysia pada tahun 1978 menggunakan kaedah penanaman rawai. Pengeluarannya semakin meningkat dan mencapai kemuncaknya pada tahun 2012. Walau bagaimanapun, sejak 10 tahun lalu, pengeluaran eukeumatoid di Malaysia telah mengalami penurunan walaupun permintaan pasaran adalah tinggi sebagai sumber bahan mentah karaginan.

Memandangkan rumput laut eukeumatoid secara amnya dibiakkan secara vegetatif sejak tahun 1970-an, kepelbagaian genetik kultivar yang rendah dikatakan sebagai salah satu faktor utama kemerosotan kesihatan dan produktiviti tanaman. Apabila kultivar ini semakin 'tua', kadar pertumbuhannya menjadi semakin perlahan. Dengan pengaruh perubahan iklim, terutamanya peningkatan gelombang haba di kawasan tropika, kultivar ini menjadi semakin terdedah kepada perosak dan penyakit.

Disokong oleh pembiayaan daripada UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) dan UK International Development untuk projek-projek *Global Centre on Biodiversity for Climate (GCBC)*, *Innovative Seaweed Aquaculture* dan *Global Seaweed SUPERSTAR*, pasukan kami mengumpul eukeumatoid berkepelbagaian genetik dari habitat liar untuk dibangunkan menjadi potensi kultivar baharu dengan ciri-ciri yang diingini seperti kadar pertumbuhan yang tinggi dan berdaya tahan terhadap perubahan persekitaran.

Buku panduan ini memberikan gambaran keseluruhan tentang pembangunan kultivar baharu daripada stok eukeumatoid liar di Semporna, Sabah, di samping menekankan kepentingan untuk memulihara sumber liar ini sebagai sumber genetik untuk penanaman rumput laut yang mampan. Topik yang dibincangkan dalam panduan ini bertujuan untuk memberikan maklumat yang diperlukan kepada pembaca mengenai penanaman eukeumatoid yang mampan untuk jangka panjang.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) for funding the GCBC project **Innovative Seaweed Aquaculture: A Nature-based Solution for Biodiversity Restoration and Poverty Alleviation in a Time of Accelerating Global Climate Change** (SCG22001; IF041-2022) and to the UK International Development and DEFRA for funding **Global Seaweed SUPERSTAR: Supporting Livelihood by Protecting, Enhancing and Restoring Biodiversity by Securing the Future of the Seaweed Aquaculture Industry in Developing Countries** (G01-007211; IF008-2024), which resulted in the publication of this guidebook.

This work is partially supported by the Ministry of Higher Education Malaysia through the Higher Institution Centre of Excellence (HICoE) grant (HICoE IOES-2023F) in the form of facilities and resources.

We express our utmost appreciation to the officers of the Department of Fisheries Sabah (Mr. Irman Isnain, Mr. Nor Sri Shahrizan, Mr. Melvin Kinsuat), Mr. Sazali Binsali, Mr. Ahmad Fairus Ahmad Jais, Ms. Nabila Syafiq, Mohd Syafik Munap, Teejoy Marine Sdn. Bhd. and all those involved directly and indirectly in making this research project a success.

PENGHARGAAN

Pengarang ingin menzahirkan penghargaan kepada *Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)* di atas tajaan kepada projek GCBC bertajuk ***Innovative Seaweed Aquaculture: A Nature-based Solution for Biodiversity Restoration & Poverty Alleviation in a Time of Accelerating Global Climate Change*** (SCG22001; IF041-2022) dan kepada UK International Development dan DEFRA untuk projek ***Global Seaweed SUPERSTAR: Supporting Livelihood by Protecting, Enhancing and Restoring Biodiversity by Securing the Future of the Seaweed Aquaculture Industry in Developing Countries (G01-007211; IF008-2024)***, yang membolehkan penerbitan buku panduan ini.

Penyelidikan ini sebahagiannya disokong oleh Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia melalui projek Pusat Kecemerlangan Pendidikan Tinggi (HICoE IOES-2023F) dalam bentuk kemudahan dan sumber penyelidikan.

Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada pegawai-pegawai Jabatan Perikanan Sabah (En. Irman Isnain, En. Nor Sri Shahrizan, En. Melvin Kinsuat), En. Sazali Binsali, En. Ahmad Fairus Ahmad Jais, Cik Nabila Syafiq, En. Mohd Syafik Munap, Teejoy Marine Sdn. Bhd. dan semua yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam menjayakan kajian ini.



Table of contents

	Preface Prakata	1			
	Acknowledgements Penghargaan	3			
	Table of contents Isi kandungan	5			
1	INTRODUCTION PENGENALAN				
	Seaweeds cultivation in Malaysia Penanaman rumpai laut di Malaysia	9			
	Eucheumatoid cultivation process in the farm Proses penanaman eukeumatoid di ladang	13			
2	SPECIES OF WILD EUCHEUMATOIDS PRESENT IN MALAYSIA SPESIS EUKEUMATOID LIAR YANG TERDAPAT DI MALAYSIA				
	Eucheumatoids Eukeumatoid	27			
	Basic description of different genera Deskripsi asas genera yang berbeza	29			
	Wild eucheumatoids in Malaysia Eukeumatoid liar di Malaysia	31			
	Species confirmation through DNA sequencing Pengesahan spesis melalui penjujukan DNA	43			
3	SITE SELECTION: FACTORS AND CHALLENGES PEMILIHAN KAWASAN: FAKTOR DAN CABARAN				
	Site selection Pemilihan kawasan	51			
	Biological factors influencing seaweed growth Faktor biologi yang mempengaruhi pertumbuhan rumpai laut	53			
	Non-biological factors influencing seaweed growth Faktor bukan biologi yang mempengaruhi pertumbuhan rumpai laut	61			
	Summary of key challenges Ringkasan cabaran	67			
4	PILOT SCALE TRIAL OF CULTIVATION METHODS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW CULTIVARS FROM WILD STOCKS PERCUBAAN SKALA RINTIS KAEDAH PENANAMAN UNTUK PEMBANGUNAN KULTIVAR BARU DARIPADA STOK RUMPAI LAUT LIAR				
	Eucheumatoid cultivation methods Kaedah penanaman eukeumatoid	71			
	Trial of cultivation methods for wild eucheumatoids Percubaan kaedah penanaman eukeumatoid liar	75			
	Environmental data collection Persampelan data sekitaran	83			
	Collection of wild eucheumatoids Persampelan eukeumatoid liar	85			
	Growth assessment Penilaian pertumbuhan	87			
	Cultivation process Proses penanaman	91			
	Wild eucheumatoids successfully acclimated in the farm Eukeumatoid liar yang berjaya diadaptasi di ladang	95			
	Transferring the wild eucheumatoids to the commercial farm Eukeumatoid liar dipindahkan ke ladang komersial	97			
	Farm maintenance Penyelenggaraan ladang	99			
	Important considerations Pertimbangan penting	103			
	Comparison of cultivation methods Perbandingan kaedah penanaman	107			
5	EVALUATION OF CARRAGEENAN YIELD AND QUALITY PENILAIAN HASIL DAN KUALITI KARAGINAN				
	Carrageenan Karaginan	111			
	Assessment of gel quality Penilaian kualiti gel	115			
6	CONSERVATION OF WILD EUCHEUMATOID STOCKS PEMULIHARAAN STOK EUKEUMATOID LIAR				
	Importance of seaweed conservation Kepentingan pemuliharaan rumpai laut	123			
	Major threats Ancaman utama	127			
	Conservation efforts Usaha pemuliharaan	129			
	Summary of Research Ringkasan Penyelidikan	131			
	References Rujukan	133			



Chapter 1

Bab

INTRODUCTION

PENGENALAN

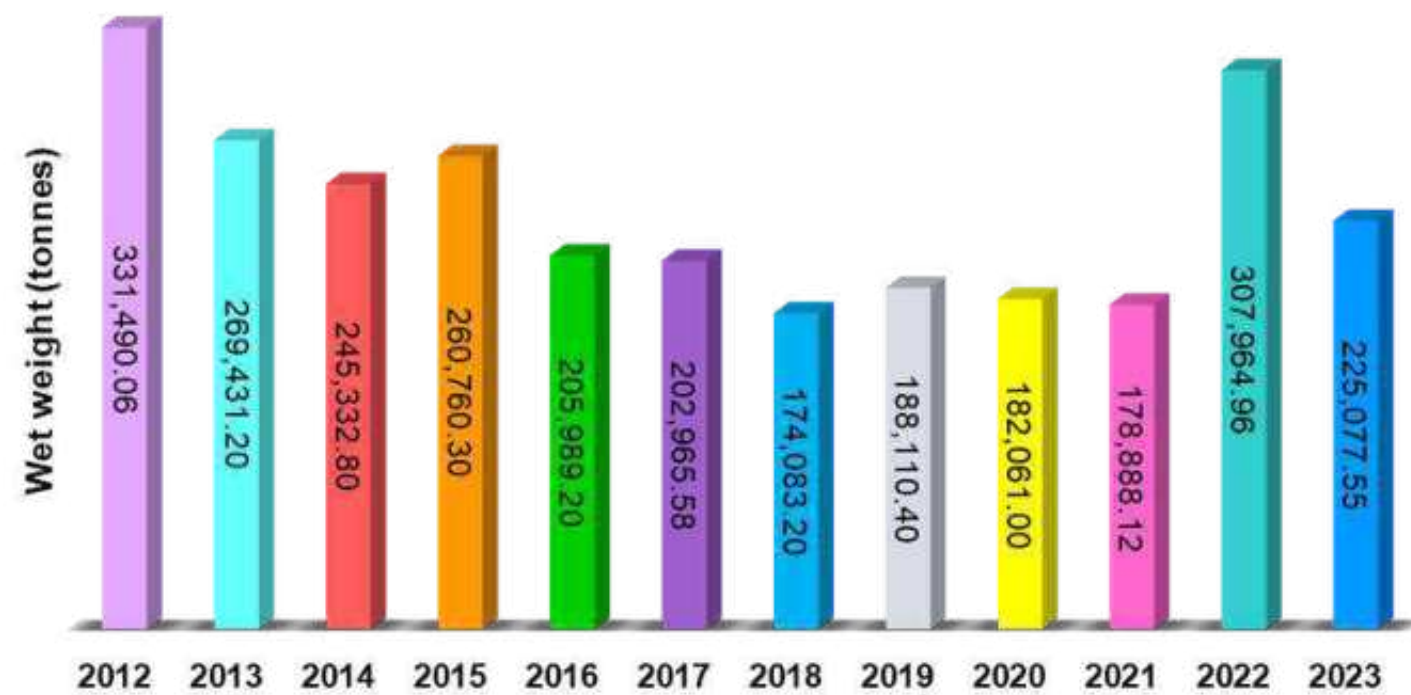


DID YOU KNOW?

Seaweeds are red, green and brown macroalgae. They get their energy from sunlight through photosynthesis and take up nutrients directly from the seawater.

Rumpai laut terdiri daripada makroalga merah, hijau dan coklat. Rumpai laut mendapat tenaga daripada cahaya matahari melalui fotosintesis dan mengambil nutrien secara langsung dari air laut.

SEAWEEDS CULTIVATION IN MALAYSIA

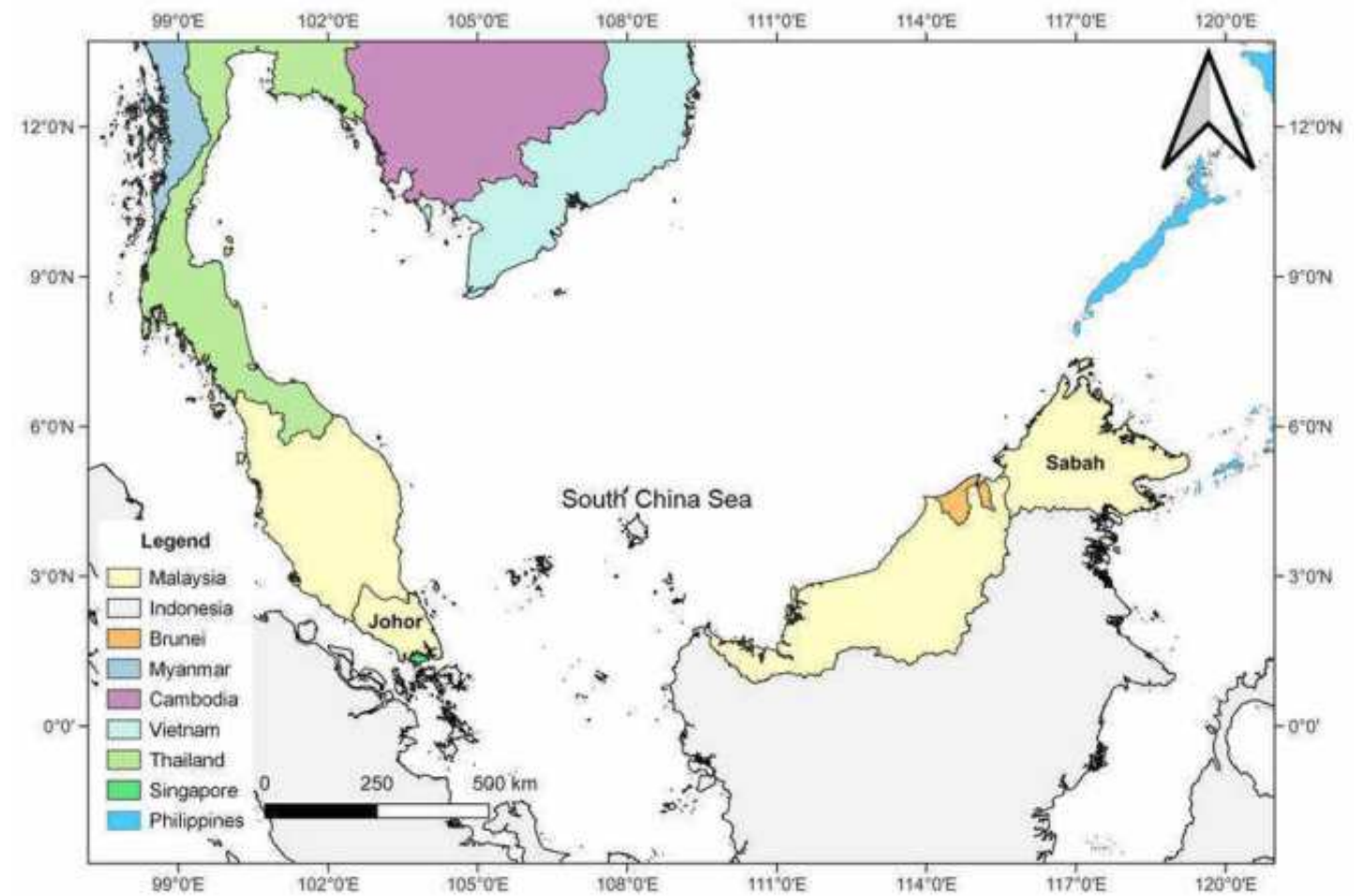


Seaweed production in Malaysia from 2012–2023 (data from annual fisheries statistics by the Department of Fisheries Malaysia).

Pengeluaran rumput laut di Malaysia dari 2012–2023 (data diperolehi dari perangkaan perikanan tahunan yang dikeluarkan oleh Jabatan Perikanan Malaysia).

- Globally, Malaysia is the seventh highest seaweed producing nation and ranked third highest in eucheumatoid production (Cai et al. 2021).
- Aquaculture seaweed production in Malaysia in 2022 was 307,965 tonnes which is the highest amount recorded since 2012 (DOFM 2023).
- Production decreased to 225,078 tonnes in 2023, affected by a decrease in the number of farmers and cultivation areas (farms).
- The highest seaweed production in 2023 was recorded from February to April (DOFM 2024).
- Seaweed production in Malaysia is concentrated along the east coast of Sabah, representing 99.98% of the total seaweed production in 2023 with the remaining 0.02% reported from Johor (DOFM 2024).

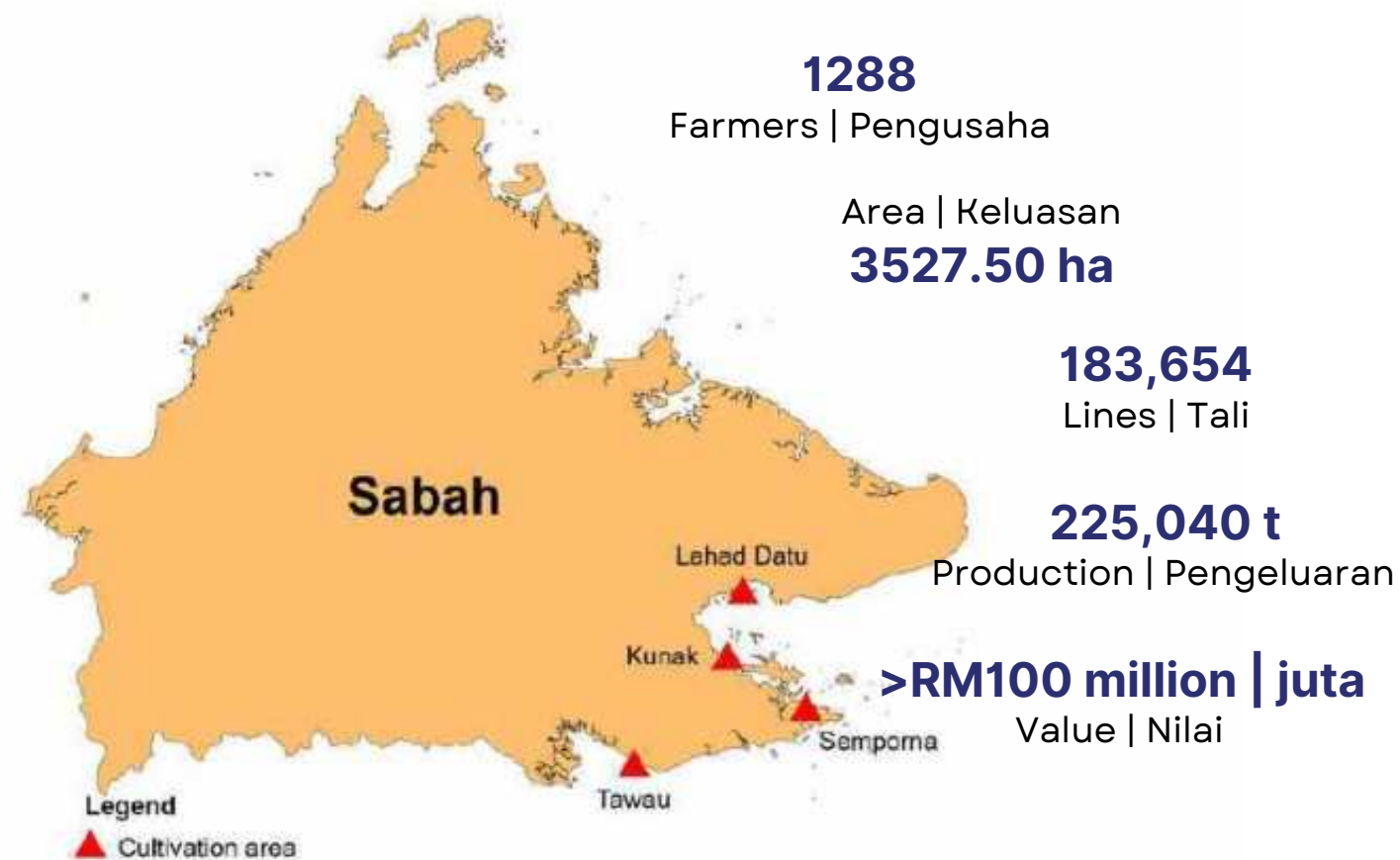
PENANAMAN RUMPAI LAUT DI MALAYSIA



The main areas of seaweed production in Malaysia are in Sabah and Johor.

Kawasan utama pengeluaran rumput laut di Malaysia adalah di Sabah dan Johor.

- Di peringkat global, Malaysia adalah negara pengeluar rumput laut ketujuh tertinggi dan menduduki tempat ketiga tertinggi dalam pengeluaran eukeumatoid (Cai et al. 2021).
- Pengeluaran akuakultur rumput laut di Malaysia pada tahun 2022 adalah 307,965 tan metrik yang merupakan rekod tertinggi sejak 2012 (DOFM 2023).
- Pengeluaran menurun kepada 225,078 tan pada 2023, terjejas disebabkan oleh penurunan bilangan pengusaha dan kawasan penanaman (ladang).
- Pengeluaran rumput laut tertinggi pada 2023 direkodkan antara Februari hingga April (DOFM 2024).
- Pengeluaran rumput laut di Malaysia tertumpu di sepanjang pantai timur Sabah mewakili 99.98% daripada jumlah pengeluaran rumput laut pada tahun 2023 dan baki 0.02% adalah dari Johor (DOFM 2024).



Seaweed production in Sabah in 2023.

Pengeluaran rumpai laut di Sabah pada tahun 2023.

- Eucheumatoids are commercially cultivated in the east coast of Sabah, mainly at Tawau, Semporna, Kunak and Lahad Datu.
- From a total of 459 species seaweeds recorded in Malaysian waters, less than 10 species from the genus *Kappaphycus*, *Eucheuma*, *Caulerpa* and *Gracilaria* have been used in seaweed aquaculture (Phang et al. 2019a).
- Eucheumatoids (*Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus*, *K. striatus* and *Eucheuma denticulatum*) are the main species cultivated in Sabah because of the ease of cultivation and the relatively higher market demand (Lim et al. 2014).
- However, there have been reports of farmers losing interest in seaweed farming given the unstable market price and losses suffered when the farm gate price is low.



Kappaphycus alvarezii



Kappaphycus striatus



Kappaphycus malesianus



Eucheuma denticulatum

Eucheumatoid species cultivated in Sabah.

Spesis eukeumatoid yang ditanam di Sabah.

- Eukeumatoid ditanam secara komersial di pantai timur Sabah, terutamanya di Tawau, Semporna, Kunak dan Lahad Datu.
- Daripada 459 spesis rumpai laut yang direkodkan di perairan Malaysia, kurang daripada 10 spesis di bawah genus *Kappaphycus*, *Eucheuma*, *Caulerpa* dan *Gracilaria* digunakan dalam akuakultur rumpai laut (Phang et al. 2019a).
- Eukeumatoid (*Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus*, *K. striatus* dan *Eucheuma denticulatum*) merupakan spesis utama yang ditanam di Sabah kerana mudah ditanam dan mempunyai permintaan pasaran yang agak tinggi (Lim et al. 2014).
- Walau bagaimanapun, terdapat laporan bahawa pengusaha tidak lagi berminat dalam penanaman rumpai laut disebabkan oleh harga pasaran yang tidak stabil dan mengakibatkan mereka menanggung kerugian apabila harga rendah.

EUCHEUMATOID CULTIVATION PROCESS IN THE FARM



Farmers cutting pieces of the crop. These pieces will be used as propagules in the next cultivation cycle.

Pengusaha memotong rumput laut kepada beberapa bahagian kecil. Bahagian kecil ini digunakan sebagai bibit untuk kitaran penanaman seterusnya.

- In Malaysia, eucheumatoid cultivation started in Sabah in 1978 and the seaweeds have been largely cultivated through vegetative propagation (Phang et al. 2019a).
- The farmers use polyethylene (PE) ropes, mangrove stakes and plastic water bottles as floaters to cultivate the seaweeds commercially in their farms.
- To reduce plastic pollution in the sea, the Department of Fisheries Sabah (DOFS) has introduced the use of reusable floaters made from high-density polyethylene (HDPE), which are more durable than the plastic water bottles.

PROSES PENANAMAN EUKEUMATOID DI LADANG

- Di Malaysia, penanaman eukeumatoid bermula di Sabah pada tahun 1978 dan sebahagian besar rumput laut diusahakan melalui pembiakan vegetatif (Phang et al. 2019a).
- Pengusaha menggunakan tali polietilena (PE), pancang daripada pokok bakau dan botol air plastik sebagai pelampung untuk penanaman rumput laut secara komersial di ladang mereka.
- Bagi mengurangkan pencemaran plastik di laut, Jabatan Perikanan Sabah (DOFS) memperkenalkan penggunaan pelampung boleh guna semula yang lebih tahan lama berbanding botol air plastik.



Farmers use plastic water bottles as floaters in eucheumatoids cultivation to reduce cultivation costs.

Pengusaha rumput laut menggunakan botol minuman sebagai pelampung dalam penanaman eukeumatoid untuk mengurangkan kos penanaman.



The propagules, which have been tied to the cultivation lines are taken to the farming area for outplanting.

Bibit yang diikat pada tali akan dibawa ke ladang untuk ditanam.

- Eucheumatoid propagules are tied onto the cultivation lines and outplanted in the farm for 30–45 days until maturity, when they are harvested (Lim et al. 2021).
- During the cultivation period, the farmers are encouraged to practice biosecurity measures to reduce the risk of infection by pests and diseases (Kambey et al. 2021).
- The biomass of the farmed seaweeds can be adversely affected by pests and diseases. As a result, the farmers suffer substantial losses when there is an outbreak in the farm.
- According to the farmers, the crops are prone to disease outbreaks during seasons when there is a change of wind direction. To mitigate this, some of the farmers cultivate a different species of eucheumatoid at this time of the year.
- The harvested seaweeds are generally dried by either spreading them on the platform floor or by hanging them up. The drying process will take several days, depending on the weather conditions. The dried seaweeds are then packed and transported to the factory for processing.

- Bibit eucheumatoid diikat pada tali dan ditanam di ladang selama 30–45 hari sehingga matang, sebelum dituai (Lim et al. 2021).
- Dalam tempoh penanaman, pengusaha digalakkan untuk mengamalkan langkah-langkah biosekuriti untuk mengurangkan risiko jangkitan perosak dan penyakit (Kambey et al. 2021).
- Biojisim rumput laut yang ditanam boleh terjejas teruk akibat serangan perosak dan penyakit. Natiannya, pengusaha mengalami kerugian yang besar apabila berlakunya kerebakan perosak dan penyakit di ladang.
- Menurut pengusaha, rumput laut terdedah kepada kerebakan penyakit ketika musim perubahan arah angin. Untuk mengurangkan kesan perubahan persekitaran ini, sesetengah pengusaha menanam spesis eucheumatoid yang berbeza pada musim ini.
- Rumput laut yang dituai biasanya dikeringkan sama ada dengan menjemur di atas lantai pelantar atau secara gantungan. Proses pengeringan akan mengambil masa beberapa hari bergantung kepada keadaan cuaca. Rumput laut kering kemudiannya dibungkus dan dibawa ke kilang untuk diproses.



Kappaphycus striatus is among the major species cultivated in Sabah waters.

Kappaphycus striatus adalah di antara spesis utama yang ditanam di perairan Sabah.



Farmers harvest the eucheumatoids after 30–45 days of cultivation.
Pengusaha menuai eukeumatoid selepas 30–45 hari ditanam.



Photo taken at Teejoy Marine Sdn. Bhd.

Some farmers sell wet eucheumatoids directly to the factory to be processed.
Sebahagian pengusaha menjual eukeumatoid basah secara terus kepada pengilang untuk diproses.



Usually, harvested eucheumatoids are dried on the platform (top photo) or by hanging them up (bottom photo) for a few days depending on the weather.
Kebiasaannya, eukeumatoid yang dituai akan dikeringkan di atas pelantar (gambar atas) atau secara gantungan (gambar bawah) yang mengambil masa beberapa hari bergantung kepada keadaan cuaca.

- Dried eucheumatoids are packed in sacks and transported by boat from the farm to the town jetty before being transported to the warehouse. Some farmers sell their produce to neighbouring countries through middlemen.
- According to a local factory, there is a high demand from overseas for the processed eucheumatoids, hence the factory operates daily and to do so requires a constant supply of raw seaweed from the farmers.
- At the local factory, the eucheumatoids are cleaned, rinsed and dried under a canopy to meet the quality requirements of the buyers.
- The processed eucheumatoids are packed in the white sacks before being exported overseas.



A worker loading the dried seaweeds onto a truck to be transported from the jetty at Semporna to the warehouse.

Pekerja memunggah rumput laut kering ke dalam lori untuk diangkut dari jeti di Semporna ke gudang.



Photo taken at Teejoy Marine Sdn. Bhd.

Stocks of dried seaweeds stored at the local factory for daily operation.

Stok rumput laut kering yang disimpan di kilang tempatan untuk operasi harian.

- Eukeumatoid kering dibungkus dalam guni dan dibawa dengan bot dari ladang ke jeti di bandar sebelum dibawa ke gudang. Sesetengah pengusaha menjual hasil tanaman mereka ke negara jiran melalui orang tengah.
- Menurut sebuah kilang tempatan, terdapat permintaan yang tinggi dari luar negara untuk eukeumatoid yang diproses, justeru kilang tersebut beroperasi setiap hari dan memerlukan bekalan bahan mentah yang konsisten daripada pengusaha rumput laut.
- Di kilang tempatan, eukeumatoid dibersihkan, dibilas dan dikeringkan di bawah kanopi untuk memenuhi syarat kualiti yang ditetapkan oleh pembeli.
- Eukeumatoid yang telah diproses dimasukkan ke dalam guni putih sebelum dieksport ke luar negara.



Photos taken at Teejoy Marine Sdn. Bhd.

The drying process of eucheumatoids at Teejoy Marine Sdn. Bhd. factory was conducted under plastic canopies.
Proses pengeringan eukeumatoid di kilang Teejoy Marine Sdn. Bhd. dilakukan di bawah kanopi plastik.



Photos taken at Teejoy Marine Sdn. Bhd.

The processed eucheumatoids were packed in the sacks for export.
Eukeumatoid yang telah diproses akan dibungkus dalam guni untuk dieksport.



According to the seller, the fresh eucheumatoids sold in the wet market in Kota Kinabalu originated from Semporna.

Menurut penjual, eukeumatoid segar yang dijual di pasar basah di Kota Kinabalu diambil dari Semporna.

- Apart from being exported to foreign countries, fresh eucheumatoids are also found in wet markets around Sabah.
- Fresh eucheumatoids are sold in the market for RM5 (0.91 GBP) per packet or plate.
- Agal-agal or seaweed salad, which is a traditional food of the Bajau and Suluk people, can be found in restaurants around the town of Semporna and other areas around Sabah, such as in Kota Kinabalu.

- Selain daripada dieksport ke luar negara, eukeumatoid segar juga boleh didapati di pasar basah sekitar Sabah.
- Eukeumatoid segar dijual di pasar dengan harga RM5 (0.91 GBP) sebungkus atau sepinggan.
- Masakan salad agal-agal atau salad rumpai laut, yang merupakan makanan tradisi masyarakat Bajau dan Suluk boleh didapati di restoran sekitar pekan Semporna dan kawasan-kawasan lain di sekitar Sabah, seperti di Kota Kinabalu.



Seaweed salad from eucheumatoids is available in the restaurants that sell traditional food of the local community.

Salad rumpai laut daripada eukeumatoid mudah didapati di restoran-restoran yang menjual makanan tradisi masyarakat tempatan.

Chapter 2

Bab

SPECIES OF WILD EUCHEUMATOIDS PRESENT IN MALAYSIA

SPESIS EUKEUMATOID YANG TERDAPAT DI MALAYSIA



DID YOU KNOW?

Although biofilms can inhibit the eucheumatoids' growth, they serve as microhabitats for invertebrate eggs to attach, and a habitat for crabs and molluscs.

Walaupun biofilem boleh menghalang pertumbuhan eukeumatoid, namun eukeumatoid menjadi mikrohabitat bagi invertebrata melekatkan telurnya, dan sebagai habitat bagi ketam dan moluska.

EUCHEUMATOIDS

- Wild eucheumatoids are important resources for the development of cultivars for seaweed aquaculture.
- Eucheumatoids can be found in tropical waters with temperatures ranging from 22–30°C (e.g., Malaysia, Indonesia, the Philippines and Vietnam).
- Their survival, growth and reproduction are influenced by temperature, salinity, current velocity, depth and nutrient (Kumar et al. 2020; Montúfar-Romero et al. 2023).
- *Kappaphycus malesianus*, *K. striatus*, *Kappaphycopsis cottonii*, *Eucheuma denticulatum* and *Mimica arnoldii* are among the eucheumatoid species that can be found growing naturally in Sabah waters.
- According to the local communities in Sabah, the diversity and distribution of the wild eucheumatoids have reduced over the years.
- The reduction in species diversity is generally attributed to coastal development for tourism, climate change, and habitat destruction by shellfish collectors and illegal fish bombing.



Wild eucheumatoids growing upright from coral or rocky substrates.

Eukeumatoid liar tumbuh secara menegak di atas substrat karang atau berbatu.

EUKEUMATOID

- Eukeumatoid liar adalah sumber yang penting untuk pembangunan kultivar untuk akuakultur rumput laut.
- Eukeumatoid boleh dijumpai di perairan tropika dengan suhu antara 22–30°C (cth., Malaysia, Indonesia, Filipina dan Vietnam).
- Kemandirian, pertumbuhan dan pembiakan rumput laut dipengaruhi oleh suhu, kemasinan, halaju arus, kedalaman dan nutrien (Kumar et al. 2020; Montúfar-Romero et al. 2023).
- *Kappaphycus malesianus*, *K. striatus*, *Kappaphycopsis cottonii*, *Eucheuma denticulatum* dan *Mimica arnoldii* adalah antara spesis eukeumatoid liar yang boleh ditemui di perairan Sabah.
- Menurut masyarakat tempatan di Sabah, kepelbagaian dan taburan eukeumatoid liar semakin berkurangan dari tahun ke tahun.
- Penurunan kepelbagaian spesis biasanya dikaitkan dengan pembangunan pesisir pantai untuk pelancongan, perubahan iklim, kemusnahan habitat disebabkan oleh pengutip kerang-kerangan dan pengeboman ikan.



Wild eucheumatoids showing signs of being eaten by grazers in their natural habitat.

Eukeumatoid liar menunjukkan tanda-tanda dimakan oleh haiwan peragut di habitat semula jadi rumput laut.

BASIC DESCRIPTION OF DIFFERENT GENERA

Kappaphycus

Spines not present or, if present, separate one by one, arranged spirally or in rows; tubercles and proliferations blunt; if sharp, not spiky and not branched; proliferations and spines lacking a dense rhizoid axis; cystocarps grow on the main branches of the thallus; thallus produces kappa-carrageenan.

Tidak berunjuran atau, jika ada, unjurannya satu-satu, tersusun secara berlingkar atau berbaris; tuberkel dan percambahan yang tumpul; jika tajam, tidak berduri dan tidak bercabang; percambahan dan unjuran tidak mempunyai paksi rizoid yang padat; sistokarpa tumbuh di cabang utama talus; talus menghasilkan karaginan kappa.

Kappaphycopsis

Much branched; most thallus branches are curved, bent, sometimes growing vertically; thallus grows strongly attached to the substrate; thallus branches are not arranged, often merging with adjacent thallus branches and making the thallus branch pattern difficult to identify; thallus surface is not smooth or filled with tubercles; cystocarps are abundant on the upper surface of the bent thallus; thallus produces kappa-carrageenan.

Banyak cabang talus; kebanyakan cabang talus adalah melengkung, membengkok, kadangkala tumbuh menegak; talus tumbuh melekat kuat pada substrat; cabang talus tidak tersusun, sering bercantum dengan cabang talus yang bersebelahan dan menyebabkan corak cabang talus sukar dikenalpasti; permukaan talus tidak licin atau dipenuhi dengan tuberkel; sistokarpa banyak terdapat di permukaan atas talus yang membengkok; talus menghasilkan karaginan kappa.

Eucheuma

Spines growing in pairs, arranged in whorls or rows, simple or mixed, cylindrical in some places, often replaced by branches, spines densely packed on the axis of the rhizoids; rhizoids numerous in most species; cystocarps on or replacing spines on the thallus; thallus produces iota- or beta-carrageenan.

Unjuran tumbuh berpasangan, tersusun secara berlingkar atau berbaris, unjuran ringkas atau bercampur, berbentuk silinder di sesetengah tempat, sering digantikan oleh cabang, unjuran padat pada paksi rizoid; rizoid banyak dalam kebanyakan spesies; sistokarpa pada atau menggantikan unjuran pada talus; talus menghasilkan karaginan iota atau beta.

DESKRIPSI ASAS GENERA YANG BERBEZA

Mimica

Simple spines growing in whorls or pairs along the thallus; spines scattered and/or arranged along the thallus; resembles the morphology of *Acropora* corals; lacks distinct thallus branches; cystocarps are on the thallus and are spineless; thallus produces iota-carrageenan.

Unjuran ringkas yang tumbuh secara berlingkar atau berpasangan di sepanjang talus; unjuran bertaburan dan/atau tersusun sepanjang talus; menyerupai morfologi karang *Acropora*; tidak mempunyai cabang talus yang jelas; sistokarpa berada pada talus dan tidak berunjuran; talus menghasilkan karaginan iota.

Glossary

cystocarps | sistokarpa

- Reproductive structure produced after fertilization in red algae. The cystocarp includes the diploid carposporophyte which contains the carpospores.
- Struktur pembiakan yang dihasilkan selepas persenyawaan dalam alga merah. Sistokarpa termasuk karposporofit *diploid* yang mengandungi karpospora.

Carpospore | karpospora

- Usually diploid spore of red algae produced by the carposporophyte. In most red algae, carpospores develop into tetrasporophyte.
- Lazimnya spora *diploid* yang dihasilkan oleh alga merah melalui karposporofit. Dalam kebanyakan alga merah, karpospora berkembang menjadi tetrasporofit.

Holdfast | *holdfast*

- Root-like or disk-like structure for attachment of seaweeds to the substrate.
- Struktur seperti akar atau cakera untuk rumpai laut melekat pada substrat.

Rhizoid | rizoid

- Root-like filaments for attachment of seaweeds to the substrates.
- Filamen seperti akar untuk rumpai laut melekat pada substrat.

Tubercle | tuberkel

- Round nodules found on the external surface of the seaweeds.
- Nodul bulat yang terdapat pada permukaan luaran rumpai laut.

WILD EUCHEUMATOIDS IN MALAYSIA

Kappaphycus malesianus J. Tan, P.E. Lim & S.M. Phang 2013



Local name: Aring-aring.

Habitat: Lower intertidal to shallow subtidal areas.

Distribution (from Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Philippines**. Note: Those in bold are verified based on molecular data.

Description:

Most have many branches, up to 40 cm in length, and a discoid holdfast; thallus cylindrical and smooth; immature thallus diameter is less than 0.8 cm, and can be up to 1.4 cm in size at the cystocarp; thallus smooth and flexible (without cystocarps); thallus grows irregularly; shoot part is easily flexible, smooth and grows towards the light; cystocarps grow along the thallus, carpospores brown, 20–30 μm in diameter.

(Adapted from Tan et al. 2014)

EUKEUMATOID LIAR DI MALAYSIA

Kappaphycus malesianus J. Tan, P.E. Lim & S.M. Phang 2013



Nama tempatan: Aring-aring.

Habitat: Kawasan intertidal rendah hingga subtidal cetek.

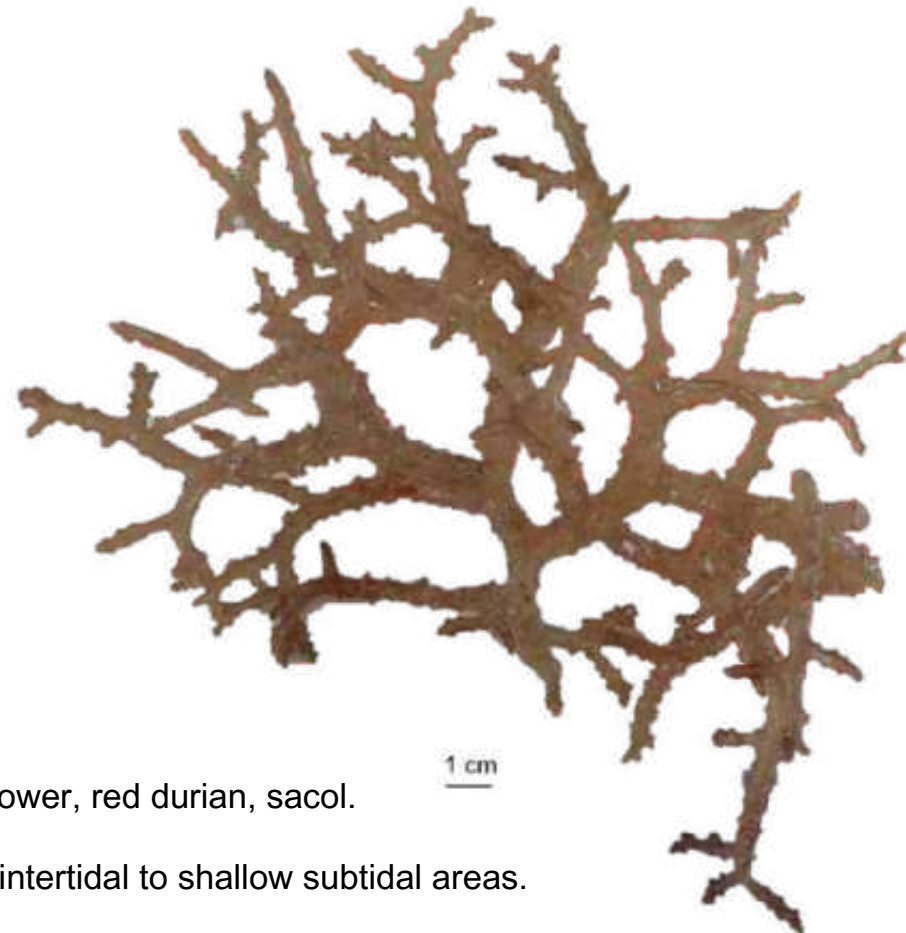
Taburan (daripada Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Filipina**. Nota: Huruf tebal adalah yang telah disahkan berdasarkan data molekular.

Penerangan:

Kebanyakannya mempunyai banyak cabang, sehingga 40 cm panjang, *holdfast* berbentuk disk; talus berbentuk silinder dan halus; diameter talus yang belum matang adalah kurang dari 0.8 cm, dan boleh mencapai sehingga 1.4 cm pada bahagian sistokarpa; talus licin dan fleksibel (tanpa sistokarpa); talus tumbuh tidak teratur; bahagian pucuk mudah dilenturkan, halus dan tumbuh ke arah cahaya; sistokarpa tumbuh di sepanjang talus, karpospora berwarna coklat, 20–30 μm diameter.

(Diadaptasi daripada Tan et al. 2014)

Kappaphycus striatus (F. Schmitz) L.M. Liao 1996



Local name: Flower, red durian, sacol.

Habitat: Lower intertidal to shallow subtidal areas.

Distribution (from Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Philippines**, Japan, Kenya, Madagascar, Mozambique, **Tanzania**, India, Singapore, **Vietnam**, China, South China Sea, Federated States of Micronesia, **Fiji**, Hawaiian Islands, Palau. Note: Those in bold are verified based on molecular data but does not distinguish between native or introduced species.

Description:

Thallus grows irregularly, smooth or has simple spines; secondary thallus branches have two short branches at the apex, growing in different directions from the main branch, growth scattered and dense, mostly forming blunt bumps with uniform length; thallus branches grow closely and square; shoots grow towards the light from the main thallus branches; thallus size is uniform up to the more tapered or expanded shoot parts; cystocarps are scattered along the branches.

(Adapted from Doty and Norris 1985; Doty 1988)

Kappaphycus striatus (F. Schmitz) L.M. Liao 1996



Nama tempatan: Bunga, durian merah, sacol.

Habitat: Kawasan intertidal rendah hingga subtidal cetek.

Taburan (daripada Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Filipina**, Jepun, Kenya, Madagascar, Mozambique, **Tanzania**, India, Singapura, **Vietnam**, China, Laut China Selatan, Negara Bersekutu Micronesia, **Fiji**, Kepulauan Hawaii, Palau. Nota: Huruf tebal adalah yang telah disahkan berdasarkan data molekular tetapi tidak membezakan antara spesis asal atau yang telah diperkenalkan.

Penerangan:

Talus tumbuh tidak teratur, licin atau mempunyai duri yang ringkas; cabang talus sekunder mempunyai dua cabang yang pendek di bahagian pucuk, tumbuh berlainan arah dari cabang utama, tumbuh secara rawak dan padat, kebanyakannya membentuk benjolan yang tidak tajam dengan panjang yang seragam; cabang talus tumbuh rapat dan bersegi; bahagian pucuk tumbuh ke arah cahaya dari cabang talus utama; saiz talus sekata hingga ke bahagian pucuk yang lebih kecil atau kembang; sistokarpa tumbuh berselerak di sepanjang dahan.

(Diadaptasi daripada Doty dan Norris 1985; Doty 1988)



Local name: None known.

Habitat: Low intertidal to shallow subtidal areas.

Distribution (from Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Philippines**, Taiwan, Mariana Islands, Kenya, Tanzania, India, Singapore, Spratley Islands, Vietnam, China, Japan, South China Sea, Taiwan, Federated States of Micronesia, Fiji, Guam, Mariana Islands. Note: Those in bold are verified based on molecular data.

Description:

Thallus grows scattered, many thallus branches, most thallus branches are curved but sometimes straight or form a hard, flat or very dense outer layer, thallus branches easily attach to each other; shoot tips are bifurcated or many tips; holdfasts are disc-shaped; secondary holdfasts develop from lateral branches which supports strong attachment to the substrate; surface of thallus branches is rough or filled with tubercles; cystocarps are scattered on thallus surface or located on the ventral part of the flat thallus.

(Adapted from Doty and Norris 1985)



Nama tempatan: Tidak diketahui.

Habitat: Kawasan intertidal rendah hingga subtidal cetek.

Taburan (daripada Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Filipina**, Taiwan, Kepulauan Mariana, Kenya, Tanzania, India, Singapura, Kepulauan Spratley, Vietnam, China, Japan, Laut China Selatan, Taiwan, Negara Bersekutu Micronesia, Fiji, Guam, Kepulauan Mariana. Nota: Huruf tebal adalah yang telah disahkan berdasarkan data molekular.

Penerangan:

Talus tumbuh berselerak, mempunyai banyak cabang talus, kebanyakan cabang talus melengkung tetapi kadang-kadang tegak atau membentuk lapisan luar yang keras, leper atau sangat padat, cabang-cabang talus mudah bercantum antara satu sama lain; hujung pucuk bercabang dua atau banyak pucuk; *holdfast* berbentuk disk; *holdfast* sekunder tumbuh daripada cabang sisi yang menyokong pelekatan kuat pada substrat; permukaan cabang talus kasar atau dipenuhi dengan tuberkel; sistokarpa banyak berselerak di permukaan talus atau terletak di bahagian atas pada talus leper.

(Diadaptasi daripada Doty dan Norris 1985)



Local name: Spinosum, agar.

Habitat: Low intertidal to shallow subtidal areas.

Distribution (from Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Philippines**, Singapore, Taiwan, New Caledonia, Lesser Antilles, Tropical & Subtropical West Atlantic, Djibouti, **Madagascar**, Mozambique, South Africa, **Tanzania**, Andaman Islands, **Mauritius**, Nicobar Islands, Réunion, Red Sea, Bangladesh, India, Japan, China, South China Sea, Taiwan, Australia, Houtman Abrolhos, Lord Howe Island, Queensland, Western Australia, Fiji, **Hawaiian Islands**, New Caledonia. Note: Those in bold are verified based on molecular data but does not distinguish between native or introduced species.

Description:

Thallus with whorls of spines in certain parts, or the thallus branches grow uniformly along the main thallus branch where some of the spines that form a spiral may not be distinguishable from the main branch; spines gradually tapered to slender points, some will elongate into indeterminate branches, thallus branches grow along the main thallus branch.

(Adapted from Doty and Norris 1985)



Nama tempatan: Spinosum, agar.

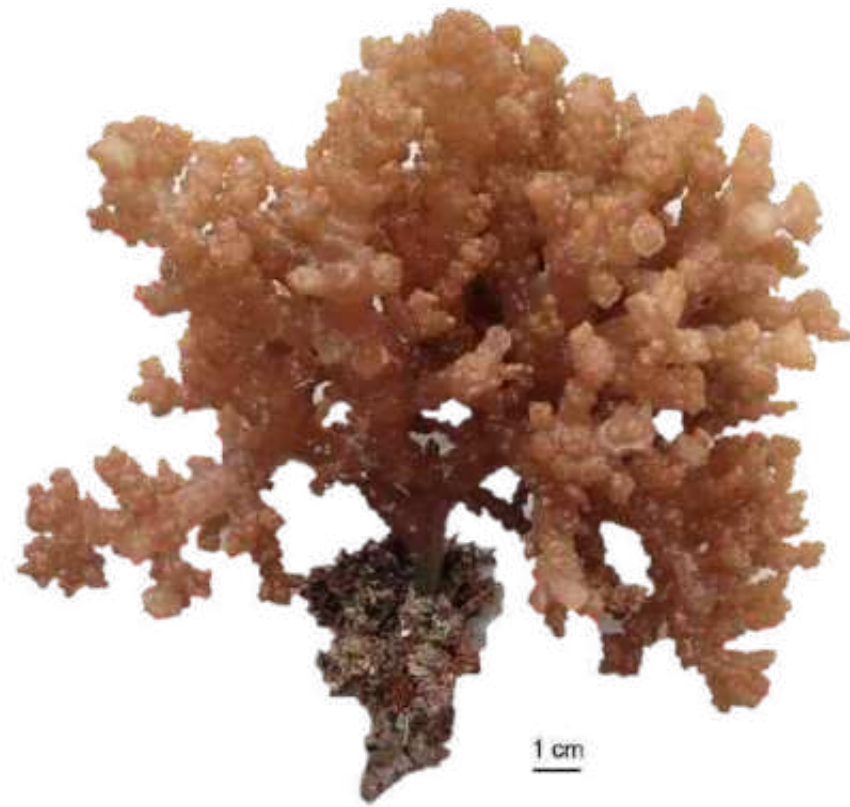
Habitat: Kawasan intertidal rendah hingga subtidal cetek.

Taburan (daripada Algaebase): **Malaysia, Indonesia, Filipina**, Singapura, Taiwan, New Caledonia, Lesser Antilles, Tropika & Subtropika Atlantik Barat, Djibouti, **Madagascar**, Mozambique, Afrika Selatan, **Tanzania**, Kepulauan Andaman, **Mauritius**, Kepulauan Nicobar, Réunion, Laut Merah, Bangladesh, India, Jepun, China, Laut China Selatan, Taiwan, Australia, Houtman Abrolhos, Pulau Lord Howe, Queensland, Australia Barat, Fiji, **Kepulauan Hawaii**, New Caledonia. Nota: Huruf tebal adalah yang telah disahkan berdasarkan data molekular tetapi tidak membezakan antara spesis asal atau yang telah diperkenalkan.

Penerangan:

Cabang talus berunjuran di bahagian tertentu, atau cabang talus tumbuh secara seragam di sepanjang cabang talus utama di mana sebahagian unjuran yang membentuk lingkaran mungkin tidak dapat dibezakan daripada cabang utama; unjuran akan semakin tirus dan halus, sebahagiannya akan memanjang menjadi cabang talus baru yang tidak dapat ditentukan, cabang talus tumbuh di sepanjang cabang talus utama.

(Diadaptasi daripada Doty dan Norris 1985)



Local name: None known.

Habitat: Low intertidal to shallow subtidal areas.

Distribution (from Algaebase): **Malaysia, Indonesia**, Japan, Kenya, **Philippines**, Taiwan, Singapore, Vietnam, Australia, Queensland, Western Australia, China, South China Sea, New Caledonia. Note: Those in bold are verified based on molecular data.

Description:

Thallus branches numerous (up to 40 cm long), spiny in certain parts, grow scattered at predictable distances along the main thallus branch where some of the spines forming a spiral may not be distinguishable from the main branch; spines gradually tapered to slender points, some will elongate into indeterminate branches, shoots are fine and tapered growing towards the light; holdfast discoid; thallus size without cystocarp is 0.8 cm in diameter or less and can reach 1.4 cm in diameter if cystocarp is present.

(Adapted from Doty and Norris 1985)



Nama tempatan: Tidak diketahui.

Habitat: Kawasan intertidal rendah hingga subtidal cetek.

Taburan (daripada Algaebase): **Malaysia, Indonesia**, Japan, Kenya, **Filipina**, Taiwan, Singapura, Vietnam, Australia, Queensland, Australia Barat, China, Laut China Selatan, New Caledonia. Nota: Huruf tebal adalah yang telah disahkan berdasarkan data molekular.

Penerangan:

Cabang talus banyak (panjang sehingga 40 cm) berunjuran di bahagian tertentu, cabang talus tumbuh berselerak pada jarak yang boleh dijangka di sepanjang cabang talus utama di mana sebahagian unjuran yang membentuk lingkaran mungkin tidak dapat dibezakan daripada cabang utama; unjuran semakin tirus dan halus, sebahagiannya akan memanjang menjadi cabang talus baru yang tidak dapat ditentukan, pucuk halus dan tirus tumbuh ke arah cahaya; *holdfast* berbentuk disk; saiz talus tanpa sistokarpa ialah 0.8 cm diameter atau kurang dan boleh mencapai 1.4 cm diameter jika ada sistokarpa.

(Diadaptasi daripada Doty and Norris 1985)



Apical branches of the wild eucheumatoids were cut for genetic analysis in the laboratory.
Hujung cabang eukeumatoid liar dipotong untuk analisis genetik di makmal.

- Eucheumatoids display high plasticity in their morphology with a broad range of branching forms and colors depending on their environment, thus often requiring molecular analysis for an accurate species identification (Phang et al. 2019a).
- Wild eucheumatoids are much smaller in size than when farmed, and at times (e.g., when grazed) lack distinctive morphological features for identification (Lim et al. 2021).
- About 5 cm of the eucheumatoid apical branches are typically cut, air dried and preserved in silica gel for species confirmation through DNA barcoding in the lab.

- Morfologi talus eukeumatoid terdiri daripada pelbagai bentuk dan warna bergantung pada persekitarannya, justeru analisis molekul diperlukan untuk pengecaman spesis yang tepat (Conklin et al. 2009; Phang et al. 2019a).
- Eukeumatoid liar mempunyai saiz yang jauh lebih kecil daripada yang ditanam secara komersial, dan kadangkala (cth., apabila telah diragut) tidak mempunyai ciri morfologi yang tersendiri untuk pengecaman spesis yang tepat (Lim et al. 2021).
- Kira-kira 5 cm cabang hujung eukeumatoid dipotong, dikeringkan dan disimpan dengan gel silika untuk pengesahan spesis melalui pengekodan DNA di makmal.

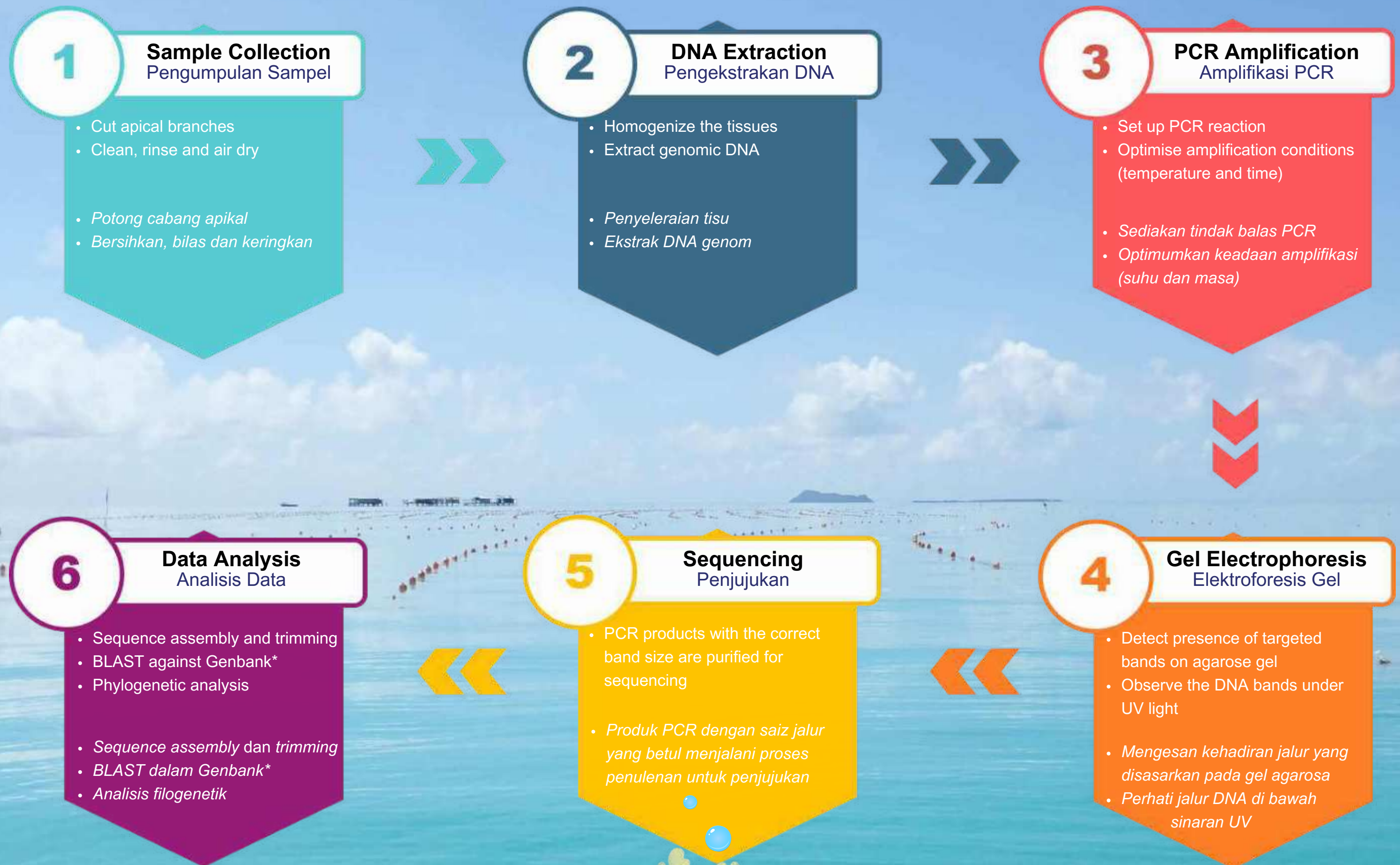


Small pieces of the eucheumatoid branches are preserved with silica gel for genetic analysis.

Potongan kecil eukeumatoid disimpan dengan gel silika untuk analisis genetik.

SPECIES CONFIRMATION THROUGH DNA SEQUENCING

PENGESAHAN SPESIS MELALUI PENJUJUKAN DNA



*<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>



Prior to DNA extraction, samples are gently brushed using a paint brush and rinsed a few times with sterile distilled water to remove dirt and other algae attached to them.

Sebelum pengekstrakan DNA, sampel diberus dengan lembut menggunakan berus lukisan dan dibilas beberapa kali dengan air suling steril untuk menghilangkan kotoran dan alga lain yang melekat padanya.



The eucheumatoid samples after being cleaned and dried overnight.
Sampel eukeumatoid liar selepas dibersihkan dan dikeringkan semalaman.



Eucheumatoid tissues are homogenized using liquid nitrogen and mini pestle.
Tisu eukeumatoid liar dilaraikan dengan menggunakan cecair nitrogen dan alu mini.



Genomic DNA extraction can be carried out using commercial kits or conventional method (e.g., CTAB).

Pengekstrakan DNA genomik boleh dijalankan menggunakan kit komersial atau kaedah konvensional (cth., CTAB).



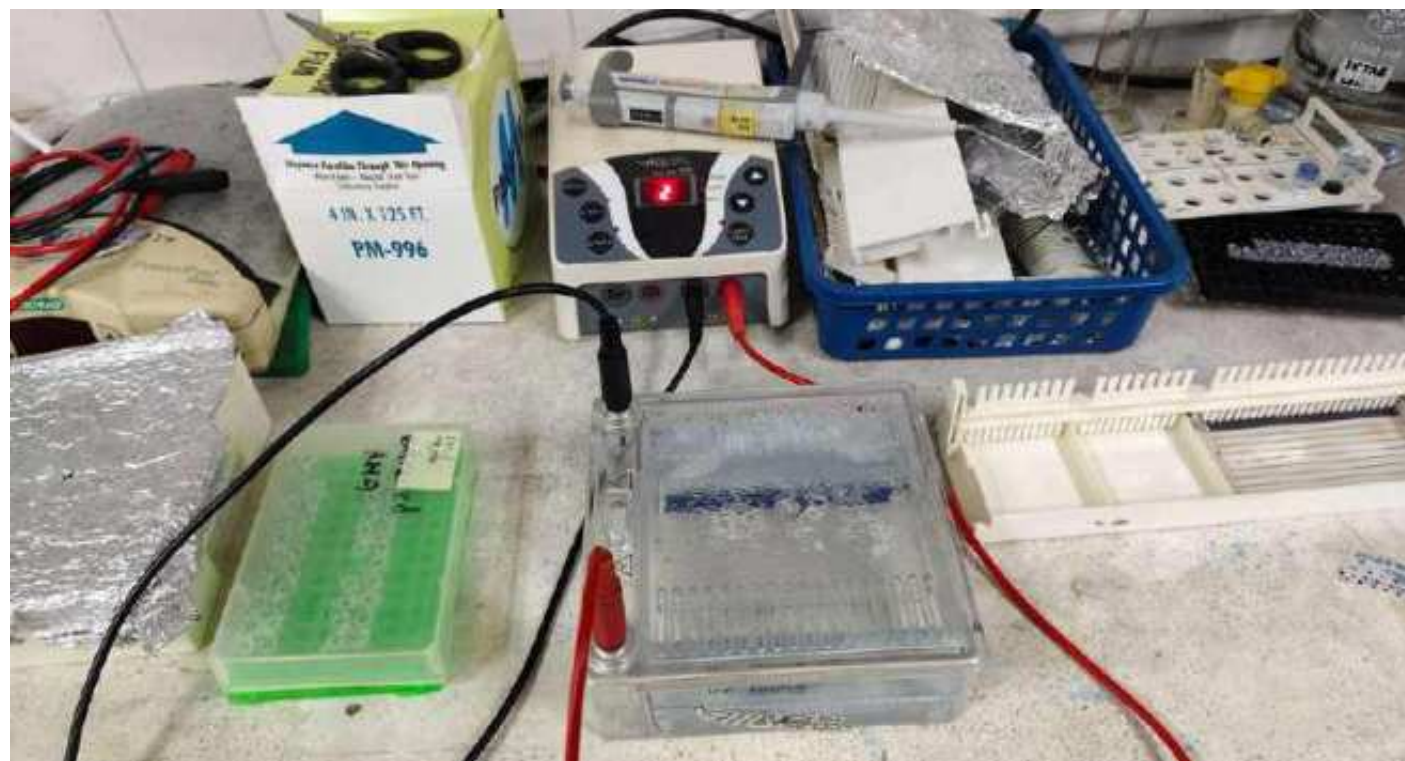
A thermal cycler is used to amplify segments of DNA, a process known as polymerase chain reaction (PCR).

Alat kitar haba digunakan untuk mengamplifikasi segmen DNA, satu proses yang dikenali sebagai tindak balas berantai polimerase (PCR).



A gel documentation system is used to expose the gel to UV light for visualization of the DNA bands.

Sistem dokumentasi gel digunakan untuk mendedahkan gel kepada sinaran UV untuk visualisasi jalur DNA.



The PCR products undergo agarose gel electrophoresis to check for amplification success and the correct amplicon size.

Produk PCR menjalani elektroforesis gel agarosa untuk menentukan kejayaan amplifikasi dan saiz ampikon yang betul.



PCR products with the correct band size are sent for sequencing services.

Produk PCR yang menunjukkan saiz jalur yang betul dihantar untuk servis penjujukan.

Chapter 3

Bab

SITE SELECTION: FACTORS AND CHALLENGES

PEMILIHAN KAWASAN: FAKTOR DAN CABARAN



DID YOU KNOW?

During the heyday of seaweed farming around Semporna, drink bottles were not thrown away as useless garbage. Instead, they became valuable and were purchased to be used as floaters for seaweed farming.

Ketika zaman kegemilangan penanaman rumput laut di sekitar Semporna, botol minuman tidak dibuang sebagai sampah yang tidak digunakan. Sebaliknya, botol-botol ini bernilai dan dibeli untuk digunakan sebagai pelampung untuk penanaman rumput laut.

SITE SELECTION

- Site selection is a key factor in ensuring successful cultivar development and developing suitable cultivation methods is essential for overcoming biological and environmental challenges.
- Permission to use the farming sites for this study was obtained from the Department of Fisheries Sabah (DOFS) or the local caretaker of the area.
- The farming sites of this study comprised active and non-active farm areas around Semporna (i.e., Pulau Silungun, Pulau Selakan, Pulau Sebangkat and Pulau Silapak).
- Pulau Silungun and Silapak are active farms, whereas Pulau Selakan and Pulau Sebangkat are non-active farms where farming activities were ceased due to excessive turtle grazing.
- Due to herbivore grazing (fish, turtle and other grazers) and strong waves, it was necessary to innovate and use suitable farming methods to adapt to specific conditions.



Commercial seaweed cultivation is no longer carried out at Pulau Sebangkat and Pulau Selakan due to turtle grazing.

Pulau Sebangkat and Pulau Selakan adalah ladang penanaman eukeumatoid yang tidak aktif pada masa ini kerana serangan penyu.

PEMILIHAN KAWASAN



Silapak is one of the cultivation areas with high eucheumatoid production in Semporna. Silapak merupakan salah satu kawasan penanaman yang menghasilkan pengeluaran eukeumatoid yang tinggi di Semporna.

- Pemilihan kawasan adalah faktor utama dalam memastikan pembangunan kultivar yang berjaya dan membangunkan kaedah penanaman yang sesuai adalah penting untuk mengatasi cabaran biologi dan sekitaran.
- Kebenaran menggunakan kawasan ladang untuk penyelidikan diperoleh daripada Jabatan Perikanan Sabah (DOFS) dan pemilik kawasan tempatan.
- Kawasan ladang untuk kajian ini terdiri daripada kawasan ladang aktif dan tidak aktif di sekitar Semporna (Pulau Silungun, Pulau Selakan, Pulau Sebangkat dan Silapak).
- Pulau Silungun dan Silapak adalah ladang yang aktif manakala, Pulau Selakan dan Pulau Sebangkat adalah ladang tidak aktif di mana aktiviti penanaman terhenti kerana serangan penyu yang banyak.
- Disebabkan oleh haiwan peragut herbivor (ikan, penyu dan lain-lain peragut) dan ombak yang kuat, adalah perlu untuk membuat inovasi dan menggunakan kaedah penanaman yang sesuai mengikut keadaan.

BIOLOGICAL FACTORS INFLUENCING SEAWEED GROWTH

a. Herbivore grazing



The use of cultivation nets with suitably small mesh size is necessary to prevent herbivores such as rabbit fish from feeding on the cultivated seaweeds.

Penggunaan jaring dengan saiz jaringan yang sesuai adalah perlu untuk menghalang herbivor seperti dengkis/belais daripada memakan rumpai laut yang ditanam.

- Herbivores, which include turtles, fishes and other marine organisms are attracted to seaweed farms where they feed on the seaweeds.
- In this study, basket nets and cage nets were designed to minimize the risk of grazing.
- Nevertheless, it was a challenge to determine the ideal mesh size to achieve a balance between preventing grazers and optimum current flow across the nets.
- When nets of >2 cm mesh size were used, small fishes were able to pass through the nets and even grow within the net by feeding on the seaweeds.

FAKTOR BIOLOGI YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN RUMPAI LAUT

a. Ragutan herbivor



Photo taken by Mohammad Raziman Hamjah

A green turtle was spotted at the study site at Pulau Selakan and Pulau Sebangkat.

Penyu agar dikesan berada di kawasan kajian di Pulau Selakan dan Pulau Sebangkat.

- Herbivor, termasuk penyu, ikan dan organisma laut lain tertarik kepada ladang rumpai laut untuk memakan rumpai laut.
- Dalam kajian ini, bakul berjaring dan sangkar berjaring direka untuk meminimumkan risiko ragutan.
- Namun begitu, menentukan saiz jaringan yang ideal adalah satu cabaran untuk mencapai keseimbangan antara pencegahan peragut dan kelajuan arus melalui jaring yang optimum.
- Apabila pukuk bersaiz >2 cm digunakan, ikan-ikan kecil dapat melepasi masuk ke dalam jaring dan membesar di dalam jaring dengan memakan rumpai laut.

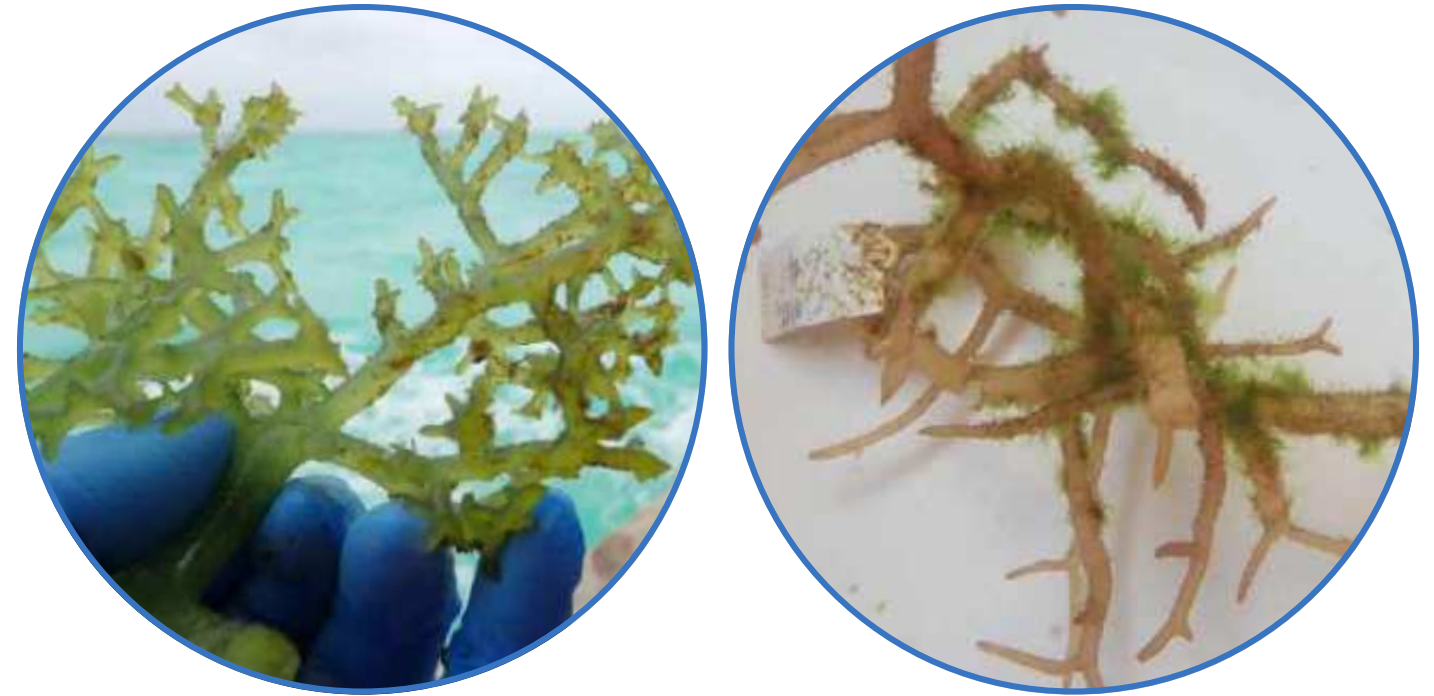
b. Epiphytic filamentous algae (EFA)

- Epiphytic filamentous algae (EFA) are typically red algae of the family Ceramiaceae that attach to the surface of the host seaweeds. EFAs penetrate from the cortical to the medullary layers, causing damage to the host plant (Tsiresy et al. 2016; Faisan et al. 2021).
- The outbreaks of EFA are often attributed to the changes of environmental conditions (Pang et al. 2015; Pang and Liu 2019).
- It is unclear which parameter(s) triggered EFA infestation as reports vary between regions (Pang et al. 2015; Tsiresy et al. 2016; Faisan et al. 2021, 2024; Vairappan 2006).



Epiphyte infection is also associated with the development of ice-ice disease.
Jangkitan epifit juga dikaitkan dengan penyakit *ice-ice*.

b. Epifit alga berfilamen



Epiphytes infection is among the factors that led to the development of ice-ice disease.
Jangkitan epifit adalah antara faktor yang menyebabkan penyakit *ice-ice*.

- Epifit alga berfilamen (EFA) biasanya adalah alga merah dari famili Ceramiaceae yang melekat pada permukaan rumpai laut perumah. EFA menembusi dari lapisan kortikal ke medula, menyebabkan kerosakan pada tumbuhan perumah (Tsiresy et al. 2016; Faisan et al. 2021).
- Kerebakan EFA sering dikaitkan dengan perubahan keadaan persekitaran (Pang et al. 2015; Pang dan Liu 2019).
- Insiden EFA yang tinggi biasanya berlaku semasa musim kering apabila suhu dan kemasinan adalah tinggi (Faisan et al. 2021).

c. Pests and biofilms



Some of the biofilms that are attached to the eucheumatoids (red arrows).
Sebahagian daripada biofilem yang melekat pada eucheumatoid (anak panah merah).

- The use of nets inadvertently reduces the current velocity, such that pests and biofilms are not washed off and remain attached to the thalli.
- Severe infestation by pests and biofilms tend to give rise to the manifestation of ice-ice disease and eventually caused the thalli to become brittle and break into fragments.

c. Perosak dan biofilem



Invertebrates that attached to the eucheumatoids (red arrows).
Invertebrata yang melekat pada eucheumatoid (anak panah merah).

- Penggunaan jaring secara tidak langsung telah mengurangkan halaju arus, menyebabkan perosak dan biofilem tidak dihanyutkan dan kekal melekat pada talus.
- Jangkitan perosak dan biofilem yang teruk cenderung menimbulkan manifestasi penyakit *ice-ice* dan akhirnya menyebabkan talus menjadi rapuh dan patah.

d. Ice-ice disease



Ice-ice disease (red arrows) was observed on the eucheumatoids growing in the wild.
Penyakit *ice-ice* (anak panah merah) yang didapati pada eukeumatoid di ekosistem liar.

- Ice-ice disease causes depigmentation, whitening or bleaching of the infected thalli, which then weaken before breaking and/or disintegrating (Ward et al. 2021; Yahya et al. 2024).
- High prevalence of ice-ice disease is associated with low rainfall, low wind speed, high water temperature, salinity and pH (Alibon et al. 2019; Faisan et al. 2021).
- During the study period, the wild eucheumatoids grown in basket nets developed ice-ice disease when environmental conditions were unfavorable.

d. Penyakit *ice-ice*



A wild eucheumatoid infected by ice-ice disease (red arrows) lost some of its biomass.
Eukeumatoid liar yang dijangkiti penyakit *ice-ice* (anak panah merah) kehilangan sebahagian daripada biojisimnya.

- Penyakit *ice-ice* menyebabkan penyahpigmenan, pemutihan atau pelunturan talus yang dijangkiti, yang kemudiannya menjadi lembik sebelum patah dan/atau hancur (Ward et al. 2021; Yahya et al. 2024).
- Jangkitan penyakit *ice-ice* yang meluas dikaitkan dengan faktor penurunan hujan yang rendah, kelajuan angin yang rendah, suhu air yang tinggi, kemasinan dan pH (Alibon et al. 2019; Faisan et al. 2021).
- Semasa tempoh kajian, eukeumatoid liar yang ditanam dalam bakul berjaring dijangkiti penyakit *ice-ice* apabila keadaan persekitaran tidak sesuai.

NON-BIOLOGICAL FACTORS INFLUENCING SEAWEED GROWTH

a. Type of bottom substrate



Pulau Silungun which is located near the mangroves, has muddy sand substrate with patches of seagrasses.

Pulau Silungun yang terletak berhampiran kawasan hutan bakau, mempunyai substrat pasir berlumpur dengan tompokan kawasan rumput laut.

- During this study, wild eucheumatoid cultivation was trialed in farms with different types of substrates including muddy, sandy and coral reefs.
- Growth of the wild eucheumatoids varied between different substrates.
- The net cultivation method, which is necessary during the early stages of the domestication of wild eucheumatoids, is not suitable to be used in farms with a muddy substrate. This is because the nets tend to be covered with mud, which reduced the current flow and gas exchange in the net.
- The slow current flow prevented the mud and biofilms from being washed away, but instead settled on the eucheumatoids and adversely affected their growth.
- Sandy substrates are better suited for the farming of wild eucheumatoids using nets or baskets.

FAKTOR BUKAN BIOLOGI YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN RUMPAI LAUT

a. Jenis substrat di dasar

- Semasa kajian ini, penanaman eukeumatoid liar diuji di ladang yang mempunyai jenis substrat yang berbeza termasuk lumpur, pasir dan terumbu karang.
- Pertumbuhan eukeumatoid liar berbeza bergantung kepada substrat yang berbeza.
- Kaedah penanaman berjaring, yang diperlukan di peringkat awal untuk mendomestikasikan eukeumatoid liar, tidak sesuai digunakan di ladang dengan substrat berlumpur. Ini kerana jaring yang digunakan cenderung dilitupi oleh lumpur, yang mengurangkan aliran arus dan pertukaran gas dalam jaring.
- Aliran arus yang perlahan menghalang lumpur dan biofilm daripada dihanyutkan, tetapi sebaliknya melekat pada eukeumatoid dan menjejaskan pertumbuhannya.
- Substrat berpasir lebih sesuai untuk penanaman eukeumatoid liar menggunakan jaring atau bakul.



Pulau Selakan and Pulau Sebangkat have sandy substrates with patchy seagrass communities.

Pulau Selakan dan Pulau Sebangkat adalah kawasan berpasir dengan tompokan komuniti rumput laut.

b. Current velocity

- Current velocity should also be considered in the farming of wild eucheumatoids.
- When the current velocity is not strong enough, biofilms and biofouling develop on the eucheumatoids and/or the nets and inhibit eucheumatoid growth.
- However, when the current is too strong, this causes the longlines to twist around each other. When this happens, the structure of the baskets becomes damaged, and the eucheumatoids within the baskets break into fragments.
- At optimal current velocity ($>0.1 \text{ m s}^{-1}$), the eucheumatoids grow well and there is less occurrence of biofilm and biofouling (Kambey et al. 2021).



Biofouling on the basket net will reduce the current flow from passing through the net.
Biofouling pada bakul berjaring akan mengurangi aliran arus yang melalui jaring.

b. Kelajuan arus

- Halaju arus juga perlu dititikberatkan dalam penanaman eukeumatoid liar.
- Apabila halaju arus tidak cukup kuat, biofilem dan *biofouling* tumbuh pada eukeumatoid dan/atau jaring dan menghalang pertumbuhan eukeumatoid.
- Walau bagaimanapun, apabila arus terlalu kuat, ini menyebabkan tali rawai berpintal antara satu sama lain. Apabila ini berlaku, struktur bakul berjaring boleh menjadi rosak, dan eukeumatoid di dalam bakul patah menjadi bahagian-bahagian kecil.
- Pada halaju arus optimum ($>0.1 \text{ m s}^{-1}$), eukeumatoid tumbuh dengan baik dan kurang kejadian biofilem dan *biofouling* (Kambey et al. 2021).



The strong current also caused the basket nets to be damaged resulting in the loss of the cultivated wild eucheumatoids.

Arus yang kuat juga menyebabkan bakul berjaring yang digunakan mengalami kerosakan sehingga menyebabkan kehilangan eukeumatoid liar yang ditanam.

c. Temperature and Salinity



The farmers have to harvest their seaweeds early (20 days) due to ice-ice disease caused by extreme changes in water temperature.

Pengusaha terpaksa menuai rumpai laut mereka lebih awal (20 hari) kerana serangan penyakit *ice-ice* yang disebabkan oleh perubahan suhu air yang ekstrim.

- Semporna, located on the east coast of Sabah, generally receives higher rainfall during the Northeast monsoon (November–March) and is relatively drier during the Southwest monsoon (May–September).
- The optimum salinity for eucheumatoid cultivation ranges between 30–33 ppt and the optimum seawater temperature is between 28–31°C (Kambey et al. 2021).
- When El Niño takes place or when heat waves strike, the sea surface temperature (SST) typically exceeds the optimum seawater temperature for eucheumatoid growth.
- The extreme fluctuations of salinity and temperature induce stress and contribute to the increased susceptibility to epiphyte and biofilm infection and development of ice-ice disease.
- The latest El Niño, which occurred from April 2023 to July 2024 raised the mean SST and negatively impacted the commercial production of eucheumatoid seaweeds and our research in the development of new cultivars from the wild stocks.

c. Suhu dan Kemiskinan



Mr. Ibrahim showing the prematurely harvested seaweeds after 10 days of outplanting because of ice-ice disease.

En. Ibrahim menunjukkan rumpai laut yang terpaksa dituai selepas 10 hari ditanam disebabkan oleh penyakit *ice-ice*.

- Semporna, terletak di pantai timur Sabah, secara amnya menerima hujan yang lebih tinggi semasa monsun Timur Laut (November–Mac) dan secara relatifnya lebih kering semasa monsun Barat Daya (Mei–September).
- Julat kemiskinan optimum untuk penanaman eukeumatoid adalah antara 30–33 ppt dan suhu air laut optimum ialah antara 28–31°C (Kambey et al. 2021).
- Apabila El Niño berlaku atau apabila gelombang haba melanda, suhu permukaan laut (SST) biasanya melebihi suhu air laut yang optimum untuk pertumbuhan eukeumatoid.
- Perubahan kemiskinan dan suhu yang ekstrim mencetuskan stres dan menyumbang kepada peningkatan kerentanan terhadap jangkitan epifit dan biofilem serta perkembangan penyakit *ice-ice*.
- El Niño yang berlaku dari April 2023 hingga Julai 2024 meningkatkan purata SST dan memberi kesan negatif kepada pengeluaran komersial rumpai laut eukeumatoid, dan penyelidikan kami untuk membangunkan kultivar baharu daripada stok liar.

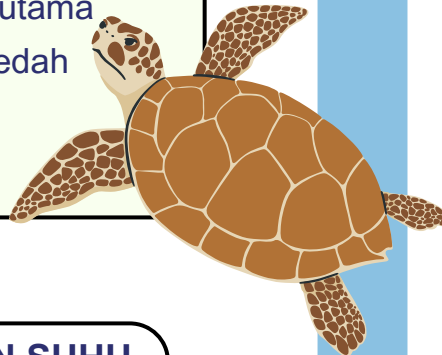


SUMMARY OF KEY CHALLENGES

HERBIVORE GRAZING | SERANGAN HAIWAN PERAGUT

Turtles and rabbit fish are main grazers of the eucheumatoids. The grazed parts of the thalli are susceptible to secondary microbial infection and subsequently develop ice-ice disease and suffer fragmentation of the thalli.

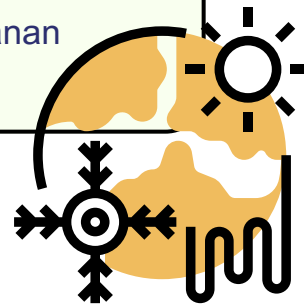
Penyu dan ikan dengkis/belais adalah haiwan peragut utama eukeumatoid. Bahagian talus yang diragut mudah terdedah kepada jangkitan mikrob sekunder dan seterusnya penyakit *ice-ice* dan menyebabkan talus patah.



SALINITY AND TEMPERATURE | KEMASINAN DAN SUHU

Extreme salinity and temperature changes induce stress in the eucheumatoids and increase their vulnerability to diseases.

Perubahan kemasinan dan suhu yang ekstrim menyebabkan tekanan pada eukeumatoid dan meningkatkan kerentanan eukeumatoid kepada penyakit.



RINGKASAN CABARAN

DISEASE | PENYAKIT

The outbreaks of ice-ice disease are seasonal, and are known to reduce the biomass of the eucheumatoids and carrageenan quality.

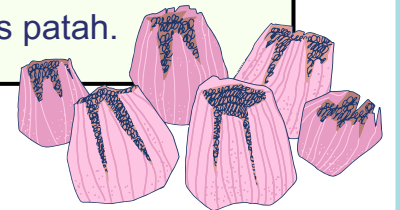
Kerebakan penyakit *ice-ice* ini adalah bermusim, dan diketahui dapat mengurangkan biojisim eukeumatoid dan kualiti karaginan.



PESTS | PEROSAK

When the seaweeds are covered by epiphytes and biofilm, this often leads to settlement of other biofouling species, which can damage the thalli followed by thalli fragmentation.

Apabila rumpai laut diliputi oleh epifit dan biofilem, ini selalunya menjurus kepada penempelan spesis *biofouling* lain, yang boleh merosakkan talus seterusnya menyebabkan talus patah.



Chapter 4

Bab 4

PILOT SCALE TRIAL OF CULTIVATION METHODS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW CULTIVARS FROM WILD STOCKS

PERCUBAAN SKALA RINTIS KAEDAH PENANAMAN
UNTUK PEMBANGUNAN KULTIVAR BARU DARIPADA
STOK RUMPAI LAUT LIAR



DID YOU KNOW?

In Semporna, wild eucheumatoids grow in shallow water associated with coral reefs. These areas are abundant with fish and are commonly targeted for illegal fishing with destructive methods. These methods destroy the natural habitat of the seaweeds.

Di Semporna, eukeumatoid liar tumbuh di kawasan cetek yang mempunyai terumbu karang. Kawasan ini kaya dengan hasil perikanan dan menjadi sasaran penangkapan ikan secara haram. Kaedah ini memusnahkan habitat semula jadi rumpai laut.

EUCHEUMATOID CULTIVATION METHODS

- In Malaysia, a range of methods have been used for eucheumatoid cultivation including fixed off-bottom, hanging longline, multiple raft longline and hanging basket systems (Sade et al. 2006; Phang et al. 2019b).
- However, hanging longline is the most popular among the farmers in Malaysia and also other countries around the world, such as Brazil, Indonesia, India, Kenya, the Philippines, Tanzania and Vietnam (Bindu 2011).
- This method is an open system that exposes the eucheumatoids to grazing by fish and turtles.
- Based on a survey of commercial eucheumatoid farms in Tawau and Semporna in 2024, only the longline method is used.



Longline cultivation of eucheumatoid at Merotai, Tawau.

Penanaman eukeumatoid secara rawai di Merotai, Tawau.

KAEDAH PENANAMAN EUKEUMATOID



Longline cultivation of eucheumatoid near Pulau Kerindingan, Semporna.

Penanaman eukeumatoid secara rawai berdekatan dengan Pulau Kerindingan, Semporna.

- Di Malaysia, beberapa kaedah digunakan untuk penanaman eukeumatoid termasuk kaedah pancang, rawai, rakit dan sistem bakul (Sade et al. 2006; Phang et al. 2019b).
- Walau bagaimanapun, penanaman secara rawai adalah yang paling popular di kalangan pengusaha di Malaysia dan juga negara lain di seluruh dunia, seperti Brazil, Indonesia, India, Kenya, Filipina, Tanzania dan Vietnam (Bindu 2011).
- Kaedah ini adalah sistem terbuka yang mendedahkan eukeumatoid kepada ragutan oleh ikan dan penyu.
- Berdasarkan tinjauan di ladang eukeumatoid di Tawau dan Semporna pada tahun 2024, semua pengusaha hanya menggunakan kaedah rawai.

- The decline in global production of eucheumatoids has been attributed to several factors, one being the declining vigor of propagules due to limited genetic variability within the cultivars (Roleda et al. 2021; Tan et al. 2022).
- Since the 1970s, farmers typically practiced vegetative propagation whereby younger shoots from harvested seaweeds are cut off and used as propagules for the next cultivation cycle (Hurtado et al. 2014).
- When farmers do not have sufficient propagules for cultivation, they tend to turn to nearby farms or farmers with whom they are acquainted to buy fresh propagules. This, however, presents a biosecurity risk of introducing unknown pests and diseases to the current farm.
- To safeguard the sustainability of the seaweed aquaculture industry, it is important to develop new, indigenous cultivars which are genetically variable and resilient to climate change, pests and diseases, and to set up biobanks.



Basket net method used in cultivation farm at Madai, Kunak.

Kaedah bakul berjaring yang digunakan di ladang di Madai, Kunak.

- Kemerosotan dalam pengeluaran global eucheumatoid dikaitkan dengan beberapa faktor, salah satunya ialah kemerosotan kualiti bibit disebabkan oleh kepelbagaian genetik yang rendah dalam kultivar (Roleda et al. 2021; Tan et al. 2022).
- Sejak tahun 1970-an, pengusaha biasanya mengamalkan pembiakan vegetatif di mana pucuk muda dari rumpai laut yang dituai akan dipotong dan digunakan sebagai bibit untuk kitaran penanaman seterusnya (Hurtado et al. 2014).
- Apabila pengusaha tidak mempunyai bibit yang mencukupi untuk penanaman, mereka cenderung untuk mendapatkannya dari ladang berhampiran atau daripada pengusaha yang mereka kenali untuk membeli bibit segar. Walau bagaimanapun, hal ini mempunyai risiko biosekuriti disebabkan pemindahan perosak dan penyakit yang tidak diketahui ke ladang mereka.
- Untuk menjaga kemampanan industri akuakultur rumpai laut, adalah penting untuk membangunkan kultivar baharu daripada rumpai laut liar yang mempunyai kepelbagaian genetik dan berdaya tahan terhadap perubahan iklim, perosak dan penyakit, serta menyediakan biobank.



Family members work together to prepare propagules for the next cycle of seaweed cultivation.

Ahli keluarga bekerjasama untuk menyediakan bibit untuk kitaran penanaman rumpai laut seterusnya.

TRIAL OF CULTIVATION METHODS FOR WILD EUCEUMATOIDS

Given that wild eucheumatoids possess morphologies distinct from cultivars, developing suitable cultivation methods is essential.

a. Basket net



The materials used to construct the basket net include sun shade garden net, PE pipe and PE rope.

Bahan yang digunakan untuk membina bakul berjaring adalah termasuk jaring tamanan, paip PE dan tali PE.

- The use of basket nets resulted in a higher survival rate of wild eucheumatoids compared to the longline method (Yahya et al. 2024).
- In the early stages of constructing the basket, agricultural net was used but this material was found to trap mud and fouling algae. Improvements were then made by changing the material to PE nets, PE pipes and ropes.
- Besides providing protection against strong waves, the use of basket nets increases the survivability of wild eucheumatoids by protecting them against herbivore (turtles and rabbit fish) grazing.

PERCUBAAN KAEDAH PENANAMAN EUKEUMATOID LIAR

Memandangkan eukeumatoid liar mempunyai morfologi yang berbeza daripada kultivar, membangunkan kaedah penanaman yang sesuai adalah penting.

a. Bakul berjaring

- Penggunaan bakul berjaring menghasilkan kadar kemandirian eukeumatoid liar yang lebih tinggi berbanding kaedah rawai (Yahya et al. 2024).
- Pada peringkat awal pembuatan bakul, jaring pertanian telah digunakan tetapi bahan ini didapati telah memerangkap lumpur dan alga. Penambahbaikan telah dilakukan dengan menukar bahan yang digunakan kepada jaring PE, paip PE dan tali.
- Selain untuk melindungi daripada ombak yang kuat, penggunaan bakul berjaring meningkatkan kemandirian eukeumatoid liar dengan melindungi eukeumatoid liar daripada haiwan peragut herbivor (penyu dan ikan dengkis/belais).



Basket nets were handmade using PE net, PE pipe and rope for wild eucheumatoids cultivation.

Bakul berjaring dibuat dengan menggunakan jaring PE, paip PE dan tali untuk penanaman eukeumatoid liar.

b. Cage net



A cage net system measuring 3 m x 2.5 m x 1 m was made using netting of 5 cm mesh size.

Sistem sangkar berjaring bersaiz 3 m x 2.5 m x 1 m telah dibuat menggunakan jaring bersaiz 5 cm.

- Despite the higher survivability of the wild eucheumatoids in basket nets, the growth of the seaweeds is limited by the lack of space.
- Hence, a cage net system was constructed which has been used by de Góes and Reis (2011) and reported higher growth rate.
- In our study, a cage net system with different mesh sizes (2 and 5 cm) was constructed to cultivate the seaweeds using tie-tie system, which was deployed with the cage structure.

b. Sangkar berjaring

- Walaupun kemandirian eukeumatoid liar adalah lebih tinggi apabila menggunakan bakul berjaring, pertumbuhan rumpai laut adalah terhad disebabkan oleh kekurangan ruang.
- Oleh itu, kami memutuskan untuk mencuba kaedah sangkar berjaring yang telah digunakan oleh de Góes dan Reis (2011) dan melaporkan kadar pertumbuhan yang lebih tinggi.
- Dalam kajian kami, sistem sangkar berjaring dengan saiz mata jaring yang berbeza (2 dan 5 cm) telah dibuat untuk penanaman rumpai laut menggunakan *tie-tie*.



A cage net system with smaller mesh size (2 cm).

Sangkar berjaring dengan saiz mata jaring lebih kecil (2 cm).



Commercial eucheumatoids were bought from the farmers for trial runs.
 Eukeumatoid komersial dibeli secara terus daripada pengusaha rumpai laut untuk menjalankan percubaan.

- Three species were used for the trial runs, which included *Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus* and *K. striatus*.
- The commercial eucheumatoids were weighed and tagged to monitor the growth of each individual.



Commercial eucheumatoids were tagged to monitor their growth rate.
 Eukeumatoid komersial ditanda untuk memantau kadar pertumbuhan.

- Tiga spesis telah digunakan untuk percubaan termasuk *Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus* dan *K. striatus*.
- Eukeumatoid komersial tersebut ditimbang dan dilabel untuk memantau pertumbuhan setiap individu.



Trial cultivation of *Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus* and *K. striatus* using a cage net.
Percubaan penanaman eukeumatoid menggunakan sangkar berjaring dengan menggunakan *Kappaphycus alvarezii*, *K. malesianus* and *K. striatus*.

- During the trial runs, the weight of the eucheumatoids was measured weekly.
- The growth rate and survivability of the eucheumatoids were monitored to assess the performance of the cultivation methods.
- The growth rate and survivability of the commercial cultivars are measurably better than the wild eucheumatoids that have been brought into cultivation. The starkly different living environment from being attached to a substrate and growing upright, to being tied onto cultivation lines or unattached in basket nets, which requires a certain amount of time for adaptation.

- Semasa percubaan dijalankan, berat eukeumatoid ditimbang pada setiap minggu.
- Kadar pertumbuhan dan kemandirian eukeumatoid dipantau untuk menilai prestasi kaedah penanaman.
- Kadar pertumbuhan dan kemandirian kultivar komersial adalah lebih baik daripada eukeumatoid liar yang dibawa ke dalam penanaman komersial. Persekitaran habitat yang sangat berbeza daripada melekat pada substrat dan tumbuh menegak, kepada diikat pada tali atau diletakkan dalam bakul berjaring, memerlukan tempoh untuk beradaptasi.



Commercial *Kappaphycus striatus* cultivated in the basket net.
Kappaphycus striatus komersial ditanam di dalam bakul berjaring.

ENVIRONMENTAL DATA COLLECTION



Environmental parameters were measured in the farm area.

Parameter persekitaran direkodkan di kawasan ladang.

- Environmental parameters were recorded to monitor environmental changes in the farm, which may have affected the growth of the eucheumatoids.
- The seawater temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and current velocity were measured using the YSI multiparameter probe and current meter.
- Seawater nutrient levels (nitrate, nitrite, phosphate and ammonia) were estimated using the HACH DR1900 spectrophotometer.

PERSAMPELAN DATA SEKITARAN

- Parameter sekitaran direkodkan untuk memantau perubahan persekitaran di ladang yang boleh menjejaskan pertumbuhan eukeumatoid.
- Suhu air laut, kemasinan, pH, oksigen terlarut dan halaju arus diukur menggunakan prob multiparameter YSI dan meter arus.
- Paras nutrien air laut (nitrat, nitrit, fosfat dan ammonia) diukur menggunakan spektrofotometer HACH DR1900.



Nutrient analysis was carried out at the study site after the water samples were collected from the farm.

Analisis nutrien dijalankan di kawasan kajian selepas sampel air diambil dari kawasan ladang.

COLLECTION OF WILD EUCEUMATOIDS



Wild eucheumatoid specimens with a main axis longer than c. 15 cm and which had no obvious signs of pests or disease were collected at the sampling site.

Spesimen eukeumatoid liar dengan cabang utama lebih panjang daripada 15 cm dan tidak mempunyai tanda-tanda perosak atau penyakit diambil di tapak kajian.

- Wild eucheumatoids were collected from their natural ecosystem via snorkeling during low tide.
- The wild eucheumatoids which are healthy and free from pests and ice-ice disease were selected for the study.
- Permission to access these biological resources was obtained from the Sabah Biodiversity Centre (<https://sabc.sabah.gov.my/>).

PERSAMPELAN EUKEUMATOID LIAR

- Eukeumatoid liar dikutip dari ekosistem semula jadi mereka dengan cara selam snorkel semasa air surut.
- Eukeumatoid liar yang sihat dan bebas daripada perosak dan penyakit *ice-ice* telah dipilih untuk kajian ini.
- Kebenaran untuk mengakses sumber biologi ini diperoleh daripada Pusat Biodiversiti Sabah (<https://sabc.sabah.gov.my/>).



Eucheumatoids were hand-picked while snorkeling from a depth 0.5 m at low tide.

Eukeumatoid diambil dengan cara selam snorkel dari kedalaman 0.5 m ketika air surut.

GROWTH ASSESSMENT



The collected wild eucheumatoids were cleaned to remove any dirt and biofilm.
Eukeumatoid liar yang diambil dibersihkan untuk membuang sebarang kotoran dan biofilem.

- After cutting some of the apical branches for molecular study, the seaweeds were weighed to determine their initial weight.
- During the cultivation process, the weight of the eucheumatoids were recorded weekly for the monitoring of their growth.

PENILAIAN PERTUMBUHAN

- Selepas memotong beberapa cabang hujung untuk kajian molekular, rumpai laut ditimbang untuk menentukan berat awal.
- Semasa proses penanaman, berat eukeumatoid direkodkan setiap minggu untuk pemantauan pertumbuhan.



The weight of each eucheumatoid was recorded weekly to monitor the growth rate.
Berat mingguan eukeumatoid direkodkan untuk memantau kadar pertumbuhan.



Each eucheumatoid was tagged for growth monitoring.
Setiap eukeumatoid dilabel untuk pemantauan pertumbuhan.

- Each eucheumatoid was tagged using labels written on laser matte paper.
- Photographs were taken for each eucheumatoid as a record and to monitor the changes.
- The eucheumatoids were then placed in the basket net or tied onto lines in the cage net.

- Setiap eukeumatoid telah dilabel menggunakan label yang ditulis pada kertas jenis *matte laser*.
- Gambar diambil untuk setiap eukeumatoid sebagai rekod dan untuk memantau perubahan eukeumatoid.
- Eukeumatoid kemudiannya dimasukkan ke dalam bakul berjaring atau diikat pada tali di dalam sangkar berjaring.



Each eucheumatoid was photographed as a reference.
Gambar setiap eukeumatoid juga diambil sebagai rujukan.

CULTIVATION PROCESS

a. Basket net



The basket nets were tied onto the cultivation line horizontally.
Bakul berjaring diikat pada tali secara horizontal.

- About 10 individuals (c. 1 kg) of wild eucheumatoids were placed into the basket net to prevent overcrowding and to provide sufficient space for the eucheumatoids to grow.
- The basket nets were tied onto the cultivation line with a distance of about 1 m between each other for better water flow.

PROSES PENANAMAN

a. Bakul berjaring

- Kira-kira 10 individu (1 kg) eukeumatoid liar diletakkan ke dalam bakul berjaring untuk mengelakkan terlalu padat dan menyediakan ruang yang mencukupi untuk eukeumatoid membesar.
- Bakul berjaring diikat pada tali dengan jarak kira-kira 1 m antara satu sama lain untuk aliran arus yang lebih baik.



Eucheumatoid cultivation using basket nets at the farm.
Penanaman eukeumatoid menggunakan bakul berjaring di ladang.

b. Cage net



The cultivation lines were tied onto the frame of the cage net.
Tali diikat pada bingkai sangkar berjaring.

- For the cage net system, cultivation lines were tied across the net and the eucheumatoids were tied onto the cultivation line with 30 cm distance between individuals following the common practice in commercial farms.
- This method worked well for the commercial cultivars that were bought from the farmers for trial cultivation.
- However, cultivation of the wild eucheumatoids using the cage net was not successful at the beginning as they tended to be detached from the lines and fell into the water due to their smaller size and less bushy morphology.
- Hence, basket nets were found to be more suitable for wild-collected eucheumatoids until they grew to a larger size before being tied onto the cultivation lines.

b. Sangkar berjaring

- Bagi sistem sangkar berjaring, tali diikat pada jaring dan eukeumatoid diikat pada tali dengan jarak 30 cm antara individu mengikut amalan biasa di ladang komersial.
- Kaedah ini berfungsi dengan baik untuk kultivar komersial yang dibeli daripada pengusaha untuk percubaan penanaman.
- Walau bagaimanapun, penanaman eukeumatoid liar menggunakan sangkar berjaring tidak berjaya pada awalnya kerana eukeumatoid liar cenderung tertanggal dari tali dan jatuh ke dalam air kerana saiznya yang lebih kecil dan morfologi yang kurang merimbun.
- Oleh itu, bakul berjaring didapati lebih sesuai untuk eukeumatoid liar sehingga eukeumatoid liar membesar kepada saiz yang lebih besar sebelum boleh diikat pada tali.



Each eucheumatoid was tied onto the cultivation line with the distance 30 cm between each other.

Setiap eukeumatoid diikat pada tali dengan jarak 30 cm antara satu sama lain.

WILD EUCEUMATOIDS SUCCESSFULLY ACCLIMATED IN THE FARM



Eucheumatoids weighing more than 100 g in biomass were cut and divided into new propagules.

Eukeumatoid dengan berat melebihi 100 g biojisim dipotong dan dibahagikan menjadi bibit baru.

- During the acclimatisation period, the wild eucheumatoids were monitored for the presence of pests and diseases.
- The healthy and larger-sized wild eucheumatoids weighing more than 100 g were divided for propagation.
- Even though some of the wild eucheumatoids did not survive, those that did were considered to be the resilient strains, as they survived the El Niño and the associated environmental changes at the study site.
- These “adapted” wild eucheumatoids were subsequently transferred to a commercial farm for cultivation on the longline system applied by the local farmers.

EUKEUMATOID LIAR YANG BERJAYA DIADAPTASI DI LADANG

- Semasa tempoh penyesuaian, eukeumatoid liar dipantau untuk mengesan kehadiran perosak dan penyakit.
- Eukeumatoid liar yang sihat dan bersaiz lebih besar dengan berat lebih daripada 100 g dibahagikan untuk pembiakan.
- Walaupun segelintir eukeumatoid liar gagal diselamatkan, eukeumatoid yang masih hidup dianggap sebagai strain yang berdaya tahan kerana mereka terselamat daripada El Niño dan perubahan persekitaran yang berkaitan di kawasan kajian.
- Eukeumatoid liar yang "berjaya diadaptasikan" ini kemudiannya dipindahkan ke ladang komersial untuk penanaman pada sistem rawai yang digunakan oleh pengusaha tempatan.



Wild eucheumatoids cultivated in one cage net were harvested after 40 days.

Hasil eukeumatoid liar yang ditanam di dalam satu sangkar berjaring dituai selepas 40 hari.

TRANSFERRING THE WILD EUCEUMATOIDS TO THE COMMERCIAL FARM



Successfully acclimatised wild eucheumatoids were tied onto the cultivation line and tagged for growth assessment.

Eukeumatoid liar yang berjaya diadaptasikan telah diikat pada tali dan dilabel untuk penilaian pertumbuhan.

- At the commercial farm, the the successfully acclimatised wild eucheumatoids were cultivated alongside the commercial cultivars following the usual cultivation practices.
- The wild eucheumatoids were harvested after 45 days of cultivation.
- The growth of the wild eucheumatoids continued to be monitored by weighing each cultivation line.

EUKEUMATOID LIAR DIPINDAHKAN KE LADANG KOMERSIAL

- Di ladang komersial, eukeumatoid liar yang telah diadaptasikan ditanam bersama kultivar komersial mengikut amalan penanaman biasa.
- Eukeumatoid liar dituai selepas 45 hari penanaman.
- Pertumbuhan eukeumatoid liar terus dipantau dengan menimbang berat eukeumatoid liar mengikut tali.



Wild eucheumatoids were planted together with the commercial eucheumatoids at the commercial farm.

Eukeumatoid liar ditanam bersama eukeumatoid komersial di ladang komersial.

FARM MAINTENANCE



Basket net covered by algae and drift seaweeds.

Bakul berjaring dilitupi alga dan rumpai laut yang hanyut.

- Basket nets were regularly cleaned to reduce the risk of seaweeds becoming infected by pests and diseases, and to remove fouling algae which reduced water flow into the basket nets.
- The cleaning process at the farm was done weekly.

PENYELENGGARAAN LADANG



Seaweed farmer brushes the basket net to remove the fouling algae.

Pengusaha rumpai laut memberus bakul berjaring untuk membuang alga yang melekat.

- Bakul berjaring dibersihkan secara berkala untuk mengurangkan risiko rumpai laut dijangkiti oleh perosak dan penyakit, dan untuk menghilangkan alga yang melekat di luar bakul dan mengurangkan aliran air ke dalam bakul berjaring yang mengurangkan aliran air ke dalam bakul berjaring.
- Proses pembersihan di ladang dilakukan setiap minggu.



Thorough cleaning of the basket net was done after growth assessment activities.
Pembersihan bakul berjaring yang lebih menyeluruh dilakukan selepas aktiviti penilaian pertumbuhan.

- During weekly growth assessments, the used basket nets were replaced with clean basket nets.
- The used basket nets were thoroughly cleaned to remove the fouling algae and other biofouling organisms that were attached to the nets.
- The basket nets were sun dried for disinfection before being reused.



Basket nets were dried in the sun to kill the microorganisms.
Bakul berjaring dijemur di bawah cahaya matahari untuk membunuh mikroorganisma.

- Semasa penilaian pertumbuhan mingguan, bakul berjaring yang digunakan telah digantikan dengan bakul berjaring yang bersih.
- Bakul berjaring yang digunakan dibersihkan dengan teliti untuk menanggalkan alga dan organisma *biofouling* lain yang melekat pada jaring.
- Bakul berjaring dijemur untuk disinfeksi sebelum digunakan semula.

IMPORTANT CONSIDERATIONS



The wild eucheumatoids were immersed in the sea water surrounding the farm prior to outplanting.

Eukeumatoid liar direndam di dalam air laut di sekeliling ladang sebelum di tanam.

- The basket nets were immersed in the sea water before and after the growth assessment before they were transported back to the farm.
- It is important to minimize stress to the eucheumatoids during this process.

PERTIMBANGAN PENTING



The wild eucheumatoids were immersed in the sea water to minimize stress.

Eukeumatoid liar direndam di dalam air laut untuk mengurangkan stres.

- Bakul berjaring direndam dalam air laut sebelum dan selepas penilaian pertumbuhan sebelum diletakkan semula ke ladang.
- Adalah penting untuk meminimumkan stres kepada eukeumatoid semasa proses ini.



Small-sized eucheumatoids found in the sampling site were not sampled.
Eukeumatoid yang bersaiz kecil yang ditemui di kawasan persampelan tidak diambil sebagai sampel.

- To reduce unnecessary loss and to ensure sustainable harvesting of the eucheumatoids from the wild, the cultivation systems that we modified were first trialled using commercial cultivars that were bought directly from the farmers.
- To reduce the impact on natural populations and habitats, only healthy eucheumatoids (free from diseases and pests) with a main axis longer than about 15 cm were collected.
- Smaller-sized thalli were left untouched to ensure conservation of the wild population.
- Care was taken to ensure that the number of individuals collected did not exceed 30% of the wild populations in each sampling location.
- During the growth assessment, the weighing process is done quickly and carefully to avoid stressing the seaweed.

- Untuk mengurangkan pembaziran sumber dan untuk memastikan penuaian eukeumatoid liar yang mampan, sistem penanaman yang kami ubah suai telah diuji terlebih dahulu menggunakan kultivar komersial yang dibeli terus daripada pengusaha rumpai laut.
- Untuk mengurangkan kesan ke atas populasi dan habitat semula jadi, hanya eukeumatoid yang sihat (bebas daripada penyakit dan perosak) dengan panjang talus melebihi 15 cm diambil.
- Talus bersaiz kecil dibiarkan tanpa disentuh untuk memastikan pemuliharaan populasi liar.
- Penjagaan dilakukan untuk memastikan bahawa bilangan individu yang disampel tidak melebihi 30% daripada populasi liar di setiap lokasi persampelan.
- Semasa aktiviti penilaian pertumbuhan, proses menimbang rumpai laut dilakukan dengan cepat dan berhati-hati untuk mengelakkan stres kepada rumpai laut.



The wild eucheumatoids were immersed in a basin of seawater during the growth assessment process.
Eukeumatoid liar direndam di dalam besen berisi air laut semasa proses penilaian pertumbuhan.

COMPARISON OF CULTIVATION METHODS

ADVANTAGES

DISADVANTAGES

LONGLINE

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Low cost • Seaweeds grow faster and bigger • Can easily move the longline to another area | <ul style="list-style-type: none"> • Seaweeds are exposed to grazers • The lines are prone to damage by passing boats • Fragmented seaweeds are lost in the water |
|---|--|

BASKET NET

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fragmented seaweeds are retained in the basket • Minimal herbivore grazing • Suitable for early stages of acclimatisation for wild-collected eucheumatoids | <ul style="list-style-type: none"> • High cost (ropes, floaters, nets) • Net covered with fouling algae and sediments (reduced water circulation and sunlight penetration in the net) • Higher risk of disease and pest infection when nets are not cleaned regularly |
|--|--|

CAGE NET

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Seaweeds grow faster and bigger • Fragmented seaweeds are retained in the net • Minimal herbivore grazing • Suitable for further acclimatisation of wild-collected eucheumatoids (once reach ~30 g) | <ul style="list-style-type: none"> • High cost (ropes, floaters, nets) • Not easy to move to other sites • More challenging to keep net free from biofouling due to its larger size |
|--|--|

PERBANDINGAN KAEDAH PENANAMAN

KEBAIKAN

KEBURUKAN

RAWAI

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Kos lebih rendah • Rumpai laut tumbuh dengan lebih cepat dan lebih besar • Senang untuk dipindahkan ke tempat lain | <ul style="list-style-type: none"> • Rumpai laut terdedah kepada haiwan peragut • Tali terdedah kepada kerosakan apabila bot melintasi kawasan ladang • Rumpai laut yang patah jatuh ke dalam air |
|--|--|

BAKUL BERJARING

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Rumpai laut yang patah masih ada di dalam bakul • Mengurangkan ragutan oleh herbivor • Sesuai untuk peringkat awal tempoh penyesuaian eukeumatoid liar | <ul style="list-style-type: none"> • Kos tinggi (tali, pelampung, jaring) • Jaring dilitupi oleh rumpai lain dan mendapan (peredaran air dan penembusan cahaya matahari berkurang di dalam jaring) • Risiko jangkitan penyakit dan perosak yang lebih tinggi apabila jaring tidak dibersihkan dengan kerap |
|--|---|

SANGKAR BERJARING

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Rumpai laut tumbuh lebih cepat dan lebih besar • Rumpai laut yang patah masih ada di dalam jaring • Mengurangkan ragutan oleh herbivor • Sesuai untuk penyesuaian eukeumatoid liar (apabila mencapai ~30 g) | <ul style="list-style-type: none"> • Kos tinggi (tali, pelampung, jaring) • Sukar untuk dipindahkan ke kawasan lain • Lebih mencabar untuk memastikan jaring bebas daripada <i>biofouling</i> kerana saiznya yang lebih besar |
|--|--|

Chapter 5

Bab 5

EVALUATION OF CARRAGEENAN YIELD AND QUALITY

PENILAIAN HASIL DAN KUALITI KARAGINAN



DID YOU KNOW?

Toothpaste that you used everyday, ice cream, flavoured milk beverages and processed meat products that you consume, many skin care products that you apply to your skin, all contain carrageenan from seaweeds.

Ubat gigi yang anda gunakan setiap hari, aiskrim, minuman susu berperisa dan produk daging proses yang anda minum dan makan, banyak produk penjagaan kulit yang anda sapukan pada kulit anda, semuanya mengandungi karaginan daripada rumpai laut.

CARRAGEENAN

- As dried eucheumatoid biomass is primarily utilized for carrageenan production, evaluating the carrageenan yield and quality of the harvested seaweed is important.
- Carrageenan is a polysaccharide extracted from red seaweeds, and it has a wide range of industrial applications as a thickener, stabilizer and emulsifier in food, pharmaceutical and cosmetics (Lim et al. 2021; Tan et al. 2022; Rupert et al. 2022).
- Eucheumatoids contribute 90% of the world’s total carrageenan production (Campbell and Hotchkiss 2017).
- Three major types of carrageenan can be found in red algal cell walls: kappa, iota and lambda carrageenan (Campo et al. 2009; Subramanian and Varade 2017; BeMiller 2019).

Type of major carrageenan found within the eucheumatoids growing in Semporna, Sabah. Jenis karaginan utama yang terdapat pada eukeumatoid yang tumbuh di Semporna, Sabah.

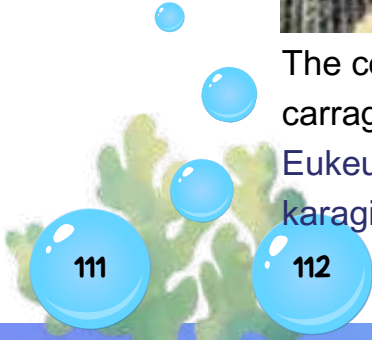
GENERA GENERA	TYPE JENIS
<i>Kappaphycus</i>	kappa-carrageenan karaginan kappa
<i>Kappaphycopsis</i>	kappa-carrageenan karaginan kappa
<i>Eucheuma</i>	iota-carrageenan karaginan iota
<i>Mimica</i>	iota-carrageenan karaginan iota

KARAGINAN

- Oleh kerana biojisim eukeumatoid kering digunakan khususnya untuk pengeluaran karaginan, penilaian hasil karaginan dan kualiti rumpai laut yang dituai adalah penting.
- Karaginan ialah polisakarida yang diekstrak daripada rumpai laut merah, dan ianya digunakan secara meluas oleh industri sebagai pemekat, penstabil dan pengemulsi dalam makanan, farmaseutikal dan kosmetik (Lim et al. 2021; Tan et al. 2022; Rupert et al. 2022).
- Eukeumatoid menyumbang 90% daripada jumlah pengeluaran karaginan dunia (Campbell dan Hotchkiss 2017).
- Tiga jenis karaginan utama boleh ditemui dalam dinding sel alga merah: karaginan kappa, iota dan lambda (Campo et al. 2009; Subramanian dan Varade 2017; BeMiller 2019).



The commercial eucheumatoids were dried in the farm before being processed to produce carrageenan in the factory. Eukeumatoid komersial yang dikeringkan di ladang sebelum diproses untuk menghasilkan karaginan di kilang.



- Different extraction methods will give different grades of carrageenan which are generally classified as semi-refined carrageenan (SRC) and refined carrageenan (RC) (Tarman et al. 2020).
- Carrageenan extraction methods:
 1. Alkaline treatment method
 2. Enzyme-based extraction method
 3. Microwave-assisted extraction method
 4. Ultrasound-assisted extraction method
- Malaysia has a standard for the seaweed industry related to the carrageenan which is Malaysian Standard MS2528:2013: Dried seaweed from Carrageenophytes-Specification.

- Kaedah pengekstrakan yang berbeza akan menghasilkan gred karaginan yang berbeza yang terbahagi kepada karaginan separa halus (SRC) and karaginan halus (RC) (Tarman et al. 2020).
- Kaedah pengekstrakan karaginan:
 1. Kaedah rawatan alkali
 2. Kaedah pengekstrakan berasaskan enzim
 3. Kaedah pengekstrakan menggunakan gelombang mikro
 4. Kaedah pengekstrakan menggunakan *ultrasound*
- Malaysia mempunyai piawaian untuk industri rumpai laut yang berkaitan dengan karaginan iaitu *Malaysian Standard MS2528:2013: Dried seaweed from Carrageenophytes-Specification*.

Comparison between refined and semi-refined carrageenan.
 Perbandingan antara karaginan halus dan separa halus.

	Refined carrageenan Karaginan halus	Semi refined carrageenan Karaginan separa halus
Purity Ketulenan	High Tinggi	Lower Lebih rendah
pH	Lower Lebih rendah	High Tinggi
Viscosity Kelikatan	Lower Lebih rendah	High Tinggi
Gel strength Kekuatan gel	High Tinggi	Lower Lebih rendah
Melting temperature Takat lebur	High Tinggi	Lower Lebih rendah



Kappaphycus species produce kappa-carrageenan.
 Spesies *Kappaphycus* menghasil karaginan kappa.

ASSESSMENT OF GEL QUALITY



Wild eucheumatoids that were successfully propagated at the farm.

Eukeumatoid liar yang berjaya dibiakkan di ladang.

- Some of the successfully propagated wild eucheumatoids were brought back to the laboratory for carrageenan extraction and assessment of gel quality.
- The eucheumatoids were cleaned and subsequently rinsed with tap water a few times to remove the excess salt.
- The eucheumatoids were dried in an oven at 60°C overnight and then ground into smaller pieces.
- 5 g of the dried eucheumatoids were soaked in pre-heated (70°C) potassium hydroxide (6% KOH) for 30 minutes.
- The eucheumatoids were then rinsed with distilled water a few times before being dried in the oven at 60°C overnight to extract semi refined carrageenan (SRC).

PENILAIAN KUALITI GEL



Wild eucheumatoids after overnight drying in the oven.

Eukeumatoid liar selepas dikeringkan di dalam ketuhar semalaman.

- Sebahagian daripada eukeumatoid liar yang berjaya dibiakkan telah dibawa balik ke makmal untuk pengekstrakan karaginan dan penilaian kualiti gel.
- Eukeumatoid dibersihkan daripada semua kotoran dan seterusnya dibilas dengan air paip beberapa kali untuk mengeluarkan garam yang berlebihan.
- Eukeumatoid dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 60°C semalaman dan kemudian dikisar menjadi pecahan yang lebih kecil.
- 5 g eukeumatoid kering direndam dalam kalium hidroksida (6% KOH) yang telah dipanaskan (70°C) selama 30 minit.
- Eukeumatoid kemudiannya dibilas dengan air suling beberapa kali sebelum dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 60°C semalaman untuk mengekstrak karaginan separa halus (SRC).



The dried eucheumatoids were ground into smaller pieces to improve extraction efficiency.
Eukeumatoid kering ditumbuk menjadi cebisan yang lebih kecil untuk meningkatkan kecekapan pengekstrakan.



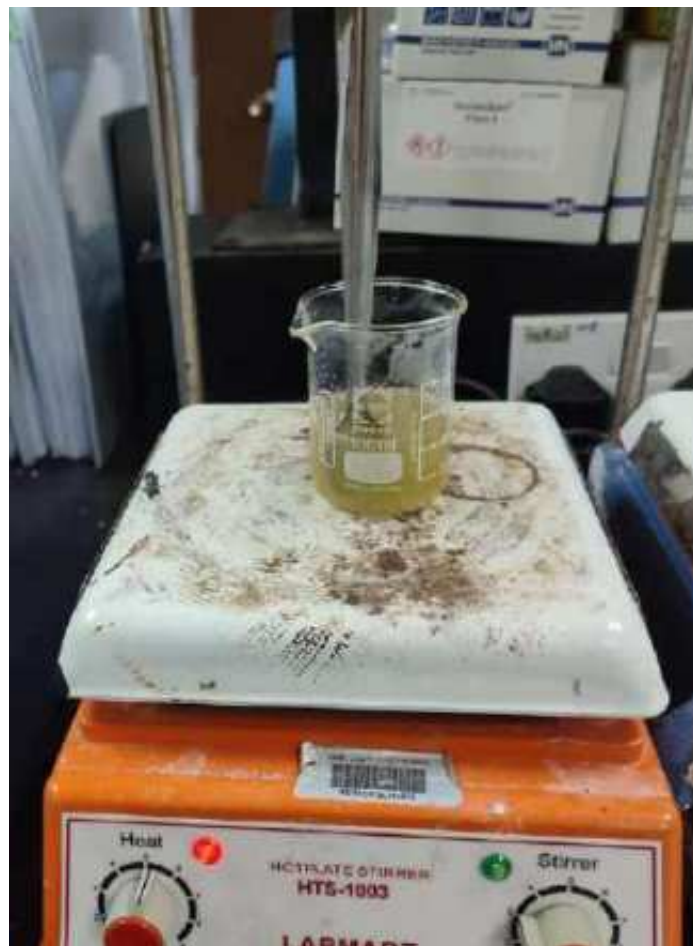
Eucheumatoids soaked in preheated potassium hydroxide (6% KOH).
Eukeumatoid direndam dalam kalium hidroksida yang telah dipanaskan (6% KOH).



Eucheumatoids were dried in the oven after rinsing with distilled water.
Eukeumatoid dikeringkan dalam ketuhar selepas dibilas dengan air suling.



Dried eucheumatoids were ground a second time to obtain semi-refined carrageenan (SRC).
Eukeumatoid yang kering ditumbuk semula untuk menghasilkan karaginan separuh halus (SRC).



The extracted SRC was heated in distilled water until it dissolved, then filtered before the carrageenan gel is left to solidify at room temperature.

SRC yang telah diekstrak dipanaskan dalam air suling sehingga larut, kemudian ditapis sebelum gel karaginan dibiarkan untuk memejalkan pada suhu bilik.

- 0.75 g of SRC were heated in 50 ml preheated 90°C distilled water for 20 minutes until the SRC dissolved.
- The dissolved SRC was filtered and the residue was mashed with a spatula.
- The gel solution was allowed to cool at room temperature before measuring the gel strength and viscosity.
- 0.75 g SRC dipanaskan di dalam 50 ml 90°C air suling selama 20 minit sehingga SRC terlarut.
- Larutan SRC ditapis dan bakinya dilenyek dengan menggunakan spatula.
- Larutan gel dibiarkan sejuk pada suhu bilik sebelum kekuatan dan kelikatan gel diukur.



Gel strength was measured using Mecmesin basic force gauge (BFG 10N).

Kekuatan gel diukur dengan menggunakan Mecmesin basic force gauge (BFG 10N).



A rheometer was used to measure the viscosity of the extracted SRC.

Rheometer digunakan untuk mengukur kelikatan SRC yang diekstrak.

Chapter 6

Bab 6

CONSERVATION OF WILD EUCHEUMATOID STOCKS

PEMULIHARAAN STOK EUKEUMATOID LIAR



DID YOU KNOW?

There is almost no seaweed-specific legislation that exists globally and there are almost no Marine Protected Areas (MPAs) (or equivalent) specific for seaweeds or their habitats.

Hampir tiada undang-undang khusus rumpai laut wujud di seluruh dunia dan hampir tiada Kawasan Perlindungan Marin (MPA) (atau setara) khusus untuk rumpai laut atau habitatnya.

IMPORTANCE OF SEAWEED CONSERVATION

- Cultivars used in seaweed cultivation originated from wild stocks that were domesticated and have been successfully grown using commercial methods. For over 50 years, farmers have propagated these seaweeds vegetatively in their farms, leading to low genetic diversity.
- Wild eucheumatoids are an important source for seaweed aquaculture stock; therefore, conserving wild eucheumatoids and their natural habitats is crucial, particularly to safeguard against low genetic diversity.
- Local farmers in Semporna chose to cultivate seaweed using existing propagules from commercial farms rather than using wild stock, since they believe this requires more work and time investment and is not always successful as it has a reduced growth rate compared with the commercial cultivars.
- Seaweed cultivation is a sustainable alternative to harvesting from the wild.
- However, some species such as *Caulerpa* and *Gracilaria* are foraged from the wild by the local communities for consumption, since these species are not commercially cultivated in Semporna.



Caulerpa that are sold in the wet market in Semporna are foraged from the natural habitat.
Caulerpa yang dijual di pasar basah di Semporna dikutip dari habitat semulajadi.

KEPENTINGAN PEMULIHARAAN RUMPAI LAUT

- Kultivar yang digunakan dalam penanaman rumput laut berasal daripada stok liar yang dibiakkan dan telah berjaya ditanam menggunakan kaedah komersial. Selama lebih 50 tahun, pengusaha telah membiak rumput laut ini secara vegetatif di ladang mereka, yang membawa kepada kepelbagaian genetik yang rendah.
- Eukeumatoid liar adalah sumber penting untuk stok akuakultur rumput laut; oleh itu, memulihara eukeumatoid liar dan habitat semula jadinya adalah penting, terutamanya untuk melindungi daripada kepelbagaian genetik yang rendah.
- Pengusaha tempatan di Semporna memilih untuk menanam rumput laut menggunakan bibit sedia ada dari ladang komersial daripada menggunakan stok liar, kerana mereka percaya ini memerlukan usaha yang lebih dan masa yang panjang, dan tidak selalunya akan berjaya kerana rumput laut liar mempunyai kadar pertumbuhan yang rendah berbanding dengan kultivar komersial.
- Penanaman rumput laut adalah alternatif yang mampan kepada penuaian secara terus dari habitat liar.
- Walau bagaimanapun, sesetengah spesis seperti *Caulerpa* dan *Gracilaria* masih dikutip dari habitat liar kerana spesis ini tidak ditanam secara komersial di Semporna.



Seaweeds provide habitat for fish and other marine organisms.
Rumput laut adalah habitat untuk ikan dan organisma marin yang lain.

- It is essential to actively implement and enhance conservation measures to safeguard the vital role that seaweeds play in marine ecosystem. By doing so, we not only protect these invaluable organisms but also ensure that local communities continue to reap the benefits of their presence.
- Seaweeds associated with coral reefs serve as nursery habitats and food resources for marine organisms (e.g., fish, molluscs, starfish, crustaceans).
- Seaweeds can absorb excessive nutrients from the water column (Hasselström et al. 2018).
- A high density of seaweeds can help fight climate change by reducing the carbon dioxide concentration in the oceans (Duarte et al. 2017).
- Seaweed communities can act as a buffer zone to reduce the impact of wave action (Cottier-Cook et al. 2023).



When snorkeling or diving, people tend to admire the corals for their beautiful colour, yet overlook the many different varieties of seaweeds and other organisms that inhabit and form the basis of many of these reefs (eucheumatoid: red arrow).

Semasa semalam snorkel atau menyelam, orang sentiasa mengagumi keindahan batu karang kerana warnanya yang cantik, namun mengabaikan kepelbagaian rumpai laut dan organisma lain yang menghuni dan menjadi asas kepada kepelbagaian terumbu ini (eucheumatoid: anak panah merah).



Seaweed communities at Semporna.

Komuniti rumpai laut di Semporna.

- Adalah penting untuk melaksanakan dan menambahbaik langkah pemuliharaan secara aktif untuk melindungi peranan penting yang dimainkan oleh rumpai laut dalam ekosistem marin. Dengan berbuat demikian, kita bukan sahaja melindungi organisma yang tidak ternilai ini tetapi juga memastikan komuniti setempat boleh mendapat manfaat berpanjangan daripada kehadiran rumpai laut ini.
- Rumpai laut yang dikaitkan dengan terumbu karang berfungsi sebagai habitat nurseri dan sumber makanan untuk organisma marin (cth., ikan, moluska, tapak sulaiman, krustasea).
- Rumpai laut boleh menyerap nutrien yang berlebihan dalam air (Hasselström et al. 2018).
- Kepadatan rumpai laut yang tinggi boleh membantu mengatasi perubahan iklim dengan mengurangkan kepekatan karbon dioksida di lautan (Duarte et al. 2017).
- Komuniti rumpai laut boleh bertindak sebagai zon penampan untuk mengurangkan kesan tindakan ombak (Cottier-Cook et al. 2023).

MAJOR THREATS

- The construction of chalets and overwater resorts has impacted the marine ecosystem to some extent. The discharge of sewage and detergents has lead to poor water quality that can damage coral reefs and disrupt marine ecosystems including seaweeds.
- Destructive illegal fishing, locally referred to as fish bombing, continues to be reported in Semporna. These irresponsible fishermen target commercially valuable fish and crustaceans, but their actions end up destroying the seabed communities which include important seaweed habitats.
- Some fishermen rely on shellfish such as abalones, clams, and gastropods for their livelihoods. While searching for these marine resources, some fishermen turn over stones or corals to find them, accidentally stepping on and destroying the seaweeds.
- In recent years, climate-induced increases in seawater temperature and fluctuations in salinity have been linked to outbreaks of seaweed diseases and pests.



Semporna is popular among tourists because of the crystal clear water and its fisheries resources.

Semporna terkenal di kalangan pelancong kerana air laut yang jernih dan sumber perikanannya.

ANCAMAN UTAMA

- Pembinaan chalet dan pusat peranginan atas air sedikit sebanyak memberi kesan kepada ekosistem marin. Pelepasan sisa kumbahan dan detergen telah menyebabkan kualiti air terjejas dan boleh merosakkan terumbu karang dan mengganggu ekosistem marin termasuk rumpai laut.
- Penangkapan ikan secara haram, yang lebih dikenali sebagai pengeboman ikan, masih dilaporkan di Semporna. Nelayan yang tidak bertanggungjawab ini menyasarkan ikan dan krustasea yang bernilai komersial, tetapi tindakan mereka akhirnya memusnahkan ekosistem yang merangkumi habitat rumpai laut yang penting.
- Sesetengah nelayan bergantung kepada kerang-kerangan seperti abalon, kerang dan siput sebagai sumber mata pencarian mereka. Semasa mencari sumber marin ini, sesetengah nelayan membalikkan batu atau karang untuk mencarinya, secara tidak sengaja terpijak dan memusnahkan rumpai laut.
- Beberapa tahun kebelakangan ini, peningkatan suhu dan turun naik kemasinan air laut disebabkan perubahan iklim telah dikaitkan dengan kerebakan perosak dan penyakit rumpai laut.



Every evening the wet market is bustling with bargaining between sellers and buyers.

Setiap petang pasar basah akan sibuk dengan sesi tawar-menawar antara penjual dan pembeli.

CONSERVATION EFFORTS

- While the tourism sector in Semporna is rapidly expanding and contributing to local economic development, it offers an opportunity to promote sustainable practices that protect marine habitats and preserve biodiversity, including important seaweeds and their habitats. By implementing responsible tourism initiatives and raising awareness among tourists, we can ensure this beautiful region remains vibrant and ecologically balanced for future generations.
- Local law enforcement, in collaboration with community members, plays a crucial role in significantly reducing fish bombing cases. This proactive approach effectively protects our marine ecosystems from impending destruction.
- In addition to actively restoring or replanting coral, mangroves, and seagrass, it is essential to conserve seaweed habitats. This healthy ecosystem can enhance the absorption of carbon dioxide, thereby helping to mitigate the effects of global warming.
- By conserving these natural habitats, marine organisms will have a sufficient food source, which is essential for the overall health of our oceans. This approach can indirectly help sustainable commercial seaweed farming by protecting the climate-resilient seaweeds that can be used in the future by the industry.



Conserving the seaweeds is conserving marine habitat.
Memulihara rumput laut adalah memulihara habitat marin.

USAHA PEMULIHARAAN

- Walaupun sektor pelancongan di Semporna berkembang pesat dan menyumbang kepada pembangunan ekonomi tempatan, sektor ini menawarkan peluang untuk mempromosikan amalan mampan yang melindungi habitat marin dan memelihara biodiversiti, termasuk rumput laut dan habitatnya. Dengan melaksanakan inisiatif pelancongan yang bertanggungjawab dan meningkatkan kesedaran di kalangan pelancong, kita boleh memastikan kawasan yang indah ini kekal berseri dan seimbang dari segi ekologi untuk generasi akan datang.
- Penguatkuasaan undang-undang tempatan, dengan kerjasama ahli komuniti, memainkan peranan penting dalam mengurangkan kes pengeboman ikan yang ketara. Pendekatan proaktif ini berkesan melindungi ekosistem marin kita daripada kemusnahan.
- Selain secara aktif memulihkan atau menanam semula batu karang, bakau dan rumput laut, adalah penting untuk memulihara habitat rumput laut. Ekosistem yang sihat ini boleh meningkatkan penyerapan karbon dioksida, dengan itu membantu mengurangkan kesan pemanasan global.
- Melalui pemuliharaan habitat semulajadi, organisma marin akan mempunyai sumber makanan yang mencukupi, dan ini adalah penting untuk kesihatan laut kita. Pendekatan ini secara tidak langsung dapat memampankan penanaman rumput laut komersial melalui perlindungan rumput laut yang berdaya tahan dengan perubahan iklim, untuk digunakan pada masa hadapan oleh industri.



Seaweed farmers live a simple life in the middle of the sea.
Pengusaha rumput laut hidup secara sederhana di tengah laut.

Summary of Research | Ringkasan Penyelidikan



REFERENCES

- Alibon RD, Gonzales JMP, Ordoño AET, Echem RT (2019) Incidence of ice-ice disease associated with *Kappaphycus alvarezii* in the seaweed farms in Zamboanga Peninsula, Mindanao, Philippines. SSR Inst Int J Life Sci 5:2148–2155
- BeMiller JN (2019) “13 – Carrageenans”. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 3rd Edn. eds. BeMiller JN. United Kingdom: AACC International Press, p 279–291
- Bindu MS (2011) Empowerment of coastal communities in cultivation and processing of *Kappaphycus alvarezii* – a case study at Vizhinjan village, Kerala. J Appl Phycol 23:157–163
- Cai J, Lovatelli A, Aguilar-Manjarrez J, Cornish L, Dabbadie L, Desrochers A, Diffey S, Gamarro EG, Geehan J, Hurtado A, Lucente D, Mair G, Miao W, Potin P, Przybyla C, Reantaso M, Roubach R, Tauati M, Yuan X (2021) Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1229. FAO, Rome, p 48
- Campbell R, Hotchkiss S (2017) “Carrageenan industry market overview”. In: Tropical Seaweed Farming Trends, Problems and Opportunities. eds. Hurtado A, Critchley A, Neish I (Cham: Springer), p 193–205
- Campo VL, Kawano DF, da Silva Jr DB, Carvalho I (2009) Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – a review. Carbohydr Polym 77:167–180
- Cottier-Cook EJ, Lim PE, Mallinson S, Yahya N, Poong SW, Wilbraham J, Nidhi Nagabhatla, Brodie J (2023) Striking a balance: Wild stock protection and the future of our seaweed industries. POLICYBRIEF:06
- de Goes HG, Reis RP (2011) An initial comparison of tubular netting versus tie-tie methods of cultivation for *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil. J Appl Phycol 23:607–613
- DOFM (2023) Official Portal Department of Fisheries Malaysia, Ministry of Agriculture and Food Security. <https://www.dof.gov.my>; accessed 22 August 2023
- DOFM (2024) Official Portal Department of Fisheries Malaysia, Ministry of Agriculture and Food Security. <https://www.dof.gov.my>; accessed 29 July 2024

RUJUKAN

- Doty MS, Norris JN (1985) *Eucheuma* species (Solieriaceae, Rhodophyta) that are major sources of carrageenan. In: Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. eds. Abbott IA, Norris JN. California Sea Grant College Program [Report T-CSGCP-011], p 47–61
- Doty MS (1988) Prodromus ad systematica Eucheumatoideorum: A tribe of commercial seaweeds related to *Eucheuma* (Solieriaceae, Gigartinales). In: Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species Volume II. eds. Abbott IA. California Sea Grant College Program [Report T-CSGCP-018], p 159–207
- Duarte CM, Wu J, Xiao X, Bruhn A, Krause-Jensen D (2017) Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? Frontiers in Marine Science 4:1–8
- Faisan JP Jr, Luhan MRJ, Sibonga R, Mateo JP, Ferriols VMEN, Brakel J, Ward GM, Ross S, Bass D, Stentiford GD, Brodie J, Hurtado AQ (2021) Preliminary survey of pests and diseases of eucheumatoid seaweed farms in the Philippines. J Appl Phycol 33:2391–2405
- Faisan JP, Sibonga RC, Mateo JP, Luhan MRJ, Ferriols VMEN, Balinas VT, Brakel J, Bass D, Ross S, Stentiford GD, Brodie J, Ward GM, Hurtado AQ (2024) Temporal variation in the incidence of seaweed health problems affecting farmed *Kappaphycus striatus* in relation to environmental conditions in shallow waters. J Appl Phycol 36: 2013–2028
- Hasselström L, Visch W, Gröndahl F, Nylund GM, Pavia H (2018) The impact of seaweed cultivation on ecosystem services - a case study from the west coast of Sweden. Marine Pollution Bulletin 133: 53-64
- Hurtado AQ, Gerung GS, Yasir S, Critchley AT (2014) Cultivation of tropical red seaweeds in the BIMP-EAGA region. J Appl Phycol 26:707–718
- Kambey CSB, Lim PE, Cottier-Cook EJ, Campbell I, Poong SW, Kassim A (2021) Standard Operating Procedure of Eucheumatoid Cultivation Using Biosecurity-Based Approach. Institute of Ocean and Earth Sciences, p 30
- Kumar YN, Poong S-W, Gachon C, Brodie J, Sade A, Lim P-E (2020) Impact of elevated temperature on the physiological and biochemical responses of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta). PLoS ONE 15:e0239097
- Lim P-E, Poong S-W, Tan J, Kassim A, Gachon C, Brodie J, Cottier-Cook E (2021) A practical guide to the aquaculture of *Kappaphycus* and *Eucheuma* in Malaysia (bilingual). University of Malaya, Institute of Ocean and Earth Sciences, Kuala Lumpur, p 96

Lim PE, Tan J, Phang SM, Nikmatullah A, Hong DD, Sunarpi H, Hurtado AQ (2014) Genetic diversity of *Kappaphycus* Doty and *Eucheuma* J. Agardh (Solieriaceae, Rhodophyta) in Southeast Asia. *J Appl Phycol* 26:1253–1272

Montúfar-Romero M, Rincones-León RE, Cáceres-Farias LB, Espinoza-Vera MM, Avendaño U, Cruz-Jaimes T, Cubillos L, Ruiz W, Revelo W, Alfaro-Núñez A, Lodeiros C, Cáceres-Farias L (2023) Feasibility of aquaculture cultivation of elkhorn sea moss (*Kappaphycus alvarezii*) in a horizontal long line in the Tropical Eastern Pacific. *Sci Rep* 13:14751

Pang T, Liu J, Liu Q, Li H, Li J (2015) Observations on pests and diseases affecting a eucheumatoid farm in China. *J Appl Phycol* 27:1975–1984

Pang T, Liu Q (2019) ENSO and eucheumatoid algae cultivation in China. *J Appl Phycol* 31:1207–1212

Phang SM, Yeong HY, Lim PE (2019a) The seaweed resources of Malaysia. *Botanica Marina* 62 (3):265–273

Phang SM, Yeong HY, Lim PE (2019b) Checklist of Malaysian marine algae – 2019. In: *Taxonomy of southeast Asian seaweeds III*. eds. Phang SM, Song SL, Lim PE. Institute of Ocean and Earth Sciences Monograph Series 17. University of Malaya Press, Kuala Lumpur, p 172–203

Roleda MY, Aguinaldo Z-ZA, Crisostomo BA, Hinaloc LAR, Projimo VZ, Dumilag RV, Lluisma AO. 2021. Discovery of novel haplotypes from wild populations of *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta) in the Philippines. *Algae* 36(1):1–12.

Rupert R, Rodrigues KF, Thien VY, Yong WTL (2022) Carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae): metabolism, structure, production, and application. *Front. Plant Sci* 13:859635

Sade A, Ali I, Mohd. Arif MR (2006) The seaweed industry in Sabah, East Malaysia. *JATI* 11:97–107

Subramanian V, Varade D (2017) 5 – thermoelectric properties of biopolymer composites. In *Biopolymer Composites in Electronics*. eds. Sadasivuni KK, Ponnammma D, Kim J, Cabibihan J-J, AlMaadeed MA. Netherlands: Elsevier, p 155–183

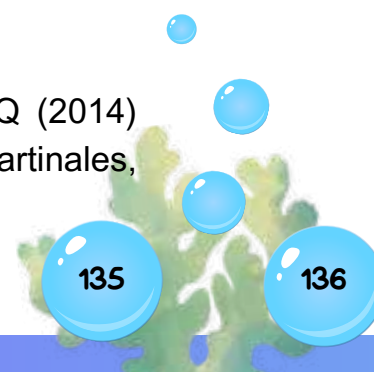
Tan J, Lim PE, Phang SM, Rahiman A, Nikmatullah A, Sunarpi H, Hurtado AQ (2014) *Kappaphycus malesianus* sp. nov.: a new species of *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta) from Southeast Asia. *J Appl Phycol* 26:1273–1285

Tan P-L, Poong S-W, Tan J, Brakel J, Gachon C, Brodie J, Sade A, Lim P-E (2022) Assessment of genetic diversity within eucheumatoid cultivars in east Sabah, Malaysia. *J Appl Phycol* 34:709–717

Tsiresy G, Preux J, Latriva T, Dubois P, Lepoint G, Eeckhaut I (2016) Phenology of farmed seaweed *Kappaphycus alvarezii* infestation by the parasitic epiphyte *Polysiphonia* sp. in Madagascar. *J Appl Phycol* 28:2903–2914

Ward GM, Kambey CSB, Faisan JP Jr, Tan PL, Daumich CC, Matoju I, Stentiford GD, Bass D, Lim PE, Brodie J, Poong SW (2021) Ice-Ice disease: An environmentally and microbiologically driven syndrome in tropical seaweed aquaculture. *Rev Aquacult* 14:414–439

Yahya N, Poong S-W, Brodie J, Cottier-Cook EJ, Wilbraham J, Mallinson S, Kassim A, Mansor KNAAK, Lim P-E (2024) Comparison of two cultivation methods for domesticating wild red algal eucheumatoids for use in the seaweed industry. *J Appl Phycol* 36(6):3525–3536



RESEARCH TEAM



DR. NURULAFIFAH YAHYA

Research field: Ecology, marine biology
Affiliation: Institute of Ocean and Earth Sciences (IOES),
Universiti Malaya
E-mail: nurulafifah@um.edu.my



DR. POONG SZE WAN

Research field: Biotechnology
Affiliation: Institute of Ocean and Earth Sciences (IOES),
Universiti Malaya
E-mail: szewan@um.edu.my



PROF. DR. JULIET BRODIE

Research field: Phycology
Affiliation: Natural History Museum, London (NHM)
E-mail: j.brodie@nhm.ac.uk

PASUKAN PENYELIDIK



PROF. DR. ELIZABETH COTTIER-COOK

Research field: Seaweed Biosecurity
Affiliation: Scottish Association for Marine Science (SAMS),
Oban
E-mail: Elizabeth.Cottier-Cook@sams.ac.uk



DATUK AZHAR HJ. KASSIM

Research field: Fisheries
Affiliation: Department of Fisheries Sabah (DOFS)
E-mail: azhar.kassim@sabah.gov.my



PROF. DR. LIM PHAIK EEM

Research field: Algae Biotechnology
Affiliation: Institute of Ocean and Earth Sciences (IOES),
Universiti Malaya
E-mail: phaikem@um.edu.my



This book highlights the processes and techniques carried out by researchers and local communities to develop new cultivars from wild eucheumatoids. No research project can succeed without encountering challenges. Here, we share those challenges we faced, along with the actions taken to ensure the success of this project. There is still much to explore and study to ensure that cultivars can thrive in the current conditions of commercial farms before they can be used commercially.

The book is carefully crafted in a bilingual format, making it suitable for a diverse audience. It features a collection of captivating photographs representing Sabah's essence, including famous locations such as Kota Kinabalu, Kunak, Semporna and Tawau. This approach not only enhances accessibility but also encourages appreciation of the region's rich culture and landscapes.

Buku ini memberi penekanan tentang proses dan kaedah yang digunakan oleh para penyelidik dan komuniti tempatan untuk membangunkan kultivar baharu daripada eucheumatoid liar. Tiada projek penyelidikan boleh berjaya tanpa menghadapi cabaran. Di sini, kami berkongsi cabaran-cabaran yang kami hadapi, bersama-sama dengan tindakan yang diambil untuk memastikan kejayaan projek ini. Masih banyak yang perlu diterokai dan dikaji bagi memastikan kultivar tersebut dapat hidup subur dalam keadaan ladang komersil semasa sebelum ia boleh digunakan secara komersial.

Buku ini direka dengan teliti dalam format dwibahasa, membolehkannya bergema dengan khalayak yang pelbagai. Ia menampilkan koleksi gambar yang menawan yang mewakili intipati Sabah, termasuk lokasi terkenal seperti Kota Kinabalu, Kunak, Semporna dan Tawau. Pendekatan ini bukan sahaja meningkatkan kebolehcapaian tetapi juga menggalakkan penghargaan terhadap kekayaan budaya dan landskap rantau ini.

e ISBN 978-967-26257-8-0



9789672625780