



**PENILAIAN DAUR HIDUP (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*)
PRODUK TEPUNG AGAR DAN KARAGENAN
(STUDI KASUS DI PT. XYZ PASURUAN)**

SITI AMINATU ZUHRIA



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Tepung Agar dan Karagenan (Studi Kasus di PT. XYZ Pasuruan)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, November 2021

Siti Aminatu Zuhria
F351190231

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

SITI AMINATU ZUHRIA. Penilaian Daur Hidup Produk Tepung Agar dan Karagenan (Studi Kasus di PT. XYZ Pasuruan). Dibimbing oleh NASTITI SISWI INDRASTI dan MOHAMAD YANI.

Rumput laut Indonesia menguasai lebih dari separuh rumput laut dunia. Indonesia menempati peringkat kedua sebagai produsen jenis rumput laut *Gracilaria* sp terbesar dunia dan posisi pertama sebagai produsen jenis rumput laut *Eucheuma cottonii*. *Gracilaria* sp dan *Eucheuma cottonii* termasuk jenis rumput laut alga merah (*Rhodophyceae*). *Gracilaria* sp dimanfaatkan menjadi sumber bahan baku tepung agar, sedangkan *Eucheuma cottonii* dimanfaatkan menjadi sumber bahan baku tepung karagenan. Tepung agar dan karagenan banyak dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan industri baik pangan maupun non pangan, sehingga memacu pengembangan industri rumput laut di Indonesia.

Pengembangan industri rumput laut tidak hanya memberikan dampak positif berupa keuntungan, tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak lingkungan berasal dari penggunaan bahan material berupa bahan baku dan bahan tambahan berupa bahan kimia dan bahan kemasan, penggunaan energi dan limbah yang dihasilkan oleh unit proses. Dampak lingkungan yang dihasilkan berpotensi mencemari udara, air dan tanah.

Metode yang dapat digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu produk adalah *Life cycle assessment* (LCA). LCA merupakan teknik untuk menilai aspek lingkungan yang terkait dengan siklus hidup suatu produk. Kajian LCA ini bertujuan untuk mengidentifikasi *input*, *output* dan dampak lingkungan dari daur hidup produk tepung agar dan karagenan di PT XYZ. Batasan ruang lingkup yang dikaji yaitu *cradle to gate* dari mulai pengadaan bahan baku, transportasi dan produksi di industri. Tahapan kajian LCA dilakukan berdasarkan ISO 14040 : 2016 yang terdiri dari empat tahapan diantaranya penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak lingkungan dan interpretasi hasil untuk upaya perbaikan. Dampak lingkungan yang dikaji ada tiga kategori yaitu pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi.

Berdasarkan analisis kajian LCA pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan, untuk 1 kg tepung agar memberikan dampak lingkungan pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 26,28 kg-CO₂eq ; 0,18 kg-SO₂eq dan 0,03 kg-PO₄eq dan 1 kg tepung karagenan menghasilkan dampak lingkungan pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 47,73 kg-CO₂eq ; 0,30 kg-SO₂eq dan 0,06 kg-PO₄eq. Unit proses produksi pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan menghasilkan sumber emisi terbesar pada ketiga kategori dampak.

Skenario perbaikan dirumuskan pada setiap unit proses pada daur hidup produk untuk mengurangi dampak lingkungan. Skenario perbaikan pada unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp yaitu mengganti penggunaan pupuk urea dengan pupuk NPK 15:15:15. Skenario perbaikan pada unit budi daya rumput laut memberikan persentase perbaikan dengan penurunan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 70,73 ; 71,98 dan 62,19 %. Skenario perbaikan pada unit proses transportasi bahan baku yaitu mengganti *supplier* terdekat ke industri. Skenario perbaikan pada unit transportasi daur hidup

@Hak Cipta dan Hak Penulisan IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



produk tepung agar memberikan persentase perbaikan dengan penurunan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 43,74 ; 39,31 dan 45,61 % , dan daur hidup produk tepung karagenan memberikan persentase perbaikan dengan penurunan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 84,44 ; 84,86 dan 84,61%. Skenario perbaikan pada unit proses produksi yaitu mengganti penggunaan batu bara dengan bahan bakar gas alam berupa *Compressed Natural Gas* (CNG). Skenario perbaikan pada unit produksi tepung agar memberikan persentase perbaikan dengan penurunan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 63,18 ; 71,46 dan 25,85 % , dan unit produksi tepung karagenan memberikan persentase perbaikan dengan penurunan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 44,29 ; 58,34 dan 11,11%.

Kata kunci : asidifikasi, eutrofikasi, pemanasan global, penilaian daur hidup, tepung agar, tepung karagenan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

SITI AMINATU ZUHRIA. Life Cycle Assessment of Agar and Carrageenan Flour Product (Case Study in PT. XYZ Pasuruan). Supervised by NASTITI SISWI INDRASTI and MOHAMAD YANI.

Indonesian seaweed controls more than half of the world's seaweed. Indonesia ranks second as the largest producer of *Gracilaria* sp seaweed globally and first position as the producer of *Eucheuma cottonii* seaweed. *Gracilaria* sp and *Eucheuma cottonii* are types of red algae seaweed (*Rhodophyceae*). *Gracilaria* sp utilizes the raw material source of agar flour, while *Eucheuma cottonii* utilizes the raw material source of carrageenan flour. Agar and carrageenan flour are widely used to meet the needs of both food and non-food industries, thus encouraging the development of the seaweed industry in Indonesia.

The development of the seaweed industry has a positive impact on profits and harms the environment. The environmental impact comes from the use of raw materials and additives namely chemicals and packaging materials, the use of energy, and waste generated by the process unit. The resulting environmental impacts have the potential to pollute air, water and soil.

The method that can be used to analyze the environmental impact is life cycle assessment (LCA). LCA is a technique for assessing environmental aspects related to the life cycle of a product. This LCA study aimed to identify the inputs, outputs, and environmental impacts of the life cycle of agar and carrageenan products in PT XYZ. The scope limitation studied was *cradle to gate* starting from the procurement of raw materials, transportation, and production in the industry. The stages of the LCA study are carried out based on ISO 14040: 2016, which consists of four stages of goal and scope definition, inventory analysis, environmental impact analysis, and interpretation of results for improvement. There are three categories of environmental impacts studied, namely global warming, acidification, and eutrophication.

Based on LCA analysis on the life cycle of agar and carrageenan flour product, for 1 kg of agar flour, the environmental impact of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 26.28 kg-CO₂eq; 0.18 kg-SO₂eq and 0.03 kg-PO₄eq and 1 kg of carrageenan flour resulted in environmental effects of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 47.73 kg-CO₂eq ; 0.30 kg-SO₂eq and 0.06 kg-PO₄eq. The production process unit in the life cycle of agar and carrageenan flour product produced the largest source of emissions in the three impact categories.

The improvement scenarios were formulated for each product life cycle process unit to reduce environmental impact. The scenario for improvement in the *Gracilaria* sp seaweed cultivation process unit was replacing urea fertilizer with NPK fertilizer 15:15:15. The improvement scenario in the seaweed cultivation unit showed improvement with a decrease in the impact of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 70.73 ; 71.98 and 62.19%. The scenario for improvement in the raw material transportation process unit was replacing the closest supplier to the industry. The Scenarios of improvement in the transportation unit of the agar flour product life cycle provided the improvement with a reduction in the impact of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 43.74 ; 39.31 and 45.61%, and the life cycle of carrageenan flour product provided the

improvement with a decrease in the impact of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 84.44; 84.86 and 84.61%. The scenario for improvement in the production process unit was replacing coal with natural gas fuel namely Compressed Natural Gas (CNG). The scenario of improvement in agar flour production unit to provide a percentage of improvement with a decrease in the impact of global warming, acidification, and eutrophication respectively by 63.18 ; 71.46 and 25.85%, and the carrageenan flour production unit to provide a percentage of improvement with a decrease in the impact of global warming, acidification and eutrophication respectively by 44.29 ; 58.34 and 11.11%.

Keywords: acidification, agar flour, carrageenan flour, eutrophication, global warming, life cycle assessment.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2021 Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**PENILAIAN DAUR HIDUP (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*)
PRODUK TEPUNG AGAR DAN KARAGENAN
(STUDI KASUS DI PT. XYZ PASURUAN)**

SITI AMINATU ZUHRIA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik
pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**Penguji pada Ujian Tesis :
Dr.Andes Ismayana S.TP, M.T**

: **Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Tepung Agar dan Karagenan (Studi Kasus di PT. XYZ Pasuruan)**
: **Siti Aminatu Zuhria**
: **F351190231**

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti

Disetujui oleh



Digitally signed by:
Nastiti Siswi Indrasti
[2C5B05306D38F62E]
Date: 21 Des 2021 15:18:15 WIB
Verify at design.ipb.ac.id

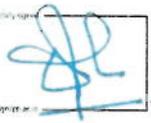
Pembimbing 2:
Dr. Ir. Mohamad Yani, M.Eng



Digitally signed by:
Moh. Yani
[20F61A0E0CA34C33]
Date: 21 Des 2021 17:31:54 WIB
Verify at design.ipb.ac.id

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Illah Sailah, MS
NIP 19580521198112001



Dekan Sekolah Pascasarjana
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng
NIP.1960041911985031002



Digitally signed by:
Anas Miftah Fauzi
[018826F0511442F]
Date: 22 Des 2021 13:12:34 WIB
Verify at design.ipb.ac.id

Tanggal Ujian: 26 November 2021

Tanggal Lulus: 22 DEC 2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus sampai bulan November 2020 ini ialah penilaian dampak lingkungan dari siklus hidup produk industri dengan judul “Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Tepung Agar dan Karagenan (Studi Kasus di PT. XYZ Pasuruan).

Terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti selaku ketua komisi pembimbing dan bapak Dr.Ir. Mohamad Yani, M.Eng selaku anggota komisi pembimbing yang penuh kesabaran dalam membimbing, mengarahkan, serta memberi saran dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini.

Ungkapan terimakasih yang tulus juga disampaikan kepada keluarga tercinta, Ayah M. Munif dan Ibunda Siti Saodah yang senantiasa tanpa henti terus memberikan dukungan dan mendoakan dalam setiap sujudnya dan lantunan doa beliau, begitu juga dengan adik tersayang ABD. Basith Isnaini Yulath dan Silvi Nor Aini serta seluruh keluarga besar penulis atas semua doa, dukungan, cinta kasih sayang, kesabaran dan pengorbanan untuk penulis selama kuliah hingga menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. Nora Herdiana Panjaitan,DEA selaku moderator seminar, Dr.Andes Ismayana S.TP, M.T yang telah berkenan menjadi penguji luar komisi dan Dr.Illah Sailah M.S selaku moderator sidang atas semua saran dan masukannya untuk kesempurnaan tesis ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Pak Saiful, Pak Junaidi sebagai responden petani rumput laut, Pak Hamzah dan karyawan PT. XYZ Kab. Pasuruan Jawa Timur yang telah membantu dalam pengambilan data selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih banyak teruntuk kak Bunga, kak Silmy dan kak Faizal yang telah memberikan pemahaman dan penggunaan *software* Simapro serta bimbingan dan *sharing* pengalamannya terkait LCA. Sahabat seperjuangan Program Studi TIP IPB 2019 khususnya Buge, Afifah, Ida, Kak Majes, Glory, Kak Firda, Roza, Amal, Afaz, dan Sukma, teman-teman organisasi khususnya kak Aini, Rara dan Sri, teman LPDP 2019 khususnya Edo, Dina dan Fitrah, Kadept AP FW Cemerlang Fikri MU, adek Laila, mbak ita, mbak Marich serta sahabat dekatku Neng Rizqiyah terima kasih atas persahabatan, kesabaran, nasehat, doa dan dukungannya untuk saling menguatkan, diskusi ilmu dan pengetahuan hingga penyelesaian tesis ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada LPDP Kementerian Keuangan RI atas beasiswa pendidikan yang diberikan dan kepada Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian (TIP) beserta jajarannya. Akhirnya hanya Allah subhanaahu wa ta'ala pemilik segala kesempurnaan, segala kekurangan dalam penulisan ini hanyalah kekhilafan penulis. Kritik dan saran ke arah yang lebih baik sangat penulis harapkan. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat dan berkontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, November 2021

Siti Aminatu Zuhria



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Industri Rumput Laut	5
2.2 Agar	6
2.3 Karagenan	8
2.4 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	10
III METODE	14
3.1 Kerangka Pemikiran	14
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	16
3.3 Jenis dan Sumber Data	16
3.4 Metode Pengumpulan Data	16
3.5 Tahapan Penelitian	17
3.6 Pengolahan dan Penyajian Data	22
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Gambaran Umum Industri PT XYZ	23
4.2 Analisis Daur Hidup Tepung Agar	24
4.3 Analisis Daur Hidup Tepung Karagenan	45
4.4 Perbandingan Proses Produksi Tepung Agar dan Karagenan di PT XYZ	65
4.5 Interpretasi dan Skenario Perbaikan	69
V SIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Simpulan	76
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	83
RIWAYAT HIDUP	90

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Kandungan gizi rumput laut <i>Gracilaria sp</i>	8
2	Kajian LCA pada berbagai produk berbasis rumput laut	13
3	Data penelitian	17
4	Nilai konversi dampak pemanasan global	20
5	Nilai konversi dampak asidifikasi	21
6	Nilai konversi dampak eutrofikasi	21
7	Data inventori proses budi daya rumput laut <i>Gracilaria sp</i>	35
8	Data inventori proses transportasi dari <i>supplier</i> ke PT XYZ	36
9	Data inventori proses produksi tepung agar di PT XYZ tahun 2019	37
10	Konsumsi listrik pada produksi tepung agar	38
11	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit proses budi daya rumput laut <i>Gracilaria sp</i>	39
12	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi bahan baku	40
13	Besaran dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi pada unit produksi tepung agar di PT XYZ berdasarkan sumber emisi	40
14	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit produksi produk	40
15	Total nilai dampak lingkungan per 1 kg tepung agar	41
16	Besaran nilai dampak pemanasan global berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar	42
17	Besaran nilai dampak asidifikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar	43
18	Besaran nilai dampak eutrofikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar	44
19	Data inventori proses budi daya rumput laut <i>Ecuheuma cottonii</i>	55
20	Data inventori proses transportasi dari <i>supplier</i> ke PT XYZ	56
21	Data inventori proses produksi tepung karagenan di PT XYZ tahun 2019	57
22	Konsumsi listrik pada produksi tepung karagenan	58
23	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi menggunakan kapal laut	59
24	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi menggunakan truk	59
25	Total besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi	60
26	Besaran dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi untuk produksi tepung karagenan di PT XYZ berdasarkan sumber emisi	60
27	Besaran nilai dampak lingkungan pada unit produksi produk	61
28	Total nilai dampak per 1 kg tepung karagenan	61
29	Besaran nilai dampak pemanasan global berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung karagenan	62
30	Besaran nilai dampak asidifikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung karagenan	63
31	Besaran nilai dampak eutrofikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung karagenan	64
32	Perbedaan tahapan proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ	66
33	Kandungan limbah padat di PT XYZ	68
34	Karakteristik limbah cair hasil produksi di PT XYZ	69
35	Identifikasi skenario perbaikan pada <i>hotspot</i> disetiap unit proses	72

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

IPB University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

36 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan jenis pupuk NPK 15:15:15	73
37 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari pemilihan <i>supplier</i> terdekat ke industri pada daur hidup tepung agar	74
38 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari pemilihan <i>supplier</i> terdekat ke industri pada daur hidup tepung karagenan	74
39 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan CNG pada daur hidup tepung agar	75
40 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan CNG pada daur hidup tepung karagenan	75

DAFTAR GAMBAR

1 Peta potensi budi daya rumput laut di Indonesia	5
2 Klasifikasi pengembangan produk di industri rumput laut	6
3 Dua fraksi utama penyusun agar	7
4 Rumput laut <i>Gracilaria</i> sp	7
5 Tiga fraksi struktur karagenan	9
6 Rumput laut <i>Euचेuma cottonii</i>	9
7 Tahapan LCA	11
8 Kerangka pemikiran penelitian	15
9 Aliran input output pada unit proses	18
10 Industri rumput laut PT XYZ	23
11 Rumput laut <i>Gracilaria</i> sp kering	27
12 Kemasan tepung agar	29
13 Diagram alir produksi tepung agar	30
14 Ruang lingkup kajian LCA produk tepung agar	34
15 Batasan sistem kajian LCA produk tepung agar	34
16 Persentase konsumsi energi listrik produksi tepung agar	37
17 Persentase jenis polutan penyebab pemanasan global	42
18 Persentase jenis polutan penyebab asidifikasi	43
19 Persentase jenis polutan penyebab eutrofikasi	44
20 Kontribusi relatif dari setiap unit proses pada kategori dampak	45
21 Rumput laut <i>Euचेuma cottonii</i> kering	48
22 Kemasan produk tepung karagenan	49
23 Diagram alir produksi tepung karagenan	51
24 Ruang lingkup kajian LCA tepung karagenan	54
25 Batasan sistem kajian LCA tepung karagenan	54
26 Persentase konsumsi listrik pada produksi tepung karagenan	57
27 Persentase jenis polutan penyebab dampak pemanasan global	62
28 Persentase jenis polutan penyebab asidifikasi	63
29 Persentase jenis polutan penyebab eutrofikasi	64
30 Kontribusi relatif dari setiap unit proses pada kategori dampak	65
31 Perbandingan konsumsi energi listrik pada produksi tepung agar dan karagenan	67
32 Lokasi penimbunan limbah padat di PT XYZ	67

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



33 Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di PT XYZ	69
34 Perbandingan nilai dampak lingkungan pada produksi tepung agar dan karagenan	70
35 Sumber emisi penyebab dampak lingkungan produksi tepung agar	70
36 Sumber emisi penyebab dampak lingkungan produksi tepung karagenan	71

DAFTAR LAMPIRAN

Layout tempat produksi di PT XYZ	84
Diagram hasil analisis dampak pemanasan global pada produk tepung agar	85
Diagram hasil analisis dampak asidifikasi pada produk tepung agar	86
Diagram hasil analisis dampak eutrofikasi pada produk tepung agar	87
Diagram hasil analisis dampak pemanasan global pada produk tepung karagenan	87
6 Diagram hasil analisis dampak asidifikasi pada produk tepung karagenan	88
7 Diagram hasil analisis dampak eutrofikasi pada produk tepung karagenan	88
8 Dokumentasi gambaran umum kegiatan penelitian	89

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumput laut atau *seaweed* adalah salah satu jenis biota perairan yang menjadi komoditas unggulan di perairan Indonesia. Rumput laut merupakan makro *algae* dan termasuk dalam divisi *thallophyta*, yaitu tumbuhan yang mempunyai struktur kerangka tubuh yang terdiri dari batang/*thallus* dan tidak memiliki daun serta akar (Sudarwati *et al.* 2020). Indonesia merupakan negara kepulauan yang potensial untuk pengembangan budi daya rumput laut (Erlania dan Radiarta 2017). Potensi luas areal budi daya rumput laut yang tercatat pada tahun 2018 mencapai 1,1 juta ha atau 9% dari seluruh luas kawasan potensial laut sebesar 12.123.383 ha. Adapun tingkat pemanfaatannya diperkirakan baru mencapai 25% (KKP 2019).

Perairan Indonesia memiliki kurang lebih 555 jenis rumput laut (Syamdi *et al.* 2011). Klasifikasi rumput laut berdasarkan pigmennya terdiri empat kelas yaitu rumput laut merah (*Rhodophyta*), rumput laut hijau (*Chlorophyta*), rumput laut coklat (*Phaeophyta*) dan rumput laut pirang (*Chrysophyta*) (Suparmi dan Sahri 2013). Beragam jenis rumput laut tersebut dibudidayakan, dikembangkan dan diperdagangkan secara luas di Indonesia. Proses budi daya rumput laut di Indonesia menyesuaikan dengan kebutuhan biologis dan pertumbuhan rumput laut, sehingga mampu menghasilkan rumput laut yang kaya akan polisakarida, *phaephyceae* dan *chlorophyceae*. Rumput laut Indonesia dikenal dengan kualitasnya yang baik dan diminati oleh banyak industri karena mengandung sumber agar, karagenan dan alginate yang cukup tinggi (KKP 2018).

Potensi rumput laut memiliki peranan penting dalam meningkatkan pendapatan masyarakat daerah, khususnya masyarakat pesisir di Indonesia (Mariño *et al.* 2019). Rumput laut memiliki nilai ekonomi pasar yang kompetitif baik di pasar domestik maupun ekspor (Tombolotutu *et al.* 2019). Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor besar produk rumput laut di dunia. Data yang dilaporkan oleh *International Trade Center (ITC)* pada tahun 2018, nilai ekspor rumput laut mencapai USD 294 509 000 atau setara dengan Rp 3,98 triliun (Kurs USD 1 = Rp. 13 500) dengan volume ekspor 689 456 ton (Ditjen Penguatan Daya Produk Kelautan dan Perikanan 2019). Jenis rumput laut yang cukup potensial untuk diperdagangkan dan banyak dijumpai di perairan Indonesia adalah yaitu *Gracilaria* sp (Susilowati *et al.* 2019) dan *Eucheuma cottonii* (Buschmann *et al.* 2017; Wijayanto *et al.* 2020). *Gracilaria* sp termasuk jenis rumput laut merah (*Rhodophyceae*) yang menjadi sumber bahan baku produk olahan rumput laut berupa produk agar (Ashila *et al.* 2021), sedangkan *Eucheuma cottonii* merupakan jenis rumput laut merah yang banyak dikembangkan sebagai bahan baku utama untuk produk karagenan (Distantina *et al.* 2013).

Rumput laut Indonesia menguasai lebih dari separuh rumput laut dunia (Darmawan *et al.* 2013). Indonesia menempati peringkat kedua terbesar dunia sebagai produsen *Gracilaria* sp (Salim dan Ernawati 2015; Purnomo *et al.* 2020) dan posisi pertama sebagai produsen *Eucheuma cottonii* (Waldron *et al.* 2021). Potensi rumput laut Indonesia yang cukup besar, banyak dimanfaatkan di berbagai industri diantaranya industri pangan, farmasi, kosmetik, pakan, pupuk, kertas dan bionergi (Gomez *et al.* 2019). Berbagai pemanfaatan olahan rumput laut untuk

memenuhi berbagai kebutuhan industri baik pangan maupun non pangan memacu pengembangan industri rumput laut di Indonesia.

Berdasarkan Peta Panduan (*Roadmap*) Pengembangan Industri Rumput laut Nasional Tahun 2018-2021, menurut Kementerian Perindustrian terdapat 14 perusahaan produksi agar dengan kemampuan produksi 7.658 ton/tahun dan terdapat 23 perusahaan produksi karagenan dengan kemampuan produksi 25.992 ton/tahun (Perpres No 33 Tahun 2019). Produksi agar menyerap rumput laut sebesar 18%, sedangkan produksi karagenan menyerap rumput laut sebesar 17% (Sudarwati *et al.* 2020). Pengembangan budi daya rumput laut dengan pendekatan industri dimulai dari hulu (budi daya) sampai hilir (produk jadi). Kegiatan pengolahan rumput laut di industri bertujuan untuk menciptakan suatu produk baru yang memiliki nilai tambah lebih tinggi dari sekedar bahan mentah. Hilirisasi rumput laut memicu peluang bisnis di industri yang memproduksi produk turunan dari rumput laut seperti agar dan karagenan. Produksi agar dapat meningkatkan nilai tambah hingga 9 kali lipat dari bahan baku sedangkan produksi karagenan dapat meningkatkan nilai tambah hingga 12 kali lipat (KKP 2018).

PT XYZ merupakan salah satu industri rumput laut yang mengolah rumput laut *Gracilaria* sp untuk produksi tepung agar, dan rumput laut *Eucheuma cottonii* untuk produksi tepung karagenan. Produksi tepung agar dan karagenan tidak hanya menghasilkan produk, namun juga menghasilkan limbah dan emisi. Limbah yang dihasilkan berupa limbah cair, limbah padat dan emisi udara yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair dihasilkan dari proses pencucian dan presipitasi ekstrak rumput laut. Limbah cair dari produk olahan rumput laut karagenan memiliki karakteristik berwarna cokelat kehitaman dengan pH sangat tinggi sekitar 12-13 dan mengandung kadar kalium tinggi sekitar 1-7% (Ariani *et al.* 2015). Limbah padat berasal dari pemisahan ekstrak rumput laut dari padatnya, sedangkan emisi udara berasal dari beberapa proses produksi seperti proses pembakaran pada *boiler* dan proses pengeringan rumput laut. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis dampak lingkungan dari kegiatan produksi tepung agar dan karagenan.

Metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dampak lingkungan dari suatu produk adalah *life cycle assessment* (LCA). LCA merupakan teknik untuk menilai aspek lingkungan yang terkait dengan siklus hidup suatu produk (Muralikrishna dan Manickam 2017). Metode LCA membutuhkan beberapa data diantaranya data *input* dan *output* secara lengkap meliputi data bahan baku, proses produksi, transportasi, hasil samping, dan dampak lingkungan. Menurut SNI ISO 14040 : 2016, kajian LCA terdiri atas empat tahapan yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak dan interpretasi. Penggunaan metode LCA tersebut mampu mengevaluasi dampak lingkungan secara terperinci, karena memungkinkan adanya langkah kerja analitis dalam penerapannya untuk mengkaji keseluruhan dampak lingkungan seperti adanya limbah cair, limbah padat, emisi udara serta pemanfaatan dari limbah hasil proses produksi agar dan karagenan.

Metode LCA telah banyak dilakukan di berbagai negara sebagai metode penilaian daur hidup dari suatu produk atau jasa. Standar LCA di Indonesia, telah diadopsi menjadi SNI 14040:2016 dan SNI 14044:2017. Hal ini merupakan bentuk komitmen pemerintah Indonesia dalam penerapan LCA dan mendukung program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup

(PROPER) yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 1 Tahun 2021.

Kajian LCA berbasis rumput laut sebagian besar telah dilakukan untuk produk *biofuel* (Nakhate dan Meer 2021) seperti biomassa, biodiesel, biogas, biomethane dan *single cell oil* (Urban dan Bakshi 2009; Cappelli *et al.* 2015; Gnansounou dan Kenthorai 2016; Czyrnek *et al.* 2017; Parsons *et al.* 2019), sedangkan produk olahan rumput laut berupa tepung masih minim dilakukan. Produk tepung agar dan karagenan merupakan produk hasil olahan rumput laut yang sebagian besar dimanfaatkan untuk produk olahan makanan dan minuman. Hal ini menjadi celah riset dilakukannya kajian LCA berbasis rumput laut untuk produk tepung agar dan karagenan. Hasil penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai informasi yang sangat bermanfaat dalam pengembangan produk turunan dari tepung agar dan karagenan secara komprehensif, sehingga mewujudkan industri produk olahan rumput laut yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Produk tepung agar dan karagenan merupakan produk hasil ekstraksi rumput laut merah yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai produk hilir. Proses produksi tepung agar dan karagenan menghasilkan dampak lingkungan dari siklus hidupnya dari mulai proses budi daya rumput laut, transportasi bahan dan proses produksi. Dampak lingkungan dihasilkan dari penggunaan bahan material, sumber energi dan limbah yang dihasilkan. Penggunaan bahan dan sumber energi menjadi *input* yang akan mempengaruhi *output* berupa limbah dan emisi yang menimbulkan dampak lingkungan suatu produk, karena hasil perhitungan dampak bergantung dari jumlah *input* yang digunakan. Kajian LCA yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan rekomendasi perbaikan untuk produk atau proses produksi, dan meminimalisir limbah dalam penurunan emisi dan dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu produk.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas maka dapat dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apa yang menjadi *input* (sumber daya dan energi) dan *output* (produk, produk samping, emisi dan limbah) yang dihasilkan pada daur hidup tepung agar dan karagenan?
2. Berapa nilai dampak lingkungan dan sumber dampak potensial (*hotspot*) yang dihasilkan dari daur hidup tepung agar dan karagenan?
3. Apa saja skenario rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk menurunkan dampak lingkungan dari daur hidup tepung agar dan karagenan?

1.3 Tujuan

Tujuan umum dari penelitian ini adalah menganalisis daur hidup produk tepung agar dan karagenan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan persepektif *cradle to gate*. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi *input* (sumber daya dan sumber energi) yang digunakan dan *output* (produk, produk samping, emisi dan limbah) yang dihasilkan dari produksi produk tepung agar dan karagenan.

2. Menghitung nilai dampak lingkungan dari daur hidup tepung agar dan karagenan dan menentukan *hotspot*nya.
3. Merekomendasikan skenario perbaikan untuk mengoptimalkan proses atau produk, dan mengurangi dampak lingkungan dari daur hidup tepung agar dan karagenan.

1.4 Manfaat

Penerapan LCA di industri pengolahan rumput laut diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait *input* dan *output* yang digunakan pada daur hidup tepung agar dan karagenan dan dampak yang dihasilkan.
2. Memberikan informasi yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengoptimalkan proses produksi dan pengendalian terhadap *hotspot* dampak lingkungan yang dihasilkan.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan sebagai bahan dasar dalam mengambil kebijakan untuk mengembangkan berbagai program peningkatan kinerja dari produk turunan berbasis tepung agar dan karagenan, dan mewujudkan agroindustri olahan rumput laut yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup

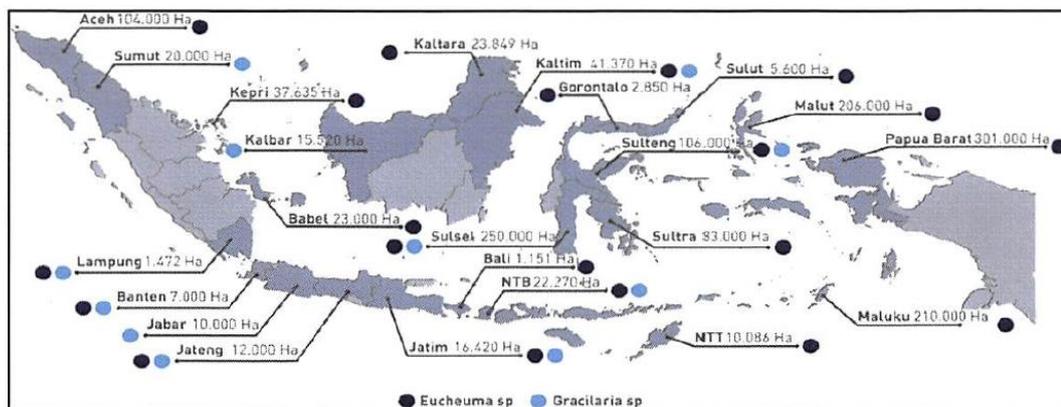
Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan bersifat studi kasus yang dibatasi pada kegiatan budi daya rumput laut, transportasi bahan baku ke unit pengolahan dan proses produksi di industri rumput laut.
2. Produk yang dikaji berupa tepung agar dari rumput laut jenis *Gracilaria* sp dan tepung karagenan dari rumput laut jenis *Eucheuma cottonii*.
3. Perhitungan dampak lingkungan dilakukan dengan menggunakan *software* SIMAPRO versi 9.1.1.7 *Faculty* metode CML 2001-IA *baseline* V3.06.
4. Dampak lingkungan yang dikaji yaitu pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi.
5. Skenario perbaikan dilakukan berdasarkan hasil diskusi dengan *stakeholder* terkait dan studi literatur dari hasil penilaian LCA yang telah dikaji.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Rumput Laut

Rumput laut atau yang lebih di kenal dengan *seaweed* merupakan tumbuhan berklorofil dimana seluruh bagian tanaman dapat menyerupai akar, batang, daun, atau buah yang semuanya disebut talus. Indonesia merupakan negara yang potensial untuk pengembangan budi daya dan industri pengolahan rumput laut (KKP 2018). Potensi luas areal budi daya rumput laut tercatat 1,1 juta Ha atau 9% dari seluruh luas kawasan potensial budi daya laut yang sebesar 12.123.383 Ha (KKP 2019). Potensi areal budi daya rumput laut di Indonesia tersebar di 23 provinsi. Budi daya rumput laut jenis *Eucheumaa cottonii* tersebar di 20 provinsi, sedangkan budi daya rumput laut jenis *Gracilaria sp* tersebar di 11 provinsi. Peta potensi budi daya rumput laut dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) 2018

Gambar 1 Peta potensi budi daya rumput laut di Indonesia

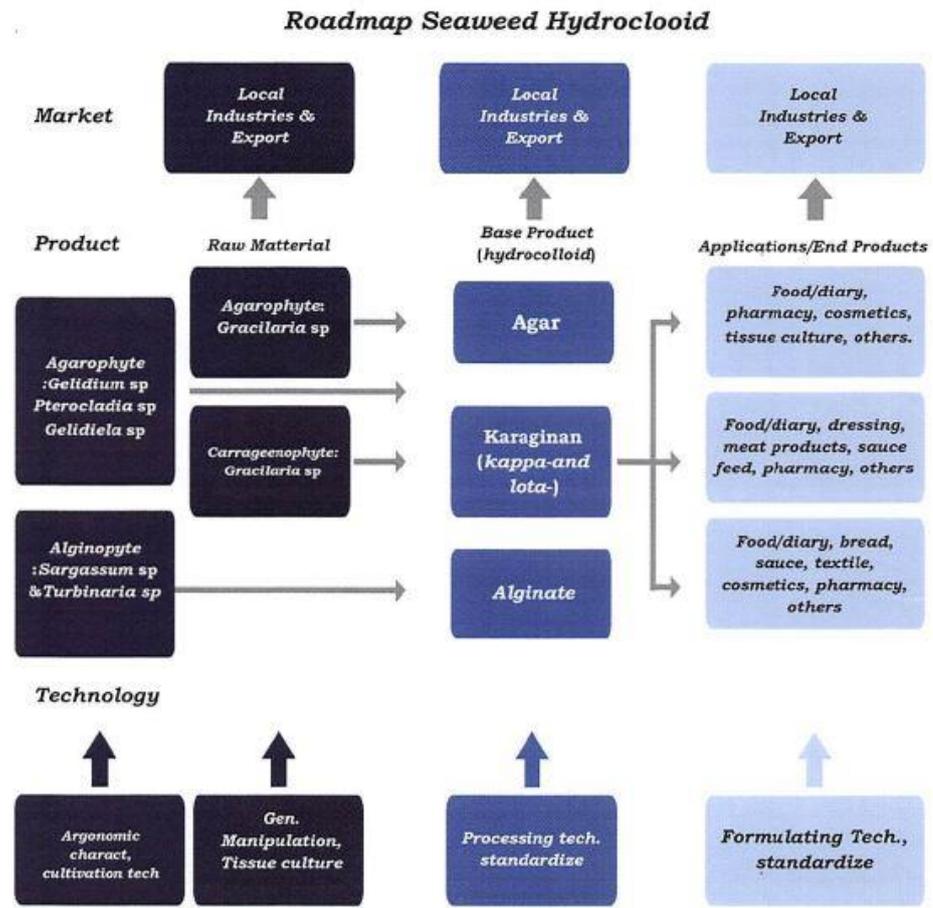
Indonesia memiliki sekitar 555 jenis rumput laut dari sekitar 8000 jenis yang ada di dunia dan dapat tumbuh dengan baik di wilayah Indonesia. Rumput laut Indonesia yang paling berpotensi untuk dibudidayakan, dikembangkan dan diperdagangkan adalah :

1. *Eucheuma cottonii* : penghasil karagenan
2. *Gracilaria sp* : penghasil agar
3. *Eucheuma spinosum* : penghasil karagenan
4. *Caulerpa sp* : antioksidan, anti hipertensi, pencegah rematik, antimikroba, anti tumor dan meningkatkan stamina.

Potensi rumput laut yang cukup besar membuat pemerintah berkomitmen untuk menjadikan kelautan sebagai salah satu sumber pangan nasional, serta keinginan untuk mendorong adanya hilirisasi rumput laut membuat peluang bisnis di industri rumput laut (KKP 2018). Pengembangan rumput laut dengan pendekatan industri dimulai dari hulu (budi daya). Pada tahap selanjutnya, pengolahan produk dasar menjadi produk formulasi menghasilkan produk turunan yang sangat banyak baik produk pangan maupun non-pangan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Pengembangan produk di industri rumput laut membutuhkan pasar baik lokal maupun ekspor. Jenis produk olahan rumput laut disesuaikan dengan kebutuhan pasar dan menggunakan teknologi yang tepat. Klasifikasi pengembangan produk di industri rumput laut dari produk hulu sampai hilir dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber : Perpres RI No 33 Tahun (2019)

Gambar 2 Klasifikasi pengembangan produk di industri rumput laut

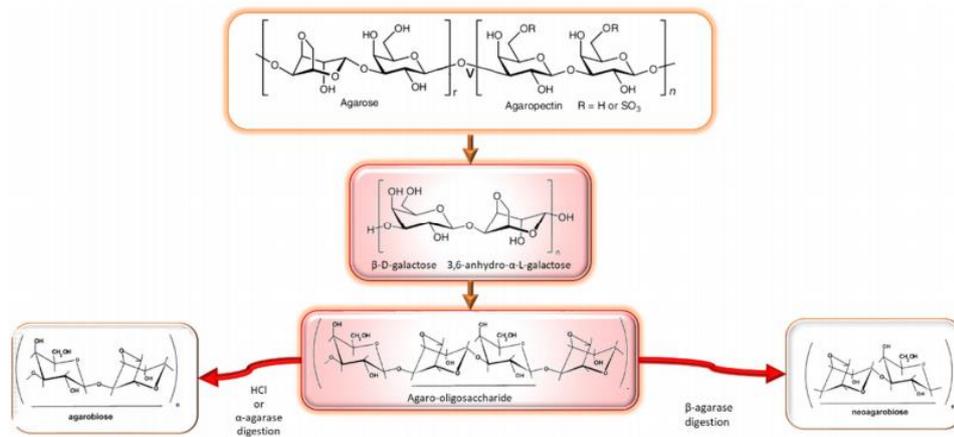
Produk olahan dan produk turunan di industri rumput laut memberikan andil dalam memberdayakan kehidupan masyarakat di Indonesia khususnya wilayah pesisir. Pengembangan usaha industri rumput laut dapat dilakukan dalam skala usaha mikro, kecil dan menengah (UMKM), koperasi maupun skala besar. Industri rumput laut memiliki peran sebagai lokomotif dalam penciptaan kesempatan kerja (*pro-job*), kesejahteraan masyarakat (*pro-poor*), pendorong pertumbuhan ekonomi (*pro-growth*) dan pelestarian lingkungan (*pro-environment*) (Perpres RI No 33 Tahun 2019).

2.2 Agar

Agar merupakan polisakarida yang disusun dari dua fraksi utama yaitu agarosa dan agaropektin (Gambar 3). Agarosa adalah polisakarida netral dengan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

struktur linier dari ulangan unit agarobiosa yaitu disakarida terdiri dari D-galaktosa dan 3,6-anhidro-L-galaktosa. Agaropektin adalah polisakarida asam berisi gugus sulfat, asam piruvat dan D-glukuronat asam yang terkonjugasi pada agarobiosa (Torres *et al.* 2019).



Gambar 3 Dua fraksi utama penyusun agar (Kazłowski *et al.* 2008; Torres *et al.* 2019)

Agar diperoleh dari hasil ekstraksi salah satu dinding ganggang merah (*Rhodophyta*) genus *Gracilaria* sp (Gambar 4) (Hendri *et al.* 2017). Rumput laut *Gracilaria* sp merupakan jenis rumput laut yang paling banyak digunakan dalam produksi agar (Ashila *et al.* 2021). Hal ini karena *Gracilaria* sp mudah diperoleh, harga yang ekonomis dan jauh lebih mudah dalam pengolahannya (Yulistiana *et al.* 2020). Menurut Anggadiredja *et al.* (2006) klasifikasi rumput laut jenis *Gracilaria* sp adalah sebagai berikut :

Divisi	: Rhodophyta
Kelas	: Rhodophyceae
Ordo	: Gigartinales
Famili	: Gracilariaceae
Genus	: <i>Gracilaria</i>
Spesies	: <i>Gracilaria</i> sp



Gambar 4 Rumput laut *Gracilaria* sp

Budi daya rumput laut jenis *Gracilaria* sp memanfaatkan lahan tambak dengan sistem budi daya secara polikultural (udang, bandeng dan rumput laut) (Marzuki *et al.* 2014). Metode untuk budi daya rumput laut jenis *Gracilaria* sp



dapat dilakukan dengan metode tebar, lepas dasar, dan rawai (*long line*) (Hendri *et al.* 2017). Ketiga metode budi daya tersebut, umumnya yang banyak digunakan yaitu metode tebar yang biayanya lebih murah dan dilakukan di tambak dengan sistem polikultur dengan udang dan bandeng. Keuntungan budi daya rumput laut di tambak salah satu fungsinya menghasilkan oksigen dalam air sebagai filter. Apabila dilihat dari masa atau waktu produksi untuk budi daya rumput laut *Gracilaria* sp membutuhkan waktu yang relatif singkat sekitar 45 hari (Perpres RI Nomor 33 Tahun 2019). Rumput laut jenis *Gracilaria* sp memiliki kandungan gizi yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kandungan gizi rumput laut *Gracilaria* sp

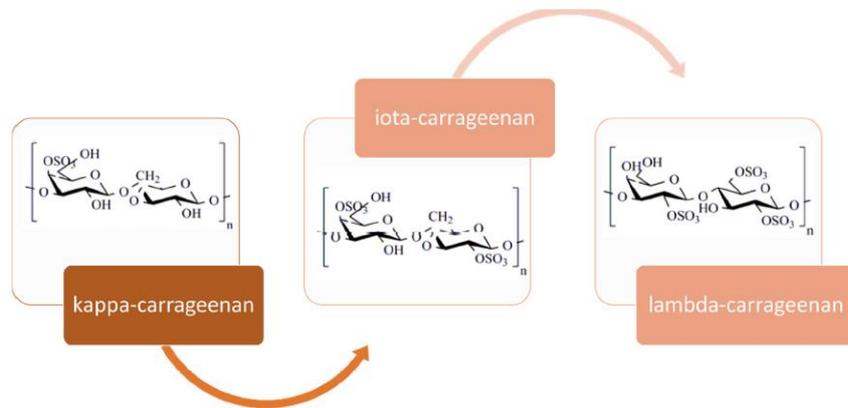
Komposisi	Satuan	Hasil
Kadar air	% bb	88,65
Kadar abu	% bk	17,09
Kadar lemak	% bk	3,17
Kadar protein	% bk	16,83
Kadar karbohidrat	% bk	62,91
Serat kasar	% bk	1,10
Serat pangan total	% bb	11,20
Iodium	ppm, bk	54,27

Keterangan : bb = basis basah, bk = basis kering
Sumber : Amalia (2016)

Gracilaria sp merupakan salah satu spesies dari rumput laut kelas *Rhodophyceae* yang memiliki nilai ekonomis dan banyak dimanfaatkan untuk bahan baku produksi agar. Agar yang diekstraksi dari rumput laut merah dapat diolah menjadi bentuk tepung, lembaran atau batangan (KKP 2018). Sekitar 90% produk agar dimanfaatkan di industri makanan dan minuman sebagai penstabil, pengental dan pembentuk gel, sedangkan 10% lainnya dimanfaatkan sebagai media bakteriologi, elektroforesis gel, kromatografi, imunologi dan imobilisasi enzim (Reddy *et al.* 2018). Secara umum, proses produksi agar meliputi pra perlakuan, ekstraksi, filtrasi, konsentrasi dan dehidrasi (Hernández *et al.* 2013).

2.3 Karagenan

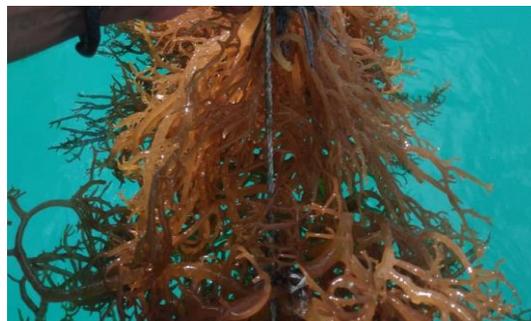
Karagenan merupakan senyawa hidrokoloid yang terdiri atas ester kalium, natrium, magnesium dan kalium sulfat dengan galaktosa 3,6 anhidrogallaktosa kopolimer (Torres *et al.* 2019). Karagenan terdapat pada dinding sel rumput laut dengan komponen penyusun terbesar dibandingkan dengan komponen yang lain. Berdasarkan strukturnya, karagenan dapat dibagi menjadi tiga fraksi diantaranya kappa, iota dan lamda karagenan (Gambar 5).



Gambar 5 Tiga fraksi sturuktur karagenan (Pereira *et al.* 2013; Torres *et al.* 2019)

Tepung karagenan diperoleh dari hasil ekstraksi rumput laut merah jenis *Eucheuma cottonii* (Distantina *et al.* 2013). Menurut Amora dan Sukei (2013) taksonomi rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* (Gambar 6) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Rhodophyta
Kelas	: Rhodophyceae
Ordo	: Gigartinales
Famili	: Solieriaceae
Genus	: <i>Eucheuma</i>
Spesies	: <i>Eucheuma cottonii</i>



Gambar 6 Rumput laut *Eucheuma cottonii*

Eucheuma cottonii merupakan salah satu jenis rumput laut alga merah yang cukup potensial dan banyak dibudidayakan di perairan Indonesia. *Eucheuma cottonii* memiliki nilai ekonomis dan nilai jual yang tinggi (Wijayanto *et al.* 2011). Budi daya rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dilakukan dengan sistem monokultur di perairan laut. Metode untuk proses budi daya rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dapat dilakukan dengan lima metode diantaranya lepas dasar, rakit apung, rawai (*long line*), jalur (kombinasi) dan kantong jaring (Perpres RI No 33 Tahun 2019).

Rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* mengandung air 76,15 %, abu 5,62%, protein 2,32%, lemak 0,11% dan karbohidrat 15,80% dengan senyawa bioaktif yang terdiri dari flavonoid, fenol, hidrokuinon triterpenoid (Maharany *et al.* 2017;

Safia *et al.* 2020). Salah satu pemanfaatan hasil ekstraksi rumput laut *Eucheuma cottonii* adalah produk karagenan yang dimanfaatkan sebagai stabilisator (*stabilizer*), bahan pengental (*thickener*), pembentuk gel dan pengemulsi (Fathmawati *et al.* 2014 ; KKP 2018). Secara umum metode ekstraksi untuk proses produksi karagenan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode alkohol dan metode tekan atau *press* (Dewi *et al.* 2012). Proses produksi karagenan didasarkan pada beberapa tahapan meliputi tahap pencucian untuk menghilangkan kotoran seperti pasir, ekstraksi, filtrasi, presipitasi, pengeringan dan penggilingan (Torres *et al.* 2019).

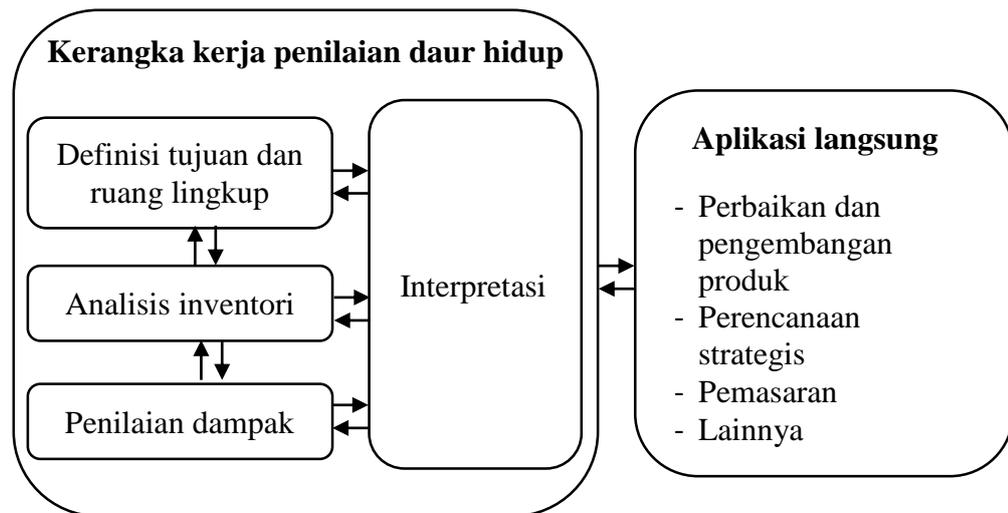
2.4 Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment atau penilaian siklus hidup adalah metodologi holistik yang mengidentifikasi dampak sistem produksi pada lingkungan. Hasil LCA dapat digunakan untuk mengidentifikasi proses tertentu yang dapat ditingkatkan untuk meminimalkan dampak dan mengoptimalkan produksi (Seghetta dan Goglio 2018). Menurut SNI ISO 14040 : 2016, LCA dapat membantu dalam beberapa hal diantaranya mengidentifikasi peluang untuk memperbaiki kinerja lingkungan dari produk di berbagai titik dalam daur hidupnya, menginformasikan kepada pengambil keputusan di industri, pemilihan indikator yang relevan dari kinerja lingkungan dan pemasaran.

Metode LCA membahas aspek lingkungan dan dampak lingkungan potensial misalnya penggunaan sumber daya dan konsekuensi lingkungan dari lepasan. LCA mengidentifikasi sepanjang daur hidup produk dari akuisisi bahan baku, produksi, penggunaan, pengolahan akhir, daur ulang dan pembuangan akhir. Prinsip – prinsip dalam melakukan kajian LCA diantaranya :

1. Perspektif daur hidup, LCA mempertimbangkan keseluruhan daur hidup produk, mulai dari proses ekstraksi dan akuisisi bahan baku, produksi, penggunaan hingga pengolahan dan pembuangan akhir.
2. Fokus lingkungan, LCA membahas aspek dan dampak lingkungan dari produk.
3. Pendekatan relatif dan unit fungsi, yaitu LCA adalah pendekatan relatif yang terstruktur berdasarkan unit fungsi. Unit fungsi mendefinisikan hal yang dikaji.
4. Pendekatan berulang, setiap tahapan dalam LCA menggunakan hasil dari tahapan lainnya.
5. Transparansi, LCA bersifat kompleks dan transparansi menjadi prinsip penting dalam memandu pembuatan LCA untuk memastikan bahwa interpretasi hasil dapat dilakukan dengan cara yang sesuai.
6. Komprehensif, LCA mempertimbangkan semua atribut atau aspek lingkungan alam, kesehatan manusia dan sumber daya.
7. Prioritas pendekatan ilmiah, keputusan dalam LCA lebih diinginkan didasarkan pada kaidah ilmu alam, apabila tidak memungkinkan maka keputusan boleh diambil berdasarkan pilihan nilai, sesuai dengan keperluannya.

Berdasarkan *Principles and Framework* LCA pada SNI ISO 14040 : 2016 ada empat tahapan dalam kajian LCA yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup (*Goal and scope definition*), analisis inventori (*inventory analysis*), penilaian dampak lingkungan (*Life cycle impact assessment*) dan interpretasi (*interpretation*). Hubungan antar tahapan LCA tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Tahapan LCA (Sumber : SNI ISO 14040 : 2016)

2.4.1 Penentuan tujuan dan ruang lingkup (*Goal and scope definition*)

Tahapan awal dari kajian LCA adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup yang akan dikaji, dan unit (satuan) fungsi yang akan digunakan. Menurut GaBi (2011) ada empat pilihan utama untuk menentukan ruang lingkup atau batasan sistem yang akan digunakan pada kajian LCA yaitu :

1. *Cradle to grave* : mencakup semua proses dari mulai proses ekstraksi bahan baku (termasuk bahan dan energi dari semua proses) melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya.
2. *Cradle to gate* : mencakup semua proses dari mulai proses ekstraksi bahan baku hingga tahap produksi (proses di pabrik), yang digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari proses produksi suatu produk.
3. *Gate to grave* : mencakup semua proses dari penggunaan setelah proses produksi hingga tahap akhir siklus hidup suatu produk, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan suatu produk setelah keluar dari pabrik.
4. *Gate to gate* : mencakup proses dari tahap produksi saja, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu langkah atau proses produksi.

2.4.2 Analisis inventori

Tahapan analisis inventori dimulai dari mengidentifikasi proses yang relevan dalam sistem produk, selanjutnya mengumpulkan data dari *input* dan *output* pada setiap proses untuk setiap unit fungsional yang telah ditentukan. Pengumpulan data disesuaikan dengan unit suatu proses menggunakan tabel inventori dan diagram alir proses untuk mengetahui *input* dan *output*. Data *input* meliputi penggunaan sumber daya dan energi, sedangkan data *output* meliputi produk samping, limbah atau emisi (Finnveden dan Potting 2014).

2.4.3 Penilaian dampak lingkungan atau *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)

Penilaian dampak lingkungan atau *Life Cycle Impact Assessment* bertujuan untuk memberikan informasi dan mengetahui dampak lingkungan yang mungkin terjadi selama siklus hidup dari suatu produk. Besaran nilai dampak lingkungan diperoleh berdasarkan identifikasi dari *input* dan *output* dari sistem produk pada tahapan analisis inventori. Besaran dampak dari suatu sistem merupakan nilai selisih antara kualitas lingkungan tanpa adanya proyek dengan kondisi kualitas lingkungan sebagai akibat adanya proyek (Baumann dan Tillman 2013). Pada tahap LCIA terbagi menjadi beberapa tahapan analisis yaitu (Vogtländer 2010; Windrianto *et al.* 2016) :

1. Klasifikasi dan karakterisasi
Klasifikasi merupakan langkah untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan substansi yang berasal dari LCI ke dampak yang heterogen, sedangkan karakterisasi merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori.
2. Normalisasi
Tahapan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori dampak pada seluruh masalah lingkungan untuk menciptakan satuan yang seragam, untuk semua kategori *impact* dengan mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai normal.
3. Pembobotan
Pembobotan didapatkan dengan mengalikan kategori *impact* dengan faktor pembobotan dan ditambahkan untuk mendapatkan nilai total.
4. *Single score*
Pengklasifikasian nilai kategori *impact* berdasarkan suatu aktivitas atau proses. Nilai *single score* akan menunjukkan aktivitas yang memiliki kontribusi terhadap lingkungan.

Beberapa kategori dampak lingkungan yang dapat dikaji dalam kajian LCA diantaranya perubahan iklim akibat gas rumah kaca, asidifikasi, eutrofikasi, penipisan ozon, toksisitas manusia, partikulat, radiasi pengion, oksidan fotokimia, toksisitas terhadap lingkungan, penggunaan lahan, penggunaan air dan penggunaan sumber daya abiotik (Klopffer dan Grahl 2014).

2.4.4 Interpretasi hasil dan rekomendasi perbaikan

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil akhir kajian berdasarkan hasil analisis inventori dan penilaian dampak. Interpretasi hasil digunakan sebagai dasar untuk merekomendasikan usulan perbaikan atau pengambilan kesimpulan sesuai dengan definisi tujuan dan ruang lingkup kajian yang telah di tentukan.

Kajian LCA telah banyak dilakukan untuk beberapa industri seperti industri kelapa sawit, industri tebu, industri gula dan lainnya. LCA berbasis rumput laut telah dilakukan dengan jenis rumput laut, ruang lingkup dan variabel yang berbeda. Akan tetapi, kajian LCA produk olahan rumput laut berbentuk tepung masih terbatas, baik di Indonesia maupun di luar negeri.

Kajian LCA berbasis rumput laut untuk produk makanan masih terbatas, karena LCA berbasis rumput laut banyak difokuskan untuk produk bahan bakar atau *biofuel* (Nakhate dan Meer 2021). Beberapa penelitian yang mengkaji dampak

lingkungan dengan metode LCA untuk produk berbasis rumput laut dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kajian LCA pada berbagai produk berbasis rumput laut

Penulis	Kajian LCA	Unit Fungsi	Ruang Lingkup	Dampak
Oirschot <i>et al.</i> (2017)	<i>LCA for system design of Seaweed cultivation and drying</i>	1 ton protein production from dried seaweed	<i>Cradle-to-Gate</i>	OLD, HTP, FAETP, MAETP, TETP, AD, EP, CC
Gnansounou & Kenthorai (2016)	<i>LCA of Algal Biodiesel and co-products</i>	1 kg Biodiesel	<i>Cradle-to-Grave</i>	Land use, GHG, FD
Cappelli <i>et al.</i> (2015)	<i>LCA of Biogas production from co-digestion of macroalgae</i>	1 m ³ of biogas	<i>Cradle-to-Grave</i>	CC, ME, FD, FWE, Land use
Czyrnek <i>et al.</i> (2017)	<i>LCA of Seaweed into Biomethane</i>	1 MJ of compressed Biomethane	<i>Cradle-to-Gate</i>	GWP, AP, FAETP, TETP, MAETP
Parsons <i>et al.</i> (2019)	<i>LCA of Macroalgae derived single cell oil</i>	1 t single cell oil	<i>Cradle-to-Gate</i>	CC, FAETP, MAETP, HT, TETP, WD

Keterangan : OLD (*Ozone Layer Depletion*), HTP (*Human Toxicity Potential*), FAETP (*Fresh Aquatic Eco-toxicity Potential*), MAETP (*Marine Aquatic Eco-toxicity Potential*), AD (*Abiotic Depletion*), EP (*Eutrophication Potential*), CC (*Climate Change*), GHG (*Green House Gas*), GWP (*Global Warming Potential*), ME (*Marine Eutrophication*), FD (*Fossil Depletion*), FEW (*Fresh Water Eutrophication*), TETP (*Terrestrial Eco-toxicity Potential*), HT (*Human Toxicity*), WD (*Water Depletion*).



III METODE

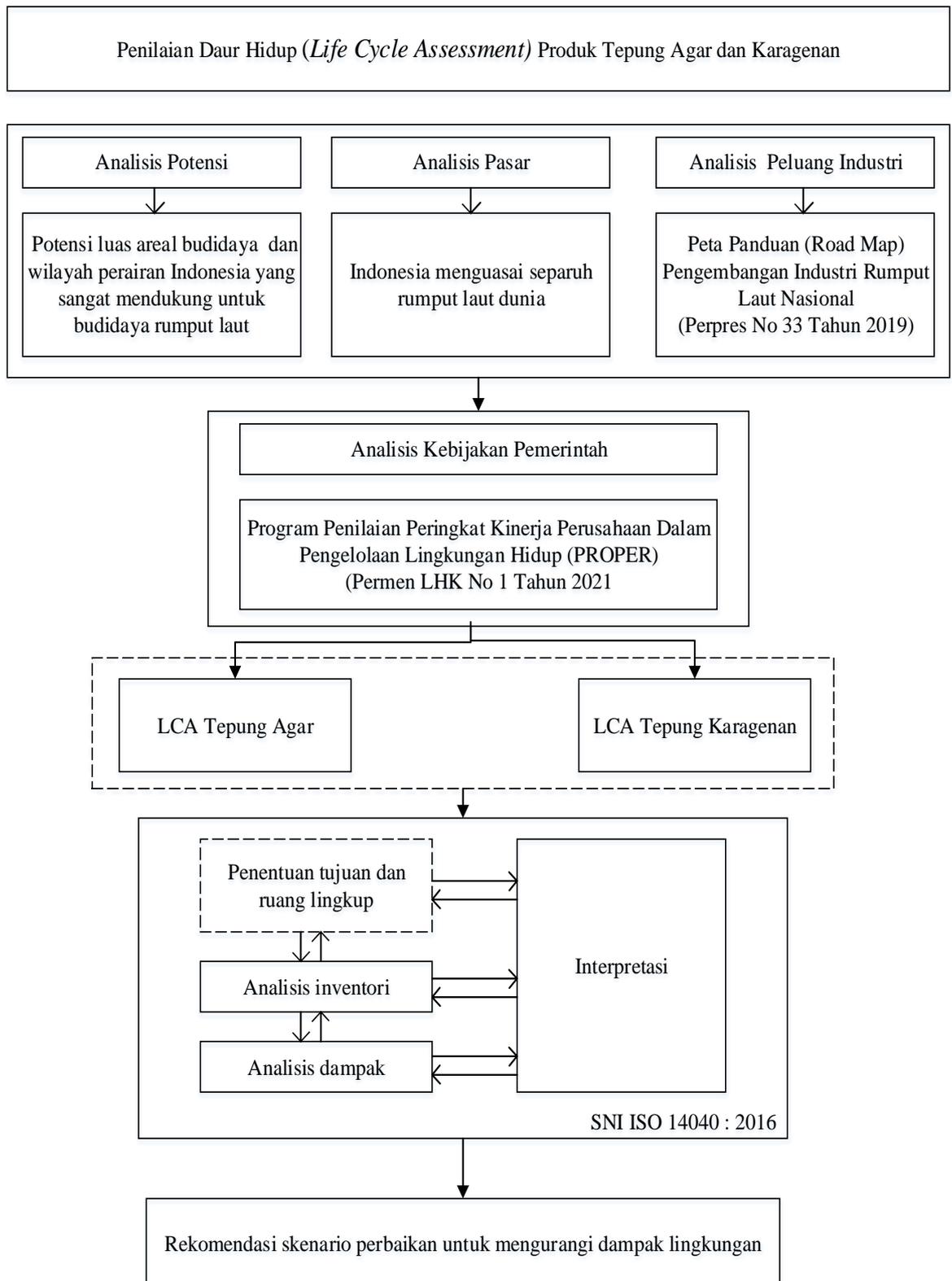
3.1 Kerangka Pemikiran

Indonesia menguasai lebih dari separuh rumput laut dunia. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai penghasil utama rumput laut dunia. Perdagangan komoditas rumput laut di pasar dunia, Indonesia menjadi peringkat kedua sebagai produsen jenis rumput laut *Gracilaria* sp dan menempati posisi pertama sebagai produsen jenis rumput laut *Eucheuma cottonii*. Jenis rumput laut *Gracilaria* sp dan *Eucheuma cottonii* tumbuh subur di sebagian besar wilayah Indonesia. *Gracilaria* sp merupakan kelompok agarofit sebagai penghasil produk agar, sedangkan *Eucheuma cottonii* merupakan kelompok karagenofit sebagai penghasil produk karagenan. Produk olahan rumput laut berupa produk agar dan karagenan banyak dimanfaatkan untuk berbagai macam produk hilir baik berupa produk pangan maupun non pangan, yang memacu berkembangnya industri rumput laut. Pemerintah berkomitmen mendorong dibangunnya industrialisasi rumput laut nasional baik yang dibangun oleh pemerintah maupun swasta, sehingga memiliki nilai tambah ekonomi yang lebih tinggi.

Proses pengolahan rumput laut harus terus dikembangkan untuk mendapatkan produk terbaik, diantaranya dari segi kualitas produk, kuantitas produk yang memadai dan kontinuitas produk tanpa mengabaikan aspek ekologis atau lingkungan. Hal ini juga sesuai dengan kebijakan pemerintah pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 1 Tahun 2021 terkait “Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan (PROPER)”.

Produksi agar dan karagenan mengkonsumsi sumber daya, energi dan menghasilkan dampak lingkungan berupa limbah dan emisi. Oleh karena itu, diperlukan metode penilaian dampak lingkungan dan analisis efisiensi penggunaan energi dari produk agar dan karagenan, sehingga dapat diidentifikasi peluang dan penyusunan rekomendasi skenario perbaikannya. Jumlah besaran dampak yang dihasilkan sesuai dengan jumlah *input* yang digunakan dalam memproduksi suatu produk. Data *input* dan *output* diinventarisasi pada setiap masukan dan keluaran dari produk tepung agar dan karagenan untuk dilakukan analisis penilaian dampak dari produk tepung agar dan karagenan.

Penilaian dampak suatu produk dapat dihitung menggunakan metode LCA (*Life Cycle Assessment*). LCA merupakan metode yang mampu memberikan gambaran dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan dari suatu siklus hidup produk dan menghasilkan alternatif atau rekomendasi usulan perbaikan berdasarkan hasil dari analisis inventori dan analisis dampak lingkungan. Interpretasi hasil LCA dijadikan sebagai acuan untuk menyusun skenario alternatif perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan dari produk tepung agar dan karagenan. Hal tersebut dapat membantu mewujudkan industri olahan produk turunan dari tepung agar dan karagenan menjadi industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Kerangka pemikiran penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai November 2020. Lokasi penelitian di laksanakan di tambak budi daya rumput laut *Gracilaria* sp di Pulokerto Pasuruan, di Pulau Karimunjawa untuk budi daya *Eucheuma cottonii* dan di industri rumput laut PT XYZ Pasuruan Jawa Timur.

3.3 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapang, hasil wawancara dengan petani dan pengepul rumput laut *Gracilaria* sp dan *Eucheuma cottonii*, serta beberapa pegawai terkait di PT XYZ seperti kepala bagian produksi, kepala bagian pengelolaan limbah, pegawai bagian pengadaan bahan baku, pegawai administrasi dan pemilik industri.

Data sekunder didapatkan dari dokumentasi PT XYZ berupa data penggunaan bahan baku, bahan kimia tambahan, bahan kemasan, energi, air, mesin dan peralatan pada setiap tahapan proses produksi dan beberapa referensi hasil penelitian yang sudah dipublikasikan sebelumnya.

Data yang digunakan yaitu data produksi produk tepung agar dan karagenan pada Tahun 2019. Data bahan baku dari petani atau pengepul rumput laut menyesuaikan dengan data kebutuhan bahan baku untuk proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan jenis data primer dan data sekunder untuk menjawab tujuan dari penelitian. Metode pengumpulan data dilakukan dengan tiga cara yaitu :

1. Observasi lapang

Observasi lapang dilakukan untuk memperoleh data primer dengan mengobservasi secara langsung rangkaian kegiatan atau proses yang berkaitan dengan data yang dibutuhkan. Observasi dilakukan di tempat budi daya rumput laut dan industri rumput laut PT XYZ. Observasi juga dilakukan untuk mendapatkan data primer yang tidak terdapat pada data sekunder dari hasil studi pustaka terkait.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan dan menganalisis data sekunder yang diperoleh dari pihak-pihak terkait penelitian, buku-buku acuan, jurnal, tesis, disertasi dan literatur lainnya untuk melengkapi data penelitian. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari dan memahami terkait konsep kajian LCA, budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dan *Eucheuma cottonii*, proses produksi tepung agar dan karagenan, proses penanganan limbah industri, analisis dampak emisi dari proses tepung agar dan karagenan.

3. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi dari *stakeholder* terkait, untuk memperoleh informasi tambahan terkait daur hidup tepung produk agar dan

karagenan serta mengkonfirmasi hasil temuan penelitian dan hal-hal yang berkaitan dengan tema kajian penelitian. Wawancara dilakukan kepada pihak-pihak terkait baik pada proses budi daya rumput laut dan proses produksi di industri PT XYZ. Pada tahap wawancara juga dilakukan diskusi dengan pakar untuk membantu menyusun skenario perbaikan sebagai upaya penurunan dampak lingkungan dan strategi meningkatkan efisiensi produksi. Data penelitian yang digunakan pada penelitian berdasarkan jenis, sumber dan metode pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data penelitian

Data	Jenis data	Sumber data	Metode pengumpulan data
Budi daya rumput laut <i>Gracilaria sp</i>	Primer	Petani Pengepul	Wawancara
Budi daya rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i>	Primer	Petani Pengepul	Wawancara
Transportasi bahan baku	Primer	Supplier Maps	Wawancara
Aliran material (bahan baku dan bahan tambahan) dan penggunaan energi	Primer	Supervisor produksi	Wawancara Observasi lapang
Hasil produk samping	Primer	Pegawai	Wawancara Studi pustaka
Neraca massa dan neraca energi	Primer	Supervisor produksi	Wawancara Observasi lapang
Analisis inventori	Primer, Sekunder	Pegawai, Pakar	Wawancara Observasi lapang Studi pustaka
Analisis dampak	Sekunder	Analisis inventori	Studi pustaka
Skenario rekomendasi perbaikan	Sekunder	Analisis dampak	Studi pustaka

3.5 Tahapan Penelitian

Metode LCA dilakukan dengan memperhitungkan semua aliran *input-output* (*exchange flow*) dari sistem ke lingkungan di dalam tahapan daur hidup produk yang telah ditetapkan ruang lingkup batasannya. Pelaksanaan metode LCA ini mengacu pada pedoman pelaksanaan LCA menurut *Framework* SNI ISO 14040 : 2016 yang terdiri atas empat tahapan yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak lingkungan dan interpretasi hasil.

3.5.1 Penentuan tujuan dan ruang lingkup LCA (*Goal and scope definition*)

Penentuan tujuan dan ruang lingkup merupakan tahapan awal dalam melakukan analisis LCA. Tahap ini bertujuan untuk melakukan kajian LCA yang lebih sistematis dengan mengacu pada batasan yang telah ditentukan. Pada tahap

ini, juga dilakukan penentuan satuan unit fungsional yang akan digunakan pada kajian LCA. Tujuan kajian LCA ditentukan dengan melakukan studi pustaka dari berbagai kajian dan mencari celah risetnya. Ruang lingkup yang dikaji menyesuaikan dengan sumber referensi terkait batasan ruang lingkup untuk kajian LCA dan kondisi lapang untuk pengambilan data penelitian. Ruang lingkup yang dikaji pada penelitian ini yaitu *cradle-to-gate* dimulai dari proses pengadaan bahan baku, proses transportasi dan proses produksi tepung agar dan karagenan di industri. Tahapan ini juga menentukan unit fungsi yang digunakan sebagai acuan normalisasi pada masukan (*input*) dan keluaran (*output*).

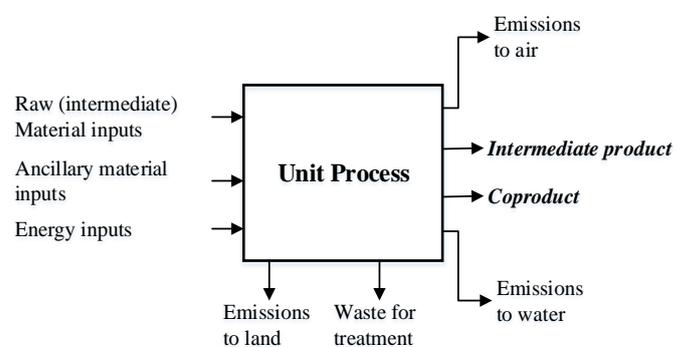
Unit fungsi yang ditentukan pada kajian ini yaitu 1 kg tepung agar dan 1 kg tepung karagenan. Unit fungsi digunakan sebagai jumlah yang didefinisikan dari suatu produk atau proses. Penentuan unit fungsi pada kajian ini disesuaikan dengan unit satuan terkecil dari produk yang digunakan untuk didistribusikan ke distributor atau konsumen.

3.5.2 Analisis inventori

Tahap analisis inventori dilakukan untuk mengidentifikasi siklus hidup produk, pengumpulan data yang dibutuhkan dan pengkuantifikasian data untuk proses analisis dampak pada tahapan penelitian selanjutnya. Data inventori terdiri atas data primer (*foreground*) dari data masukan dan keluaran pada proses budi daya rumput, transportasi dan proses produksi di industri PT XYZ, sedangkan data sekunder (*background*) dari studi pustaka. Pengambilan data menyesuaikan dengan tujuan dan batasan yang sudah di tentukan pada tahapan sebelumnya. Pada tahapan analisis inventori dilakukan beberapa hal diantaranya.

1. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dengan cara observasi secara langsung di lapangan dan wawancara ke pihak terkait, sedangkan data sekunder diperoleh berdasarkan data-data yang sudah dimiliki perusahaan dan publikasi hasil penelitian terkait yang telah dipublikasikan sebelumnya. Pengumpulan data dilakukan dengan menggambarkan diagram aliran *input dan output* dari setiap unit proses dengan penjelasan setiap faktor yang mempengaruhinya. Konsep untuk analisis aliran *input output* pada setiap unit proses dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Aliran *input output* pada unit proses (ISO 2000)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

2. Pendeskripsian *input*, proses dan *output*

Siklus hidup produk yang diperoleh digambarkan menggunakan diagram alir untuk mendapatkan gambaran sistem produksi tepung agar dan karagenan secara jelas dan terperinci, baik dari segi input, proses dan output. Pendeskripsian diagram alir digambarkan dari pengadaan bahan baku hingga proses selesai.

3. Perhitungan data secara kuantitatif

Proses perhitungan data secara kuantitatif dilakukan dengan mengidentifikasi *input*, proses dan *output* yang sudah dilakukan, yang kemudian dilakukan perhitungan terkait neraca massa dan neraca energi. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran aliran bahan secara jelas dan terperinci yang digunakan pada tahapan LCA selanjutnya yaitu tahapan analisis dampak lingkungan.

3.5.3 Penilaian Dampak Lingkungan (*Life Cycle Impact Assessment/LCIA*)

Penilaian dampak lingkungan dilakukan untuk mengkaji atau mengevaluasi dampak lingkungan potensial dari suatu produk dalam daur hidupnya berdasarkan hasil analisis inventori. Profil LCIA memberikan informasi tentang isu lingkungan dari suatu produk berdasarkan masukan dan keluaran dari sistem produk. Perhitungan LCIA memiliki tahapan wajib dan opsional. Tahapan wajib LCIA meliputi : a) kategori dampak, yaitu mengidentifikasi kategori dampak lingkungan yang relevan, b) klasifikasi, yaitu melakukan penetapan dan penggabungan awal data inventori kedalam beberapa kelompok dampak, c) karakterisasi, yaitu menterjemahkan hasil data inventori ke ciri-ciri atau kriteria deskripsi dampak. Tahapan opsional LCIA diantaranya: a) normalisasi, yaitu melakukan perhitungan besaran hasil indikator relati terhadap informasi yang dijadikan pembandingan, b) pengelompokkan, yaitu memilah dan menentukan peringkat untuk indikator yang dikaji, c) pembobotan, yaitu memberikan gambaran utama dari dampak potensial yang paling penting.

Kategori dampak yang dikaji pada penelitian ini yaitu ada tiga kategori dampak diantaranya pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi. Penentuan tiga kategori dampak yang dikaji berdasarkan pada jenis polutan yang dikeluarkan selama kegiatan daur hidup produk tepung agar dan karagenan. Jenis polutan yang dihasilkan diklasifikasi berdasarkan kategori dampak seperti jenis polutan CO₂, CH₄ dan N₂O diklasifikasi dan dikarakterisasi untuk dampak pemanasan global, jenis polutan SO₂, NO_x, SO₃, NO dan NH₃ diklasifikasi untuk dampak asidifikasi dan jenis polutan NO_x, PO₄, N₂O dan nutrient (N dan P) diklasifikasi untuk dampak eutrofikasi. Perhitungan analisis dampak lingkungan menggunakan software Simapro® dengan metode metode *Centere of Environmental Science of Leiden Universitu Impact Assessment (CML-IA) baseline V 3.06*, dengan data masukan dan keluaran berdasarkan hasil analisis inventori dimasukkan sesuai dengan database *Ecoinvent 3* yang ada di Simapro. Beberapa kategori dampak yang dikaji dianalisis dan ditentukan dampak terbesar dari masing-masing unit proses mulai proses budi daya, transportasi dan proses produksi produk. Kategori dampak yang dikaji untuk setiap unit meliputi :

1. Pemanasan global atau *global warming*

Kategori dampak lingkungan yang akan dikaji adalah pemanasan global yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca (GRK). GRK merupakan emisi yang dapat meningkatkan temperatur bumi dan menyebabkan adanya pemanasan global (France *et al.* 2007). Kegiatan produksi tepung agar dan karagenan di Industri rumput laut PT XYZ menggunakan bahan tambahan kimia, sumber energi dan menghasilkan limbah yang berkontribusi menyebabkan pemanasan global. Beberapa jenis polutan yang berperan menimbulkan dampak pemanasan global diantaranya karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O).

Sumber emisi penyebab pemanasan global sebagian besar berasal dari penggunaan batu bara sebagai sumber bahan bakar *boiler*, listrik untuk menghidupkan alat dan mesin untuk produksi serta lampu untuk penerangan, bahan kimia sebagai bahan tambahan produksi produk, penggunaan solar untuk bahan bakar transportasi di dalam industri misalnya untuk pengangkutan limbah padat ke tempat penampungan limbah yang berlokasi di belakang pabrik, dan kandungan gas metan dari limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi produk tepung agar dan karagenan. Besaran dampak lingkungan dari jenis polutan N₂O dan CH₄ memiliki nilai besaran *Global Warming Potential (GWP)* yang memiliki nilai relatif sama dengan CO₂ dengan satuan CO₂eq. Perhitungan dampak pemanasan global dari pembentukan CO₂eq memiliki nilai konversi yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai konversi dampak pemanasan global

Pemanasan global	Nilai konversi (CO ₂ eq)
Karbondioksida (CO ₂)	1
Metana (CH ₄)	28
Dinitrogen oksida (N ₂ O)	298

Sumber : Database *Ecoinvent* Simparo 9.1.1.7

2. Asidifikasi

Asidifikasi merupakan salah satu dampak lingkungan yang terjadi akibat adanya proses pengasaman air. Beberapa jenis polutan yang menyebabkan dampak asidifikasi pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan adalah sulfur dioksida (SO₂), sulfur trioksida (SO₃), nitrogen oksida (NO_x), nitrogen monooksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂), ammonia (NH₃). Sumber emisi penyebab asidifikasi sebagian besar berasal dari penggunaan bahan kimia tambahan berupa NaOH, listrik dan pupuk. Hasil perhitungan dari setiap jenis polutan, selanjutnya dikonversikan menjadi SO₂-eq untuk mengetahui potensi asidifikasinya. Nilai konversi setiap jenis polutan penyebab asidifikasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 5 Nilai konversi dampak asidifikasi

Asidifikasi	Nilai konversi (SO ₂ eq)
Sulfur dioksida(SO ₂)	1,20
Sulfur trioksida (SO ₃)	0,96
Nitrogen oksida (NO _x)	0,50
Nitrogen monooksida (NO)	0,76
Amonia(NH ₃)	1,60

Sumber : Database *Ecoinvent* Simparo 9.1.1.7

3. Eutrofikasi

Eutrofikasi merupakan permasalahan lingkungan yang terjadi di ekosistem akuatik yang mengakibatkan penipisan oksigen yang dapat merusak ekosistem perairan yang disebabkan oleh hilangnya fosfor (Liu dan Chen 2018). Beberapa jenis polutan yang menyebabkan eutrofikasi pada daur hidup tepung agar dan karagenan adalah fosfat (PO₄), nitrogen oksida (NO_x), dinitrogen oksida (N₂O) dan nutrient (N dan P). Sumber emisi penyebab eutrofikasi sebagian besar dihasilkan dari penggunaan listrik dan penggunaan pupuk. Hasil perhitungan dari masing-masing jenis polutan penyebab dampak eutrofikasi dikonversikan menjadi PO₄eq untuk mengetahui potensi dampak eutrofikasinya. Nilai konversi setiap jenis polutan penyebab eutrofikasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai konversi dampak eutrofikasi

Eutrofikasi	Nilai konversi Eutrofikasi (PO ₄ eq)
Fosfat (PO ₄)	1
Nitrogen oksida (NO _x)	0,13
Dinitrogen oksida (N ₂ O)	0,27
Nitrat (N)	0,1
Fosfor (P)	3,06

Sumber : Database *Ecoinvent* Simparo 9.1.1.7

3.5.4 Interpretasi hasil

Tahapan terakhir dari LCA yaitu interpretasi hasil dengan mengevaluasi analisis dampak lingkungan yang terjadi pada siklus daur hidup sebagai upaya untuk merekomendasikan perbaikan dan mengurangi dampak lingkungan. Pada tahap ini dilakukan proses identifikasi untuk menentukan proses yang berpengaruh signifikan dari sumber dampak potensial (*hotspot*) terhadap dampak lingkungan, kemudian dilakukan analisis perbaikan dengan beberapa skenario rekomendasi perbaikan yang memungkinkan diterapkan. Skenario perbaikan bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan seperti perbaikan proses dan pemanfaatan limbah. Skenario perbaikan dilakukan pada setiap unit proses pada daur hidup produk yang dikaji berdasarkan *hotspot* pada masing-masing unit proses. Skenario perbaikan diharapkan dapat mengurangi dampak pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi, serta mampu meningkatkan efisiensi dan kinerja di industri pengolahan rumput laut baik dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan.

3.6 Pengolahan dan Penyajian Data

Pengolahan dan penyajian data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*. Data yang digunakan dalam kajian LCA dimasukkan ke dalam data inventori sebagai data kuantitatif untuk melihat hasil *input* dan *output* yang dihasilkan. Data inventori kemudian dilakukan analisis dampak yang dikelompokkan berdasarkan kategori dampak berupa pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi. Data yang dimasukkan dalam analisis kategori dampak dilakukan secara kuantitatif untuk melihat besar dampak yang dihasilkan. Pengolahan data menggunakan *software SimaPro®* dengan metode *Centere of Environmental Science of Leiden Universitu Impact Assessment (CML -IA) Baseline V 3.06*. Hasil dampak kajian LCA dianalisis secara deksriptif dengan penyajian data menggunakan tabel dan grafik untuk lebih mudah dipahami dan bersifat informatif.



IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Industri

Kajian LCA pada penelitian ini dilakukan di industri rumput laut PT XYZ yang berlokasi di Pasuruan Jawa Timur. Lokasi PT XYZ berada di kawasan pabrik sehingga terbilang cukup strategis. Akses sarana transportasi cukup terjangkau untuk dapat dilalui oleh *container* atau truk-truk pembawa bahan baku dan bahan penunjang produksi, mudah memperoleh sumber air dan lokasi pabrik yang dapat dijangkau oleh pembangkit listrik negara (PLN) sebagai sumber listrik untuk menunjang proses produksi dan beberapa kegiatan di industri.



Gambar 10 Industri rumput laut PT XYZ

PT XYZ adalah industri rumput laut yang mengolah dua jenis bahan baku rumput laut yaitu *Gracillaria* sp dan *Eucheuma cottonii*. Rumput laut jenis *Gracillaria* sp diolah menjadi tepung agar, sedangkan *Eucheuma cottonii* diolah menjadi tepung karagenan. Bahan baku yang digunakan diperoleh dari pengepul masing-masing jenis rumput laut, dan diproduksi sesuai diagram alir proses produksi pada masing-masing produk. Proses produksi rumput laut dilakukan di dalam bangunan yang memiliki luas 1.500 m². Bangunan tersebut berpondasi batu bata, berdinding dan beratap seng serta lantainya dicat epoksi. Proses produksi rumput laut di PT XYZ menggunakan beberapa alat dan mesin produksi yang dirancang sendiri oleh pemilik industri. Proses produksi dilakukan dengan *lay out* kontinyu berdasarkan urutan proses produksi masing-masing produk. Ruang produksi terdiri dari ruang penyimpanan produk, ruang proses, ruang produksi dan laboratorium uji. Sebagian besar proses produksi dilakukan dalam satu ruangan, kecuali proses pengeringan lembaran agar dan karagenan dilakukan di halaman luar atau ruang terbuka di bawah sinar matahari langsung. Selain itu, ruang penyimpanan bahan baku dan bahan penunjang lainnya diletakkan dalam ruang yang berbeda. Tata letak ruang proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.2 Analisis Daur Hidup Tepung Agar

Kajian daur hidup tepung terdiri dari tiga unit proses yaitu budi daya rumput laut *Gracilaria* sp, proses transportasi bahan baku dan bahan penunjang lainnya ke industri dan proses produksi tepung agar di PT XYZ. Hasil kajian diperoleh dari pengolahan data primer dan data sekunder dengan metode wawancara kepada beberapa pihak terkait dengan list pertanyaan dan hasil wawancara yang diarsipkan. Uraian hasil wawancara pada masing-masing unit proses diantaranya:

1. Budi daya rumput laut *Gracilaria* sp

Pada proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp data hasil kajian diperoleh dari hasil wawancara dengan petani budi daya. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui bahan baku yang digunakan untuk proses produksi tepung agar adalah jenis rumput laut *Gracilaria* sp. Jenis rumput laut ini memiliki kontribusi paling besar (>90%) untuk menyumbang bahan baku agar dibandingkan dengan genus *agarophytes* yang lainnya seperti *Gelidium*, *Pterocladia*, dan *Gelidiella* (WWF Indonesia 2014). Ruang Lingkup kajian tahapan budi daya rumput laut *Gracilaria* sp meliputi :

a. Persiapan tambak

Persiapan tambak dilakukan dengan memastikan kontruksi lahan siap dan sesuai untuk budi daya *Gracilaria* sp. Tambak dibuat secara petakan dengan memiliki pintu masukan dan pengeluaran air yang berfungsi untuk sirkulasi air sehingga kualitas air tetap terjaga. Pada kajian ini, *Gracilaria* sp dibudidayakan di tambak Pulokerto Pasuruan dengan ukuran petakan tambak sebesar 70 m x 140 m. Petakan tambak budi daya diisi air sekitar 50 cm dan disediakan pintu masuk dan keluarnya air. Sumber air berasal dari sungai yang ada di sekitar tambak. Selanjutnya, pembuatan pematang tambak dengan kriteria harus kuat, tidak bocor dan rapi. Pematang ini digunakan untuk tanggul, penahan air dan biasanya digunakan sebagai tempat menjemur rumput laut hasil panen. Ketinggian pematang tambak dibuat dengan posisi lebih tinggi dari pasang tertinggi air laut dan tidak tenggelam jika terjadi hujan deras yang mengakibatkan banjir di sekitar lokasi tambak.

Ketinggian tambak bisa dibuat sekitar 1,5 m dari kedalaman tambak. Tambak dikeringkan dan diangkat bahan organik atau lumpurnya ke pematang tambak dengan minimal kedalaman 90 cm. Tambak selanjutnya dibiarkan kering matahari sekitar 6 - 7 hari sampai tanah mengering atau keras. Masukkan air ke dalam tambak melalui pintu masuk air dengan kedalaman sekitar 50 cm, dan apabila nanti dipolikulturkan dengan ikan bandeng atau bandeng kedalaman tambak diisi dengan air mencapai 100 cm dari kedalaman tambak.

b. Pembibitan

Bibit yang digunakan yaitu berasal dari lokal dengan kualitas yang terbaik. Ciri-ciri bibit yang digunakan diantaranya memiliki *thallus* yang besar, berwarna coklat kehijauan, batangnya sehat tidak ada hewan yang menempel, tidak terdapat bercak putih, bentuk bibit seragam dan bersih dari hama, kotoran maupun tanaman pengganggu. Persediaan bibit dilakukan dengan membuat kebun bibit untuk menjamin ketersediaan pasokan bibit untuk budi daya. Pembuatan kebun bibit

Gracilaria sp diawali dengan melakukan seleksi varietas dengan menggunakan metode tebar.

Bibit yang sudah siap tanam, diangkut dari kebun bibit ke lokasi tambak yang membutuhkan waktu sekitar satu jam. Pada saat mengangkut bibit, bibit yang dipanen dari petakan langsung dimasukkan ke karung untuk menghindari bibit dari sinar matahari, dan selanjutnya diangkut menggunakan motor. Pada proses pengangkutan diharapkan bibit dalam keadaan basah dan membuat lubang pada penutup untuk sirkulasi udara, serta diupayakan pengangkutan tidak lebih dari 5-6 jam.

Bibit yang diangkut tidak boleh terkena air tawar, sehingga tidak disarankan mengangkut bibit pada saat hujan atau diharapkan menggunakan penutup atau sejenisnya untuk melindungi bibit dari hujan. Bibit yang diangkut dari jarak jauh, sebaiknya sebelum ditebar harus diadaptasikan terlebih dahulu dengan cara merendam bibit di air tambak untuk budi daya.

c. Penanaman

Pada proses penanaman, bibit yang digunakan yaitu diambil dari kebun bibit dengan usia bibit sekitar 2 bulan, kemudian tebarkan bibit secara merata. Bibit yang digunakan sekitar 1000 kg untuk tambak dengan ukuran 70 m x 140 m.

d. Perawatan atau pemeliharaan

Beberapa hal yang dilakukan untuk perawatan dan pemeliharaan ketika budi daya *Gracilaria* sp meliputi menjaga kebersihan tambak dari hama dan tanaman pengganggu, melakukan pengelolaan air untuk media budi daya dengan ketinggian air disesuaikan dengan pertumbuhan rumput laut atau dengan ciri-ciri harus berada disekitar 5 - 10 cm di bawah air, memantau penambahan air ketika rumput laut (rumput laut tidak boleh terkena langsung dengan matahari), melakukan pemantauan salinitas, pH, temperatur dan kekeruhan secara visual seminggu sekali untuk memastikan kualitas air terjaga, dan proses pemupukan dilakukan setiap 10 hari sekali dengan pupuk urea sebanyak 3-5 kg dengan menyesuaikan kondisi cuaca.

Hama dan penyakit yang sering menyerang pada budi daya *Gracilaria* sp di tambak budi daya yang dikaji diantaranya kerang hijau atau teritip (*Limnea glabra*), siput (*gastropoda*) dan lumut. Upaya pemeliharaan dan perawatan untuk menanggulangi adanya kerang atau teritip dan siput yaitu dengan mengambil secara manual ketika persiapan tambak dan menggunakan saringan pada pintu air masukan, sedangkan penanggulangan untuk mengurangi adanya lumut yaitu dengan melakukan penanaman *Gracilaria* sp secara polikultur dengan menambah ikan bandeng dan menambah kedalaman air.

e. Panen

Pemanenan dilakukan ketika rumput laut *Gracilaria* sp berumur 60 hari setelah tanam untuk mendapatkan kualitas kadar agar dan kekuatan gel yang tinggi. Pemanenan dilakukan dengan mengambil rumput laut dengan saringan, kemudian rumput laut dicuci dengan air tambak sebelum dimasukkan ke sampan dan selanjutnya diangkut ke darat. Proses panen dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 06.00 WIB untuk bisa dilakukan penjemuran secara langsung di bawah matahari. Pada musim hujan, proses panen dilakukan sore hari atau menyediakan plastik *high*

density polyethylene (HDPE) yang tebal sebagai alternatif untuk penutup rumput laut. Rumput laut yang dipanen tidak boleh terkena air hujan, karena dapat menurunkan kualitas dari rumput lautnya.

f. Pasca panen

Rumput laut yang sudah dipanen dapat dijemur atau dikeringkan di pematang tambak atau didekat para-para. Pengeringan dilakukan dengan diberikan alas seperti jaring, sehingga rumput laut yang sudah kering tidak kontak langsung dengan tanah (pematang). Saat musim hujan, tempat pengeringan dikondisikan dalam keadaan tertutup untuk menghindari terkena hujan, dan juga bisa diangin-anginkan untuk mempercepat proses pengeringan ketika musim hujan. Ketika proses pengeringan atau penjemuran juga perlu dilakukan pembalikan rumput laut supaya pengeringan merata.

Tingkat kekeringan rumput laut *Gracilaria* sp yang diharapkan pada hasil akhir pengeringan adalah 16-18%. Hasil tingkat kekeringan tersebut diindikasikan dengan meremas *Gracilaria* sp kering dengan tangan terasa keras dan tidak lengket. *Gracilaria* sp yang sudah kering dipisahkan kadar garamnya dengan menyortir secara manual atau menggunakan pengayak untuk menghilangkan kotoran dan benda asing. Kadar kandungan kotoran untuk hasil panen *Gracilaria* sp yang baik sebesar 2 - 4%.

Gracilaria sp yang kering diangkut ke gudang penyimpanan. Jarak tambak dengan gudang penyimpanan sekitar 2 km. Rumput laut kering selanjutnya *dipress* manual dengan tangan dan dikemas dalam karung dengan berat 30 kg rumput laut kering/karung, dan disimpan dalam gudang penyimpanan yang sudah terjaga kebersihannya, adanya sirkulasi yang baik dan terhindar dari kebocoran ketika musim hujan. Selanjutnya, *Gracilaria* sp kering siap dikirim ke industri atau pedagang lokal maupun ekspor. Pada umumnya proses pengiriman ke industri rumput laut PT XYZ dilakukan menggunakan truk sedang sebanyak tiga kali dalam seminggu dengan beban berat satu kali pengiriman ke industri sebesar 2-3 ton.

2. Transportasi bahan baku dan penunjang

Pada proses transportasi bahan baku dan penunjang, data hasil kajian diperoleh dari hasil wawancara dengan kepala bagian produksi dan kepala bagian pengadaan bahan produksi di PT XYZ. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui bahwa proses pengiriman bahan baku dan bahan tambahan berupa bahan-bahan kimia dan bahan kemasan ke industri menggunakan truk dan *pick up*. Transportasi dilakukan dari masing-masing *supplier* yang berbeda sesuai kriteria bahan, sehingga kebutuhan bahan bakar disesuaikan dengan jarak dan kapasitas muatan truk atau *pick up* yang digunakan. Perhitungan jarak dari *supplier* ke industri menggunakan aplikasi *google maps* dan kebutuhan bahan bakar untuk transportasi diasumsikan sebesar 9,6 km/L. Asumsi transportasi dihitung untuk sekali perjalanan.

3. Produksi tepung agar di PT XYZ

Pada proses produksi tepung agar, data hasil kajian diperoleh dari hasil wawancara dengan kepala bagian produksi di PT XYZ. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui bahwa PT XYZ mengolah *Gracilaria* sp menjadi produk agar bubuk atau yang lebih dikenal dengan tepung agar. Produksi tepung agar di PT XYZ membutuhkan beberapa bahan diantaranya bahan baku, bahan tambahan dan bahan kemasan. Bahan baku yang digunakan untuk proses produksi tepung agar yaitu rumput laut jenis *Gracilaria* sp. Bahan tambahan yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H_2SO_4), Natrium hipoklorit (NaOCl), Filter aid dan air. Bahan kemasan yang digunakan yaitu *kraft paper*.

a. Bahan Baku

Proses produksi tepung agar di PT XYZ menggunakan bahan baku jenis rumput laut *Gracilaria* sp yang diperoleh dari petani dan pengepul rumput laut di Pulokerto Pasuruan dalam bentuk kering (Gambar 11). Rumput laut kering memiliki daya simpan lebih lama serta mempermudah dalam pengangkutan bahan baku dibandingkan dengan rumput laut yang basah. Harga rumput laut *Gracilaria* sp berkisar Rp 6.000-11.000/kg. PT XYZ membutuhkan sekitar 500 kg rumput laut *Gracilaria* sp untuk satu *batch* proses produksi yang dimasak dalam tangki proses. Tangki proses yang digunakan di PT XYZ berbentuk tabung dengan ukuran diameter 2 meter, tinggi 6 meter dan Volume 12.000 liter.



Gambar 11 Rumput laut *Glacillaria* sp kering

b. Bahan Tambahan

Produksi tepung agar selain membutuhkan bahan baku juga membutuhkan bahan tambahan. Bahan tambahan yang digunakan pada proses produksi tepung agar diantaranya:

1) Natrium Hidroksida (NaOH)

NaOH adalah salah satu senyawa bersifat basa kuat yang digunakan sebelum proses ekstraksi. NaOH merupakan reduktor kuat yang berperan sebagai alkali. Proses produksi agar di PT XYZ membutuhkan NaOH sebanyak 7% dari bahan baku. Penambahan NaOH bertujuan untuk memudahkan proses penarikan ekstrak agar ketika ada proses penambahan bahan kimia yang memiliki sifat asam, sehingga akan mempengaruhi rendemen yang dihasilkan (Santika *et al.* 2014).

NaOH memiliki manfaat untuk dapat menghidrolisis agar, dengan memutuskan ikatan antara agarosa dan agaropektin, dimana perlakuan alkali

terhadap molekul agar dapat menghilangkan sulfat yang tidak stabil pada C-6 dari unit L-galaktosa ketika gugus hidroksil pada C-3 telah terionkan. Hal ini memberikan peningkatan kestabilan dengan membentuk 3,6 –anhydro-galaktosa (Abidin *et al.* 2014; Yudiati *et al.* 2020).

@Hak Cipta milik IPB University

2) Asam Sulfat (H₂SO₄)

H₂SO₄ adalah cairan kimia yang memiliki sifat korosif, tidak berwarna, tidak berbau, sangat reaktif dan mampu melarutkan berbagai logam (Agustina 2017). Asam sulfat dapat larut di dalam air dengan berbagai rasio dan perbandingan. Cairan kimia ini memiliki titik leleh sebesar 10,49°C dan titik didih berada pada temperature 340°C. Titik didih asam sulfat sangat bergantung pada cairan kimianya (Arita *et al.* 2016). Asam Sulfat yang dibutuhkan untuk proses produksi agar di PT XYZ sebanyak 30 liter yang dilarutkan dalam 6000 liter air dengan konsentrasi 98%. Proses ekstraksi dengan praperlakuan asam bertujuan untuk meningkatkan rendemen tepung agar yang dihasilkan dan untuk memperpendek waktu ekstraksi.

3) Natrium hipoklorit (NaOCl)

Natrium hipoklorit merupakan salah satu senyawa kimia klor berupa kaporit yang digunakan sebagai zat pemutih (*bleaching agent*) dalam berbagai bidang industri (Rohmah dan Sulistyorini 2017). Pada umumnya NaOCl tersedia dalam bentuk bubuk putih, pellet atau pelat datar. PT XYZ menggunakan NaOCl untuk proses pemucatan yang bertujuan untuk melarutkan zat warna yang terkandung dalam larutan rumput laut sehingga dapat diperoleh larutan yang lebih jernih.

4) Filter aid

Filter aid merupakan media penyaringan yang digunakan dalam proses filtrasi untuk memisahkan partikel halus dari cairan (Golmaei *et al.* 2013). Filter aid ditambahkan pada rumput laut yang sudah menjadi bubur dan dilakukan penambahan air panas untuk memudahkan penyaringan. Proses penyaringan atau filtrasi pada produksi tepung agar menggunakan alat *filter press* dengan prinsip untuk menyaring bubur rumput laut dengan sistem press/tekanan cepat dalam keadaan panas, sehingga filtrate dalam bentuk cairan kental dapat terpisah dari residu atau ampas padat (Sinurat dan Marliani 2017).

5) Air

Air merupakan komponen kimiawi yang banyak terkandung pada bahan pangan. Air memiliki pengaruh terhadap penampakan, tekstur dan cita rasa makanan (Winarno 2008; Dwi *et al.* 2015). Fungsi air dalam proses produksi tepung agar yaitu sebagai media penghantar panas, pelarut bahan kimia dan proses pencucian. Proses pencucian pada produksi agar dilakukan sebanyak dua kali yaitu setelah perlakuan basa dan perlakuan asam. Perlakuan basa yaitu ketika bahan baku rumput laut *Gracilaria* sp ditambahkan NaOH, dan air berfungsi untuk menghilangkan larutan basa yang masih menempel pada rumput laut *Gracilaria* sp setelah proses. Sedangkan perlakuan asam yaitu ketika bahan baku rumput laut *Gracilaria* sp ditambahkan H₂SO₄, dan air berfungsi untuk menetralkan pH rumput laut. Maing-masing proses pencucian dilakukan sebanyak 3-4 kali hingga rumput laut *Gracilaria* sp tidak licin.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

c. Bahan Kemasan

PT XYZ menggunakan bahan kemasan berupa kantong kertas kraft (*kraft paper*) (Gambar 12). Kertas Kraft (*kraft paper*) merupakan kertas yang diproduksi dari bahan *chemical pulp* melalui proses kimia yang disebut proses *kraft*. Proses *kraft* yaitu suatu proses pembuatan *pulp* yang dilakukan secara proses kimia. Proses ini menghasilkan pulp dengan kekuatan yang lebih tinggi di banding proses mekanis dan semi-kimia. *Pulp* kertas yang dipakai bisa melalui proses pemutihan (*bleaching*) atau tidak, apabila tidak diputihkan maka hasil kertas berwarna coklat.

Pulp yang diproduksi melalui proses *kraft* memiliki elastisitas tinggi dan tahan terhadap sobekan. Kertas ini bisa dikenal sebagai kertas yang kuat dan tahan lama. PT XYZ menggunakan *kraft paper* berbentuk karung atau kantong yang sudah menyatu dengan kemasan plastik didalamnya. *Kraft paper* yang digunakan memiliki ketebalan kertas 10 – 180 gr/m². Produk tepung agar dikemas sebanyak 25 kg tepung agar/kantong *kraft paper*.



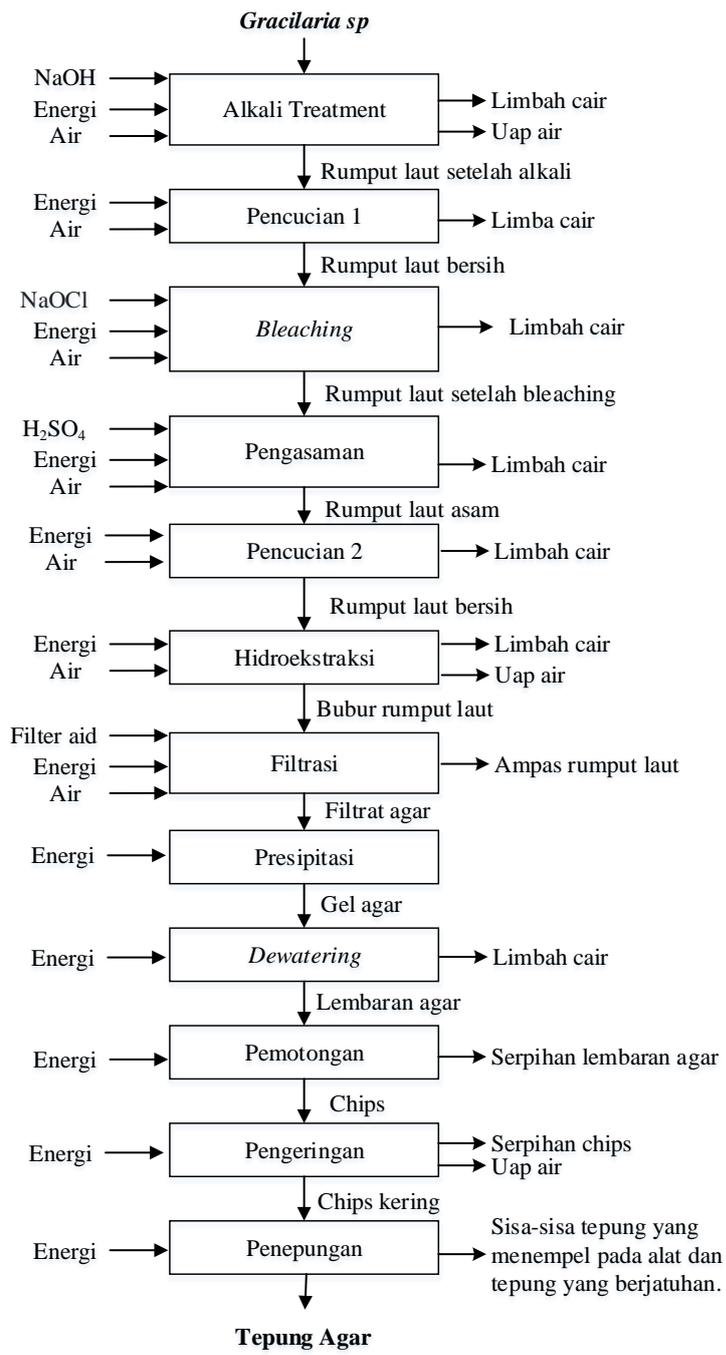
Gambar 12 Kemasan tepung agar

d. Diagram Alir Proses Produksi Tepung Agar

Diagram alir proses produksi tepung agar disajikan pada Gambar 13. Proses produksi tepung agar di PT XYZ melalui beberapa tahapan proses diantaranya *alkali treatment*, pencucian 1, *bleaching*, pengasaman, pencucian 2, hidroekstraksi, filtrasi, presipitasi, *dewatering*, pemotongan, pengeringan dan penepungan.

1) *Alkali treatment*

Alkali treatment merupakan proses perlakuan basa yang menjadi titik kritis dalam produksi tepung agar, karena menentukan kualitas tepung agar yang dihasilkan. Perlakuan basa pada produksi agar menggunakan salah satu basa kuat yaitu larutan NaOH yang dilarutkan dalam air. Perlakuan basa dilakukan pada suhu 85° C selama 2 jam, yang bertujuan untuk memutuskan ikatan sulfat sehingga dapat mengikat air lebih banyak. Hal ini akan dapat menambah kekuatan gel agar. Proses *Alkali treatment* menghasilkan *output* berupa rumput laut hasil proses alkali, limbah cair dan uap air. Limbah cair dihasilkan dari sisa larutan NaOH yang kemudian akan dialirkan ke instalasi penanganan air limbah (IPAL). Selain itu, proses ini juga mengeluarkan uap dari tangki proses selama proses produksi berlangsung.



Gambar 13 Diagram alir produksi tepung agar

2) Pencucian 1

Pencucian pertama dilakukan di dalam tangki proses setelah *alkali treatment*. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali dengan mengalirkan air melalui pipa-pipa yang tersedia sampai menutupi seluruh permukaan rumput laut dalam tangki. Rumput laut akan direndam selama 2 jam, yang bertujuan untuk membersihkan rumput laut dari larutan alkali yang tersisa dari *alkali treatment*, kotoran organik yang menempel pada rumput laut misalnya cangkang *crustacea*,

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

dan kotoran anorganik misalnya plastik, tali rafia dan pH *paper*. Pada proses pencucian ini menghasilkan limbah cair yang akan dialirkan ke IPAL.

3) *Bleaching*

Proses pembuatan tepung agar menggunakan perlakuan *bleaching* dengan NaOCl. Proses *bleaching* merupakan proses pemucatan atau penghilangan pigmen yang ada dalam rumput laut, dan bertujuan menghasilkan warna tepung yang lebih putih. Pada perlakuan *bleaching*, pigmen dari rumput laut kering jenis *Gracilaria* sp yang berwarna hitam akan hilang dan warna rumput laut menjadi putih apabila prosesnya berlangsung dengan baik.

4) Pengasaman

Proses pengasaman dilakukan setelah rumput laut bersih dan netral pada pH 7. Perlakuan asam menggunakan asam kuat yaitu asam sulfat pekat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 98%. Penggunaan H_2SO_4 berfungsi untuk membuat tekstur rumput lebih lunak. Tekstur rumput laut yang lunak akan mampu memaksimalkan proses hidroekstraksi untuk menghasilkan bubur rumput laut dengan mudah. Proses pengasaman dilakukan di dalam tangki proses selama 15 menit dan menghasilkan pH rumput laut yaitu 2 (sangat asam).

5) Pencucian 2

Pencucian kedua dilakukan setelah proses pengasaman yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa larutan H_2SO_4 yang menempel pada rumput laut, dan menghasilkan pH rumput laut menjadi 7 (netral). Nilai pH netral pada rumput laut sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas tepung agar yang dihasilkan.

6) Hidroekstraksi

Hidroekstraksi atau proses ekstraksi dengan air bertujuan untuk mengekstrak rumput laut. Proses ini dilakukan sampai rumput laut hancur menjadi bubur. Waktu pemasakan dengan air menjadi salah satu titik kritis yang menentukan rendeman tepung agar. Proses hidroekstraksi dilakukan dengan memastikan sampai semua bagian dari rumput laut menjadi bubur secara keseluruhan. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu bubur rumput laut dan uap air dari tangki proses produksi.

7) Filtrasi

Hasil proses hidroekstraksi berupa bubur rumput laut selanjutnya dimasukkan ke dalam mesin filtrasi secara bertahap. Pada proses filtrasi, bubur rumput laut akan dipisahkan antara ampas dan sari agar. Proses filtrasi akan menghasilkan sari tepung agar dalam bentuk cairan dan limbah padat. Sari tepung agar dalam bentuk cairan setelah melalui mesin filtrasi akan masuk pada bak penampungan filtrate. Sari tepung tersebut, kemudian melewati kondensor untuk menurunkan suhu sehingga lebih mudah membentuk gel pada proses pembentukan gel di bak penampungan gel. Limbah padat yang dihasilkan berupa ampas rumput laut yang memiliki karakteristik diantaranya berwarna putih kecoklatan, sedikit basah dan berserat.

8) Presipitasi

Proses presipitasi atau pembentukan gel dilakukan setelah hasil sari tepung agar dialirkan ke bak penampungan gel. Pada bak penampungan gel ini, sari tepung agar akan menjedal dengan sendirinya ketika suhu turun. Penjedalan sari agar membutuhkan waktu 24 jam dan proses ini menghasilkan *output* berupa gel agar. Pembentukan gel agar merupakan fenomena penggabungan atau pengikatan silang rantai-rantai polimer sehingga membentuk suatu jala tiga dimensi bersambungan. Jala ini mampu menangkap atau memobilisasikan air didalamnya dan membentuk struktur yang kuat dan kaku. Sifat pembentukan gel beragam sesuai jenisnya. Gel memiliki karakteristik meliputi padatan, khususnya elastisitas dan kekakuan (Herawati 2018).

9) *Dewatering*

Proses *dewatering* bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam gel agar untuk menjadi lembaran-lembaran gel rumput laut. PT XYZ memiliki dua tahapan untuk proses *dewatering* yaitu:

a) Proses *dewatering* dengan mesin *press*

Gel yang sudah terbentuk dari proses presipitasi di bak penampungan, secara bertahap akan dimasukkan ke dalam mesin *press* untuk mengurangi kadar air pada gel agar. Gel agar kemudian akan ditekan dengan kekuatan 20 bar/20 kg/m², sehingga gel agar yang semula berbentuk bongkahan-bongkahan pada bak penampung gel akan berubah menjadi lembaran-lembaran gel berukuran 1 m x 1 m dengan ketebalan 1 cm. Proses ini dilakukan selama 6 jam menggunakan mesin *press* dan terjadi pengurangan kadar air.

b) Proses *Dewatering* dengan sinar matahari

Lembaran-lembaran gel yang dihasilkan dari proses *dewatering* menggunakan mesin *press* selanjutnya dikeringkan dengan sinar matahari. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air pada lembaran gel agar. Proses ini dilakukan dengan menjemur lembaran gel di bawah sinar matahari dan digantung pada tiang besi dan bisa dilakukan di atas terpal di halaman industri. Penjemuran dengan digantung pada tiang besi lebih diutamakan, karena bisa menjaga sanitasi proses produksi, menghemat tempat dan lembaran gel agar menjadi lebih cepat kering.

10) Pematangan

Lembaran gel agar yang sudah kering selanjutnya masuk pada proses pematangan. Proses pematangan akan merubah lembaran gel agar menjadi bentuk *chips*. Tujuan dari proses ini adalah mereduksi ukuran dan memperbesar luas permukaan. *Output* yang dihasilkan berupa *chips* akan lebih memaksimalkan proses penepungan.

11) Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan mesin *rotary drum dryer*. *Rotary drum dryer* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk pengeringan *chips* agar dengan prinsip kerja berputar dan dialirkan udara panas pada drum. Bahan yang dimasukkan ke mesin ini harus dilakukan pengurangan kadar air untuk

dapat menghasilkan tepung agar sesuai standar dengan kandungan air maksimal 12%. Spesifikasi mesin *Rotary drum dyer* yang digunakan yaitu memiliki panjang 12 m, diameter 1,2 m dan suhu pusat sumber panas 180° C serta suhu kerja 80°C. Mesin ini dapat menampung *chips* agar sebanyak 25 kg/proses dengan waktu pengeringan selama 1 jam. *Output* yang dihasilkan dari unit proses ini yaitu berupa *chips* kering dan massa air yang hilang sebagai uap.

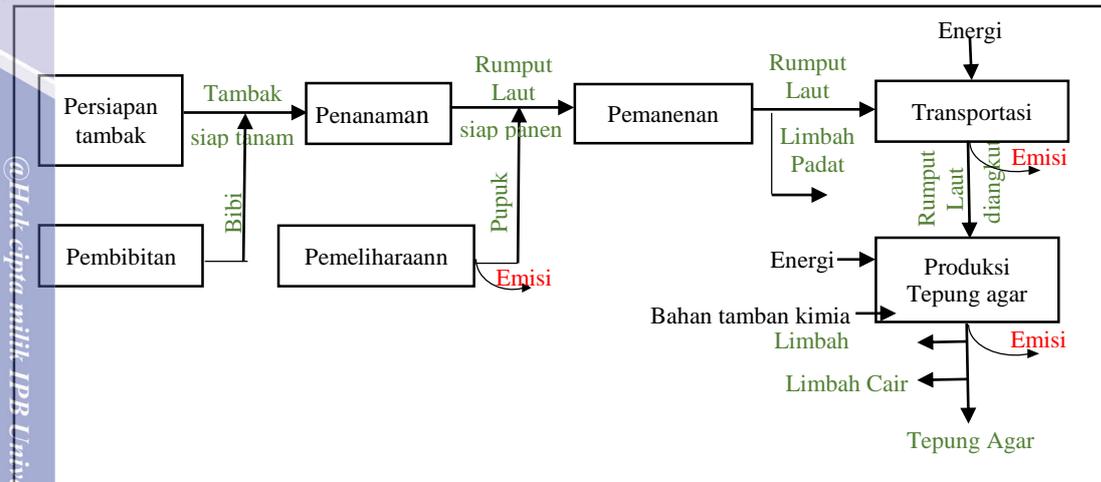
12) Penepungan

Penepungan merupakan proses untuk memperkecil ukuran agar supaya bentuknya menjadi lebih kompak dan mudah dikemas. *Chips* agar yang sudah dikeringkan akan dimasukkan ke mesin penepungan berjenis *mills* berkapasitas 25 kg *chips* setiap proses. Penepungan ini bertujuan untuk merubah *chips* agar menjadi bentuk tepung atau serbuk. Proses penepungan membutuhkan waktu selama 1 jam 30 menit. Tepung agar yang dihasilkan berukuran 80 mesh. *Output* dari proses ini yaitu tepung agar yang siap untuk dikemas dan diperdagangkan.

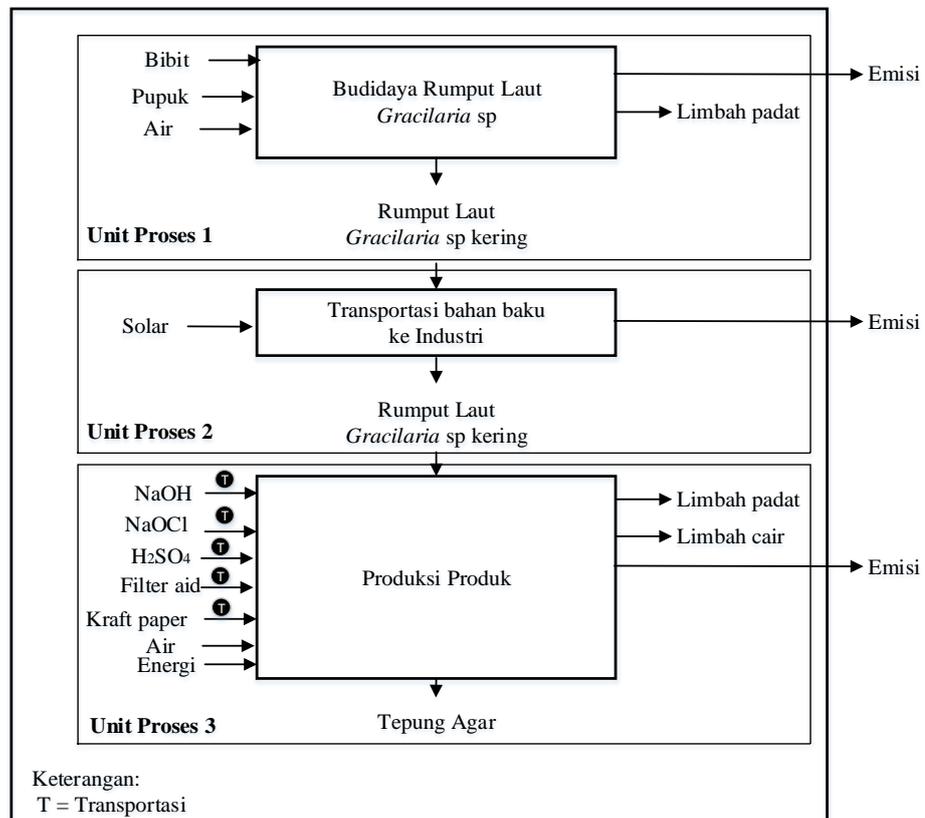
4.2.1 Tujuan dan ruang lingkup LCA tepung agar

Tahapan pertama dalam kajian LCA yaitu menentukan tujuan dan ruang lingkup. Penentuan tujuan kajian LCA dilakukan untuk menentukan data yang diamati dan diolah untuk mengetahui dampak lingkungan dari daur hidup tepung agar. Industri melakukan proses produksi dengan bahan baku yang digunakan berupa rumput laut *Gracilaria* sp dan bahan tambahan berupa bahan kimia, bahan kemasan, air, dan sumber energi. Transportasi pengadaan bahan baku dan bahan tambahan dari *supplier* ke industri menjadi ruang lingkup kajian LCA yang dilakukan. Bahan tambahan yang paling banyak digunakan adalah air. Air yang banyak digunakan untuk proses produksi tepung agar dan berasal dari air tanah yang dialirkan melalui pompa ke alat dan mesin produksi. Air sisa produksi menjadi limbah cair yang dialirkan ke Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di belakang area industri, sehingga pengolahan air limbah tidak tercakup dalam ruang lingkup kajian LCA yang dilakukan.

Ruang lingkup kajian LCA yaitu *cradle to gate* dimulai dari proses budidaya rumput laut, transportasi rumput laut kering, dan proses produksi tepung agar di ruang proses produksi di industri. Selain ruang lingkup, ditetapkan batasan sistem yang merupakan rangkaian kriteria untuk menentukan unit proses yang dikaji dari sistem produk. Ruang lingkup kajian LCA dapat dilihat pada Gambar 14, sedangkan batasan sistem dapat dilihat pada Gambar 15. Setelah menentukan tujuan dan ruang lingkup, dilanjutkan dengan menentukan unit fungsi sebagai nilai kuantifikasi jasa yang diberikan oleh suatu produk. Unit fungsi yang digunakan yaitu 1 kg tepung agar.



Gambar 14 Ruang lingkup kajian LCA tepung agar



Gambar 15 Batasan sistem kajian LCA tepung agar

4.2.2 Analisis inventori

Analisis inventori merupakan tahapan kedua dari kajian LCA yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis masukan dan keluaran pada setiap unit proses sesuai ruang lingkup kajian yang sudah ditentukan. Setiap data inventori pada masing-masing unit proses, dianalisis lebih rinci sesuai sub unit prosesnya untuk memudahkan analisis dampak dari setiap sumber emisi pada tahapan kajian selanjutnya.

1. Data inventori pada unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp

Pengumpulan data inventori pada unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dilakukan pada 1 siklus proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dari mulai perisapan tambak sampai pasca panen. Unit fungsi yang digunakan yaitu 1 luasan tambak budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dengan ukuran 70 m x 140 m. Satu kali penanaman membutuhkan bibit sebanyak 1000 kg dan menghasilkan 10 kali lipat rumput laut *Gracilaria* sp basah, selanjutnya dikeringkan dan menghasilkan 240.000 kg *Gracilaria* sp kering. Proses pemupukan pada budi daya rumput laut membutuhkan pupuk sekitar 3-5 kg untuk satu kali penanaman.

Output dari budi daya rumput *Gracilaria* sp yaitu rumput laut basah yang kemudian dikeringkan terlebih dahulu sebelum penyimpanan di gudang. Proses penanaman dengan total bibit 160.000 kg/tahun menghasilkan sekitar 10 kali lipat atau 1.600.000 kg rumput laut basah, selanjutnya rumput laut basah dikeringkan dan menghasilkan 240.000 kg rumput laut kering dan limbah padatan (kotoran) seperti kerang, siput dan benda asing yang menempel pada *thallus*. Rata-rata kotoran yang menempel pada *thallus* sekitar 5% dari hasil panen *Gracilaria* sp kering. Data inventori budi daya rumput laut *Gracilaria* sp diperoleh berdasarkan data *input* dan data *output* selama satu tahun (Tabel 7).

Tabel 7 Data inventori proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp

Proses	Inventori	Satuan	Jumlah/tahun
<i>Input</i>			
Pembibitan	Bibit (basah)	kg	160.000
	Air	liter	9.800
Perawatan atau pemeliharaan	Pupuk	kg	1.920
<i>Output</i>			
Panen	Rumput laut basah	kg	1.600.000
	Rumput laut kering	kg	240.000
	Limbah padat (kotoran)	kg	12.000

2. Data inventori pada unit proses transportasi

Data inventori pada unit proses transportasi terdapat tiga jenis data berdasarkan bahan yang digunakan yaitu data inventori transportasi bahan baku, bahan tambahan dan bahan kemasan. Transportasi yang digunakan yaitu truk sedang dengan bahan bakar solar. Masing-masing bahan mempunyai *supplier* yang berbeda, sehingga memiliki jarak yang berbeda. Jenis kendaraan yang digunakan yaitu *light commercial vehicle* (LCV). LCV merupakan jenis kendaraan niaga ringan beroda empat yang banyak digunakan untuk mengangkut barang yang beratnya kurang dari 3,5 ton. Perhitungan data inventori transportasi dilakukan dengan *software* Simparo menggunakan satuan ton.km (tkm). Perhitungan data inventori dengan satuan tkm diperoleh dari data beban berat muatan dalam satuan ton pada kendaraan dikalikan dengan jarak yang ditempuh dalam satuan kilometer (km). Penentuan jarak dari *supplier* ke industri berdasarkan aplikasi *google maps* dan dihitung untuk sekali perjalanan. Data inventori pada unit transportasi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Data inventori proses transportasi dari *supplier* ke PT XYZ

Transportasi ¹	Jenis Kendaraan	Berat	Jarak (tkm)
Bahan baku <i>Gracilaria</i> sp	LCV	2000	3689
Bahan tambahan NaOH	LCV	1090	11957
NaOCl	LCV	1090	703,35
H ₂ SO ₄	LCV	1090	859,65
Filter aid	LCV	1090	2.891,55
Bahan kemasan <i>Kraft paper</i>	LCV	1090	263,50

Sumber data : ¹PT XYZ

3. Data inventori pada unit proses produksi tepung agar

Produksi tepung agar di PT XYZ memiliki data inventori berupa data *input* dan *output*. Data *input* terdiri atas data bahan baku berupa rumput laut *Gracilaria* sp. Bahan tambahan berupa bahan kimia yaitu NaOH, NaOCl, H₂SO₄, filter aid dan bahan kemasan berupa *kraft paper*. Data *output* terdiri atas data limbah cair dan limbah padat yang dihasilkan dari proses produksi. Selain itu, PT XYZ membutuhkan sumber energi untuk produksi. Sumber energi yang digunakan berupa batu bara, listrik, solar dan LPG. Batu bara menghasilkan energi panas yang digunakan sebagai sumber penghasil panas untuk *boiler*. Listrik menjadi sumber energi untuk menggerakkan mesin-mesin produksi, pengolahan limbah dan penerangan. Solar digunakan sebagai bahan bakar transportasi di industri untuk menggangkut limbah padat hasil produksi ke tempat pembuangan limbah yang berlokasi di belakang industri. LPG digunakan sebagai bahan bakar kompor gas untuk proses pemasakan tepung yang dikaji uji *gel strength* nya. Data inventori yang digunakan pada kajian LCA ini yaitu data produksi pada tahun 2019 yang dapat dilihat pada Tabel 9.

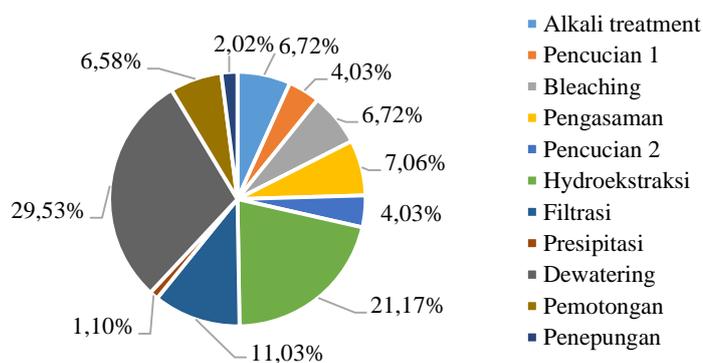
Data input yang digunakan yaitu data kebutuhan bahan selama proses produksi tepung agar selama 1 tahun di Tahun 2019. Kebutuhan sumber energi berupa batu bara sebagai bahan bakar untuk boiler membutuhkan jumlah yang cukup besar, karena untuk satu kali proses membutuhkan sekitar 350 kg batu bara. Boiler atau ketel uap berfungsi untuk memproduksi steam atau uap yang memiliki temperature tinggi yang digunakan untuk proses produksi. Tahapan proses produksi yang membutuhkan energi panas yaitu alkali treatment, hidroekstraksi dan pengeringan. Selain batu bara, sumber energi listrik juga penting untuk tahapan proses produksi tepung agar. Sebagian besar proses produksi tepung agar menggunakan listrik untuk menggerakkan mesin produksi. Persentase penggunaan listrik pada proses produksi tepung agar dapat dilihat pada Gambar 16.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 9 Data inventori proses produksi tepung agar di PT XYZ tahun 2019

Data	Satuan/tahun	Jumlah
Input		
<i>Glacillaria</i> sp	kg	237.600
Bahan tambahan		
NaOH	kg	166.320
H ₂ SO ₄	kg	11.880
NaOCl	kg	9.504
Filter aid	kg	39.600
Air	liter	32.076.000
Bahan kemasan		
<i>Kraft paper</i>	pcs	1.055
Sumber energi		
Listrik	kwh	66.429
Batu bara	kg	148.500
Solar	liter	118,8
LPG	liter	91,47
Output		
Produk tepung agar	kg	26.366
Limbah cair	liter	29.169.360
Limbah padat	kg	2.652.241,22

Proses produksi tepung agar di PT XYZ mendominasi penggunaan energi listrik tertinggi pada proses *dewatering* dengan persentase 29,53%, hidroekstraksi 21,17% dan filtrasi 11,03% serta diikuti oleh tahapan-tahapan pengolahan lainnya. Persentase nilai tingginya penggunaan atau konsumsi listrik karena penggunaan peralatan yang memerlukan daya besar dan waktu proses yang cukup lama.



Gambar 16 Persentase konsumsi energi listrik produksi tepung agar

Satu kali proses produksi tepung agar dengan bahan baku rumput *Gracillaria* sp sebanyak 600 kg menghasilkan 66,43 kg tepung agar. Total kebutuhan listrik untuk produksi 1 kg tepung agar yaitu 4,11 kWh. Tiga proses utama yang mengkonsumsi listrik paling besar secara berturut-turut yaitu proses *dewatering*, hidroekstraksi dan filtrasi. Beberapa mesin produksi yang mengkonsumsi listrik dengan daya besar seperti motor agitator, pompa sirkulasi, pompa transfer, pompa

hidrolik, pompa piston dan pompa air. Konsumsi listrik pada setiap tahapan proses produksi tepung agar dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Konsumsi listrik pada produksi tepung agar

Tahapan proses	Total konsumsi listrik (kWh)	Tahapan proses (%)
Alkali treatment	18,33	6,72
Pencucian 1	11,00	4,03
Bleaching	18,33	6,72
Pengasaman	19,25	7,06
Pencucian 2	11,00	4,03
Hidroekstraksi	57,75	21,17
Filtrasi	30,08	11,03
Presipitasi	3,00	1,10
Dewatering	80,55	29,53
Pemotongan	17,93	6,58
Penepungan	5,50	2,02

4.2.3 Analisis dampak

Analisis dampak merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengetahui dampak lingkungan dari daur hidup tepung agar. Perhitungan nilai dampak dilakukan berdasarkan data inventori yang sudah dianalisis pada tahap sebelumnya. Besaran nilai dampak lingkungan sesuai dengan data *input* yang digunakan dan *output* yang dihasilkan. Perhitungan nilai dampak lingkungan dilakukan dengan unit fungsi 1 kg tepung agar pada setiap unit proses.

1. Analisis dampak berdasarkan unit proses

Kajian LCA tepung agar dengan batasan ruang lingkup *cradle to gate* menghasilkan dampak lingkungan pada setiap unit proses yang dikaji. Satu daur hidup tepung agar yang dikaji terbagi menjadi tiga unit proses yaitu proses budi daya rumput laut, transportasi bahan baku ke industri, dan proses produksi di industri. Setiap unit proses menghasilkan dampak lingkungan. Besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dalam 1 tahun dibagi dengan jumlah produk yang dihasilkan PT.XYZ untuk mendapatkan nilai dampak lingkungan untuk 1 kg tepung agar.

a. Analisis dampak pada unit proses budi daya rumput *Gracilaria* sp

Proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dilakukan di tambak budi daya. Proses awal budi daya rumput laut yaitu dari mulai persiapan tambak, pembibitan, penanaman, perawatan atau pemeliharaan, panen dan pasca panen. Rumput laut yang berusia 2 bulan sudah siap panen, dan budi daya rumput selanjutnya dimulai dari pembibitan sampai panen dan pasca panen. Proses panen kedua dan selanjutnya bisa dilakukan ketika rumput laut berusia 30-45 hari. Pada penelitian ini, proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dilakukan di tambak berukuran 70 m x 140 m.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Proses pembibitan menggunakan 1 ton bibit dengan kebutuhan air sekitar 9800 liter berdasarkan volume tambak. Budi daya rumput laut *Gracilaria* sp yang dilakukan di tambak menggunakan metode tebar. Metode tebar merupakan metode yang relatif sederhana dan membutuhkan biaya yang lebih murah, disamping itu proses budi daya bisa dilakukan dengan sistem polikultur dengan udang dan bandeng. Keuntungan budi daya rumput laut di tambak salah satunya berfungsi untuk menghasilkan oksigen dalam air dan sebagai filter. Budi daya rumput laut *Gracilaria* sp menghasilkan emisi yang berasal dari penggunaan pupuk selama proses budi daya. Pupuk yang digunakan yaitu pupuk urea. Pupuk urea merupakan pupuk yang memiliki nilai kandungan nitrogen (N) yang cukup tinggi sebesar (45%-56%) (Kogoya *et al.* 2018). Nitrogen merupakan komponen yang penting bagi pertumbuhan rumput laut, karena bermanfaat untuk merangsang pertumbuhan tanaman melalui pembentukan klorofil dan proses fotosintesis (Setiaji *et al.* 2012).

Analisis dampak dihitung dengan unit fungsi 1 kg tepung agar. Berdasarkan analisis neraca massa produk tepung agar, dapat diketahui untuk memproduksi 1 kg tepung agar dibutuhkan 9,03 kg rumput laut *Gracilaria* sp kering. Perhitungan dampak lingkungan dihitung menggunakan *software* Simapro untuk mengetahui dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit proses budi daya *Gracilaria* sp

Dampak	Satuan	Nilai dampak/kg-rumput laut <i>Gracilaria</i> sp kering	Nilai dampak / kg-tepung agar
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	2,61E-02	2,35E-01
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	1,39E-04	1,26E-03
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	2,94E-05	2,65E-04

Tabel 11 menunjukkan nilai dampak terbesar dari penggunaan pupuk pada budi daya rumput laut *Gracilaria* sp adalah pemanasan global. Penggunaan pupuk berkontribusi menyumbang dampak pemanasan global dari gas N₂O yang dihasilkan dari proses denitrifikasi pada penggunaan pupuk. Selain itu, daur hidup produk urea juga memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kategori dampak pemanasan global sebesar 4,73 kgCO₂eq/50 kg (Adiansyah *et al.* 2019).

b. Analisis dampak pada unit proses transportasi bahan baku

Proses transportasi bahan baku dari *supplier* ke industri menghasilkan dampak lingkungan. Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi berasal dari penggunaan solar sebagai bahan bakar transportasi. Jenis bahan bakar solar yang digunakan yaitu B20 dengan komposisi pencampuran 20% biodiesel dan 80% bahan bakar minyak jenis solar. Perhitungan dampak lingkungan pada unit transportasi dihitung untuk 1 kg tepung agar. Produksi 1 kg tepung agar membutuhkan 9,03 kg rumput laut *Gracilaria* sp kering. Besaran nilai dampak lingkungan pada unit proses transportasi dihitung menggunakan *software* Simapro dengan satuan ton.km (tkm) dan asumsi satu kali perjalanan. Besaran dampak lingkungan pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi bahan baku

Dampak	Satuan	Nilai dampak /kg-rumput laut <i>Gracilaria</i> sp kering	Nilai dampak / kg-tepung agar
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	5,60E-02	5,06E-01
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	2,72E-04	2,45E-03
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	6,58E-05	5,94E-04

c. Analisis dampak pada unit proses produksi tepung agar

Proses produksi tepung agar di PT XYZ membutuhkan *input* berupa bahan baku, bahan tambahan berupa bahan kimia dan kemasan, penggunaan energi dan menghasilkan *output* berupa produk, limbah dan emisi. Pada unit produksi, perhitungan dampak dari pengadaan bahan tambahan berupa bahan-bahan kimia dan bahan kemasan, termasuk transportasi pengadaan bahan ke industri dilakukan analisis dampak lingkungannya. Dampak lingkungan dihitung berdasarkan berat bahan sebagai muatan dan jarak yang ditempuh ke industri, dengan satuan ton.km (tkm). Besaran dampak lingkungan yang dikaji untuk produksi 1 kg tepung agar di PT XYZ dari setiap sumber emisi dapat dilihat pada Tabel 13. Besaran dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi pada unit proses produksi dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 13 Besaran dampak pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi untuk produksi tepung agar di PT XYZ berdasarkan sumber emisi

Sumber emisi	Jenis dampak lingkungan (Nilai dampak/kg tepung agar)		
	Pemanasan global (kg-CO ₂ eq)	Asidifikasi (kg-SO ₂ eq)	Eutrofikasi (kg-PO ₄ eq)
Bahan baku			
<i>Gracilaria</i> sp	3,86E-02	1,72E-04	3,87E-05
Bahan tambahan			
NaOH	4,16E+00	2,85E-02	1,95E-03
H ₂ SO ₄	1,02E-01	5,08E-04	8,92E-05
NaOCl	1,73E+00	7,51E-03	3,30E-03
Filter aid	2,72E-01	1,61E-03	3,94E-04
Bahan kemasan			
<i>Kraft paper</i>	3,11E-01	1,52E-03	5,36E-04
Sumber energi			
Listrik	2,70E+00	1,16E-02	1,42E-02
Batu bara	1,66E+01	1,33E-01	5,33E-03
Solar	1,16E-01	5,16E-04	1,42E-04
LPG	2,12E-03	2,16E-05	2,39E-06
Limbah cair	8,25E+00	0,00E+00	2,90E-02
Limbah padat	3,61E-02	6,10E-04	7,37E-05

Tabel 14 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit produksi produk

Dampak	Satuan	Nilai dampak /kg-tepung agar
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	2,60E+01
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	1,83E-01
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	2,56E-02

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penilaian satu daur hidup tepung agar terbagi menjadi tiga unit proses yaitu unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp, transportasi dan proses produksi. Unit fungsi 1 kg tepung agar digunakan sebagai satuan acuan untuk menghitung nilai total dampak lingkungan dari produksi tepung agar. Pada unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dan transportasi menghasilkan rumput laut *Gracilaria* sp kering, sehingga perlu dihitung kebutuhan rumput laut *Gracilaria* sp kering untuk memudahkan perhitungan nilai total emisi dampak yang dihasilkan. Nilai total dampak lingkungan untuk 1 kg tepung agar merupakan penjumlahan dari nilai dampak yang dihasilkan dari setiap unit proses. Besaran nilai dampak pada satu siklus hidup produk tepung agar dapat dilihat pada Tabel 15. Perhitungan nilai dampak dari 1 kg produk tepung agar menggunakan *software* Simapro untuk mengetahui dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi dapat dilihat pada Lampiran 2, 3 dan 4.

Tabel 15 Total nilai dampak lingkungan per 1 kg tepung agar

Dampak	Unit proses	Nilai dampak
Pemanasan global (kg-CO ₂ eq/kg tepung agar)	Budi daya rumput laut <i>Gracilaria</i> sp	2,35E-01
	Transportasi bahan baku	5,60E-02
	Produksi	2,60E+01
	Total	2,63E+01
Asidifikasi (kg-SO ₂ eq/kg tepung agar)	Budi daya rumput laut <i>Gracilaria</i> sp	1,26E-03
	Transportasi bahan baku	2,45E-03
	Produksi	1,85E-01
	Total	1,88E-01
Eutrofikasi (kg-PO ₄ eq/kg tepung agar)	Budi daya rumput laut <i>Gracilaria</i> sp	2,65E-04
	Transportasi bahan baku	5,94E-04
	Produksi	2,60E-02
	Total	2,69E-02

2. Analisis dampak berdasarkan sumber emisi

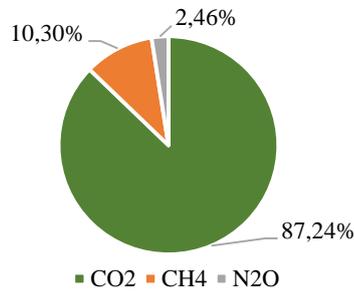
Setiap unit proses menghasilkan berbagai sumber emisi yang dapat menyebabkan dampak lingkungan berupa pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi. Perhitungan nilai karakteristik dampak lingkungan dilakukan berdasarkan sumber emisi yang menjadi *input* dan *output* sesuai data inventori yang digunakan pada setiap unit proses.

a. Pemanasan global

Pemanasan global disebabkan oleh beberapa jenis gas yang menyebabkan peningkatan temperatur permukaan bumi atau *global warming*. Beberapa gas atau jenis polutan yang berperan menimbulkan pemanasan global antara lain karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrooksida (N₂O)(Latake and Pawar, 2015). Besaran nilai dampak pemanasan global daur hidup tepung agar berdasarkan sumber emisi dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 menunjukkan dampak terbesar dari jenis polutan CO₂ dan N₂O berasal dari penggunaan batu bara, sedangkan jenis polutan CH₄ berasal dari limbah cair. Sebagian besar pada unit proses mulai dari proses budi daya rumput laut,

transportasi bahan baku dan proses produksi menghasilkan dampak pemanasan global sekitar 87,24 %. Persentase masing-masing jenis polutan penyebab pemanasan global dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Persentase jenis polutan penyebab pemanasan global

Tabel 16 Besaran nilai dampak pemanasan global berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar

Sumber emisi	Jenis polutan (kg-CO ₂ eq/tahun)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Pupuk	2,32E-02	4,50E-06	2,65E-01
Solar ¹	1,02E+01	6,56E-07	8,52E-02
<i>Gracilaria</i> sp	8,77E+03	5,99E-04	5,42E+01
NaOH	6,51E+05	3,15E+04	4,26E+03
NaOCl	1,47E+04	4,98E-04	1,39E+02
H ₂ SO ₄	1,13E+03	5,33E+01	1,03E+01
Filter aid	1,03E+04	3,54E-04	1,26E+02
<i>Kraft paper</i>	3,10E+02	1,17E-05	4,97E+00
Limbah padat	7,49E+04	2,72E-03	2,08E+04
Limbah cair	-	2,17E+05	-
Listrik	1,74E+05	5,60E-04	1,14E+03
Batu bara	2,28E+06	9,67E+04	8,18E+04
Solar ²	1,33E+01	4,95E-07	1,41E-01
LPG	1,78E-01	2,74E-09	1,60E-03

¹ bahan bakar untuk transportasi bahan baku

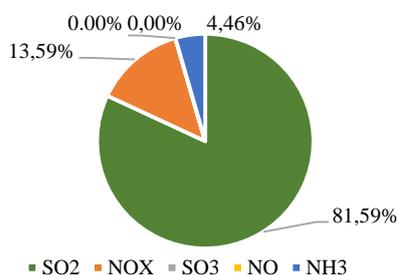
² bahan bakar untuk transportasi di industri

b. Asidifikasi

Asidifikasi merupakan salah satu dampak lingkungan yang terjadi akibat adanya proses pengasaman air. Hal ini terjadi ketika polutan SO₂ dan NO_x mencapai atmosfer bereaksi dengan uap air dan mengalami oksidasi dan menghasilkan asam sulfat dan asam nitrat dalam awan yang kemudian jatuh ke tanah dalam hujan atau salju (*wet deposition*). Pengasaman meningkat karena nilai SO₂ dan NO_x yang meningkat (Norton *et al.* 2013). Beberapa polutan yang menyebabkan asidifikasi adalah SO₂, NO_x, SO₃, NO, dan NH₃. Besaran nilai dampak asidifikasi untuk masing-masing jenis polutan pada daur hidup tepung agar dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17 dapat dilihat bahwa produksi tepung agar menghasilkan polutan SO₂ dan NO_x yang besar dari penggunaan batu bara. Hasil perhitungan untuk ketiga jenis polutan lainnya relatif cukup rendah dan tidak berpengaruh secara signifikan

terhadap asidifikasi. Persentase masing-masing jenis polutan penyebab dampak asidifikasi dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Persentase jenis polutan penyebab dampak asidifikasi

Tabel 17 Besaran nilai dampak asidifikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar

Sumber emisi	Jenis polutan (kg-SO ₂ eq/tahun)				
	SO ₂	NO _x	SO ₃	NO	NH ₃
Pupuk	1,43E-01	3,66E-02	8,21E-09	1,43E-08	8,72E-02
Solar ¹	2,72E-02	1,59E-02	2,51E-09	3,32E-09	9,08E-03
<i>Gracilaria</i> sp	1,96E+01	1,50E+01	1,64E-06	2,31E-06	6,29E+00
NaOH	3,91E+03	3,11E+02	4,27E-05	1,06E-04	1,18E+01
NaOCl	5,09E+01	1,96E+01	6,73E-06	3,57E-05	8,88E-01
H ₂ SO ₄	4,00E+00	3,81E-01	2,19E-07	3,55E-07	5,71E-02
Filter aid	3,06E+01	3,14E+01	4,13E-06	4,12E-06	1,67E+00
<i>Kraft paper</i>	8,85E-01	6,88E-01	6,02E-06	3,35E-07	3,43E-02
Limbah padat	2,07E+02	2,56E+02	1,73E-05	3,51E-05	1,15E+03
Listrik	5,41E+02	2,30E+02	8,68E-06	9,64E-06	1,55E+00
Batu bara	1,69E+04	2,72E+03	0,00E+00	0,00E+00	5,30E-01
Solar	3,09E-02	2,95E-02	4,06E-09	4,54E-09	8,53E-04
LPG	1,63E-03	3,46E-04	8,25E-11	7,05E-11	5,97E-06

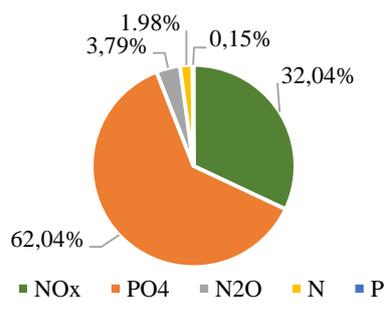
¹ bahan bakar untuk transportasi bahan baku

² bahan bakar untuk transportasi di industri

c. Eutrofikasi

Eutrofikasi merupakan permasalahan lingkungan yang terjadi di ekosistem akuatik yang mengakibatkan penipisan oksigen yang dapat merusak ekosistem perairan, yang disebabkan oleh hilangnya fosfor (Liu dan Chen 2018). Beberapa polutan yang menyebabkan eutrofikasi adalah NO_x, PO₄, N₂O, N dan P. Besaran nilai dampak eutrofikasi untuk masing-masing jenis polutan pada daur hidup tepung agar dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18 menunjukkan dampak eutrofikasi terbesar dari jenis polutan berupa fosfat (PO₄). Penyebab dampak eutrofikasi yaitu dari penggunaan listrik dan limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi. Hal ini menunjukkan daur hidup tepung agar mengeluarkan jenis polutan fosfat yang cukup tinggi dibanding jenis polutan lainnya. Persentase masing-masing jenis polutan penyebab dampak eutrofikasi dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Persentase jenis polutan penyebab eutrofikasi

Tabel 18 Besaran nilai dampak eutrofikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar

Sumber emisi	Jenis polutan (kg- PO ₄ eq/tahun)				
	NO _x	PO ₄	N ₂ O	N	P
Pupuk	9,53E-03	2,25E-02	2,70E-04	5,66E-04	8,21E-05
Solar ¹	4,15E-03	5,38E-03	8,68E-05	1,40E-04	2,22E-05
<i>Gracilaria</i> sp	3,89E+00	3,01E+00	5,52E-02	8,97E-02	1,24E-02
NaOH	8,07E+01	8,03E+01	4,34E+00	1,28E+00	2,36E-01
NaOCl	5,11E+00	2,25E+01	1,42E-01	8,04E-01	3,13E+01
H ₂ SO ₄	4,15E-01	4,09E-01	1,05E-02	2,71E-03	1,21E-03
Filter aid	8,17E+00	5,91E+00	1,29E-01	1,72E-01	1,78E-02
<i>Kraft paper</i>	1,79E-01	2,87E-01	5,07E-03	1,15E-02	3,15E-02
Limbah padat	6,66E+01	7,43E+01	2,12E+01	2,95E+01	3,93E+00
Limbah cair	-	7,64E+02	-	-	-
Listrik	5,99E+01	8,56E+02	1,16E+00	2,58E+01	7,08E-02
Batu bara	7,08E+02	0,00E+00	8,33E+01	2,57E-10	0,00E+00
Solar ²	7,68E-03	7,52E-03	1,44E-04	1,35E-04	2,25E-05
LPG	8,99E-05	3,61E-05	1,63E-06	1,24E-06	1,56E-06

¹bahan bakar untuk transportasi bahan baku
²bahan bakar untuk transportasi di industri

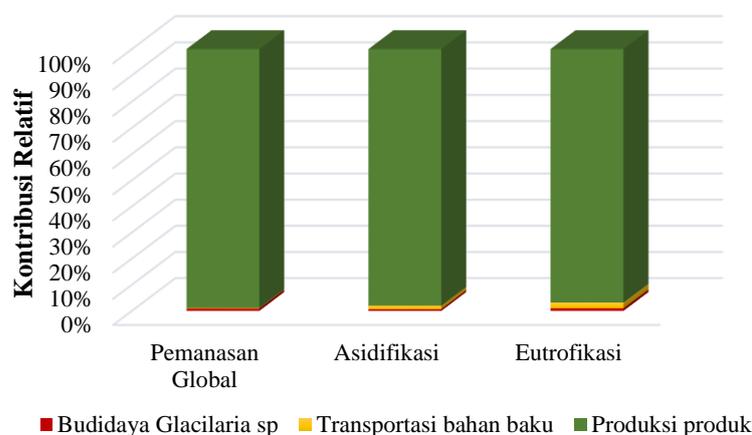
4.2.4 Interpretasi

Daur hidup tepung agar membutuhkan *input* dan menghasilkan *output* dari setiap unit proses, mulai dari proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp, transportasi bahan baku dan proses produksi produk di industri. Satu kali proses produksi tepung agar dengan bahan baku rumput *Gracilaria* sp sebanyak 600 kg menghasilkan 66,43 kg tepung agar. Total kebutuhan listrik untuk proses produksi 1 kg tepung agar yaitu 4,10 Kwh/produk. Hasil analisis dampak menunjukkan nilai dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 26,28 kg-CO₂eq/kg tepung agar ; 0,19 kg-SO₂eq/kg tepung agar dan 0,03 kg-PO₄ eq/kg tepung agar.

Gambar 20 menunjukkan kontribusi dari masing-masing unit proses pada kategori dampak yang dikaji. Unit proses produksi memberikan dampak lingkungan terbesar untuk kategori dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi. Dampak yang dihasilkan berasal dari penggunaan batu bara sebagai bahan bakar *boiler*, konsumsi listrik yang tinggi dan limbah cair yang dihasilkan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

dari proses produksi. Vijay *et al.* (2018) mengevaluasi dampak lingkungan pada proses pengolahan rumput laut *Gracilaria edulis* menjadi agar dengan persepektif *cradle-to-gate*. Hasil penelitian menunjukkan proses produksi agar dari hasil ekstraksi 1 kg rumput laut *Gracilaria edulis* pada tahap budi daya menghasilkan dampak sebesar 13,2 kg-CO₂eq/kg agar ; 1,67x10⁻³ kg-Peq/kg agar dan 0,0412 kg-SO₂eq/kg agar, tahap transportasi sebesar 5,08 kg-CO₂eq/kg agar ; 1x10⁻⁶ kgPeq/kg agar dan 7,43x10⁻³ kg-SO₂eq/kg agar dan tahap produksi sebesar 54,9 kg-CO₂eq/kg agar ; 0,01184 kg-Peq/kg agar, dan 4,03x10⁻³kg-SO₂eq/kg agar. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui dampak lingkungan terbesar adalah perubahan iklim (*climate change*) atau pemanasan global dari tahapan proses produksi dengan total 73,1 kg-CO₂eq.



Gambar 20 Kontribusi relatif dari setiap unit proses pada kategori dampak

4.3 Analisis Daur Hidup Tepung Karagenan

Daur hidup tepung karagenan yang dikaji terdiri dari tiga unit proses yaitu budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*, proses transportasi bahan baku dan bahan penunjang lainnya ke industri dan proses produksi tepung karagenan di PT XYZ. Pada kajian ini menggunakan hasil pengolahan data primer dan data sekunder dengan metode wawancara kepada beberapa pihak terkait dengan list pertanyaan dan hasil wawancara yang diarsipkan. Uraian hasil wawancara pada masing-masing unit proses diantaranya :

1. Budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*

Pada proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* data hasil kajian diperoleh dari hasil wawancara dengan petani budi daya. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui *Eucheuma cottonii* merupakan bahan baku yang digunakan untuk proses produksi tepung karagenan. Budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* pada penelitian ini dilakukan di perairan pulau Karimunjawa. Adapun beberapa tahapan budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* yang dilakukan yaitu:

a. Persiapan lokasi

Lokasi yang digunakan untuk proses budi daya *Eucheuma cottonii* memiliki tipe perairan dengan dasar perairan berupa pasir. Perairan yang digunakan yaitu laut dangkal terlindung dengan kedalaman 2,5 meter. Lokasi budi daya terlindung dari

ombak yang kuat yang dapat merusak konstruksi budi daya dan tanaman rumput laut. Konstruksi sarana budi daya yang dilakukan yaitu dengan metode lepas dasar sistem patok. Patok yang digunakan yaitu kayu berdiameter 2 meter dan ditancapkan ke dasar laut dengan kedalaman sekitar 1,5 meter. Selanjutnya proses pemasangan patok di sebelah patok yang sudah terpasang. Pemasangan patok-patok berikutnya dipasang disebelahnya dengan sejajar berjarak sekitar 50 cm dan selanjutnya ikatkan tali *polyethylene* (PE) atau tali rafia untuk pengikat bibit pada tali bentangan. Jarak antar bibit yaitu 20 cm, sedangkan tali bentangan yang digunakan yaitu 1 meter.

b. Pembibitan

Umur bibit yang digunakan yaitu 15 hari. Bibit diperoleh dari pembelian ke kebun bibit tetangga dengan jarak tempuh ke lokasi budi daya sekitar 100 meter. Bibit yang dipilih yaitu bibit yang segar, bercabang, tidak ada bercak, tidak ditumbuhi lumut dan memiliki banyak calon *thallus* atau anakan rumput laut. Pengangkutan bibit dari kebun bibit dilakukan pada pagi hari dan diangkut dalam keadaan basah serta menggunakan penutup untuk menghindari sinar matahari atau hujan.

c. Penanaman

Proses penanaman rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan pada lahan yang disesuaikan dengan konstruksi sarana budi daya yang siap dilakukan penanaman. Tali bentangan yang beserta tali pengikatnya dibersihkan dari lumut atau kotoran yang menempel. Apabila menggunakan tali baru, tali sebaiknya direndam dulu sekitar satu hari untuk penyesuaian keadaan perairan dan menghilangkan zat yang berpotensi menghambat pertumbuhan tanaman rumput laut.

Bibit yang akan ditanam harus dipotong dengan menggunakan pisau. Pemotongan bibit tidak disarankan menggunakan tangan karena menyebabkan pembusukan pada tanaman dan permukaan bekas potongan menggunakan tangan tidak teratur, sehingga kotoran atau bahan asing lainnya mudah menempel. Bibit yang digunakan dilepas satu persatu dari tali ikatan, dan perlu dihindari penggunaan bibit dari *thallus* dengan cara dipurus. Bibit yang ditanam diikat pada tali pengikat bibit berupa tali *Polyethylene* (PE). Tali pengikat bibit yang digunakan sepanjang 30 cm yang diikat pada tali bentangan sepanjang 1 meter dan jarak sekitar 20 cm. Berat bibit pada setiap ikat sekitar 200 gr, dan diusahakan berat bibit seragam untuk mendapatkan hasil maksimal dari laju pertumbuhan yang merata. Pengikatan bibit dilakukan di tempat yang teduh dan tidak terkena matahari secara langsung. Pengikatan bibit dilakukan di bagian pangkal atau tengah rumput laut. Bibit dipanen pada pagi hari, kemudian bibit diikat di siang hari dan langsung dilakukan penanaman pada sore harinya.

d. Perawatan atau pemeliharaan rumput laut

Pengontrolan rumput laut dilakukan selama 1 minggu sekali, dan dilakukan pemeriksaan bibit jika ada yang hilang atau patah dan diganti dengan bibit yang baru. Perawatan juga dilakukan dengan membersihkan rumput laut dari kotoran yang menempel. Pembersihan dilakukan dengan menggoyang-goyang tali bentangan, mengangkat dan menurunkan tali bentangan serta mengambil kotoran

secara langsung. Hama yang sering terjadi pada budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* di penelitian ini yaitu ikan baronang, kakatua dan siput. Gejala serangan hama dari ikan baronang dan kakatua yaitu rumput laut hilang, geripis, dan patah. Sedangkan serangan hama dari siput yaitu rumput laut layu dan warna rumput laut menjadi pucat. Penyakit yang sering terjadi pada pada budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* di penelitian ini yaitu penyakit *ice-ice*, dengan gejala terdapat bercak putih yang muncul dari batang tempat ikatan rumput laut dan pertumbuhan rumput laut lambat, warnanya memutih (pucat) dan rumput laut patah.

e. Panen dan pasca panen

Panen dilakukan setelah rumput laut berumur 40 hari. Pemanenan rumput laut dilakukan pagi hari dan langsung dijemur. Proses panen yang dilakukan yaitu dengan mengangkat tali bentangan ke dalam sampan atau perahu. Selanjutnya, rumput laut dikeringkan menggunakan para-para dengan ketebalan sekitar 10 cm dan dilakukan pembalikan rumput laut supaya kering merata. Rumput laut yang kering memiliki kandungan kadar air sekitar 35%, dengan ciri-ciri apabila rumput laut digenggam terasa menusuk. Apabila rumput laut masih terasa lengket, berarti kandungan kadar airnya masih diatas 35%. Pengerinan dilakukan selama 4 hari, apabila panas mataharinya cukup baik. Rumput laut *Eucheuma cottonii* kering dikemas sebanyak 2 kwintal pada setiap kemasan karung. Rumput laut yang sudah dikemas disimpan dalam gudang penyimpanan yang bersih dan tidak lembab, dan rumput laut siap dikirim ke industri atau pembeli.

2. Transportasi bahan baku dan bahan penunjang

Data hasil kajian pada proses transportasi bahan baku dan penunjang diperoleh dari hasil wawancara dengan kepala bagian produksi dan kepala bagian pangadaan bahan produksi di PT XYZ. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui bahwa proses pengiriman bahan baku berupa rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dilakukan dengan dua moda transportasi. Rumput laut *Eucheuma cottonii* dikirim dalam bentuk kering dari tempat budi daya yang berlokasi di kepulauan Karimunjawa ke pelabuhan Jepara menggunakan kapal barang, selanjutnya bahan baku akan dikirim menggunakan truk dari pelabuhan Jepara ke industri. Perhitungan jarak dari *supplier* ke industri menggunakan aplikasi *google maps*. Kebutuhan bahan bakar solar untuk kapal diasumsikan dengan jarak 1 mil berkecepatan 6 knots dan membutuhkan bahan bakar solar sebesar 6,24 liter (Sa'id 2011), dan untuk truk diasumsikan sebesar 9,6 km/L. Asumsi perhitungan transportasi dihitung untuk sekali perjalanan.

3. Produksi tepung karagenan

Data hasil kajian pada proses produksi diperoleh dari hasil wawancara dengan kepala bagian produksi di PT XYZ. Berdasarkan hasil wawancara dapat diketahui bahwa proses produksi tepung karagenan membutuhkan beberapa bahan diantaranya bahan baku, bahan tambahan dan bahan kemasan. Bahan baku pembuatan tepung karagenan di PT XYZ adalah rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* yang akan menghasilkan tepung karagenan jenis kappa. Bahan tambahan meliputi bahan-bahan kimia diantaranya Kalium Hidroksida (KOH), Kalium Klorida (KCL) dan air. Bahan kemasan yang digunakan adalah *kraft paper*.

a. Bahan Baku

Produksi tepung karagenan menggunakan bahan baku rumput laut *Eucheuma cottonii* yang diperoleh dari pembudi daya maupun penjual rumput laut di kepulauan Karimunjawa Jawa Tengah dalam bentuk kering (Gambar 21). Pemilihan rumput laut kering bertujuan mempermudah dalam pengangkutan bahan baku dan mendapatkan daya simpan yang lebih lama dibandingkan rumput laut yang basah. Harga rumput laut *Eucheuma cottonii* berkisar Rp 15.000-18.000/kg. PT XYZ membutuhkan sekitar 500 kg rumput laut *Eucheuma cottonii* untuk satu kali proses produksi (satu *batch*) yang dimasak dalam tangki proses produksi. Tangki proses produksi yang digunakan berbentuk tabung dengan ukuran diameter 2 meter, tinggi 6 meter dan memiliki volume 12.000 liter.



Gambar 21 Rumput laut *Eucheuma cottonii* kering

b. Bahan tambahan

Bahan tambahan merupakan bahan pendukung atau penunjang yang digunakan pada proses produksi suatu produk. Bahan tambahan yang digunakan pada produksi tepung karagenan diantaranya sebagai berikut :

1) Kalium Hidroksida (KOH)

Kalium hidroksida merupakan senyawa anorganik yang memiliki rumus kimia KOH dan pada umumnya disebut potash kaustik. KOH adalah padatan yang tak berwarna, tergolong basa kuat dan termasuk bahan berbahaya. Proses produksi karagenan membutuhkan KOH sebagai bahan tambahan yang ditambahkan ketika proses *Alkali Treatment* pada suhu 80°C selama 2 jam. Konsentrasi KOH yang diberikan sebanyak 7% yang bertujuan untuk memutus ikatan sulfat agar mengikat air lebih banyak dan mempermudah ekstraksi. Konsentrasi KOH dapat mempengaruhi rendemen tepung agar. Semakin tinggi nilai konsentrasi dari KOH, maka rendemen tepung karagenan yang dihasilkan juga mengalami kenaikan (Tunggal dan Hendrawati 2015).

KOH berfungsi sebagai *stabilizer* pada proses hidroekstraksi yang dapat meningkatkan titik leleh karagenan diatas suhu pemanasnya ($\pm 80^{\circ}\text{C}$) sehingga tidak larut menjadi pasta. Penggunaan KOH dalam proses hidroekstraksi juga mampu meningkatkan kekuatan gel *kappa* karagenan. Hal ini disebabkan karena *kappa* karagenan sensitif dengan ion K^+ yang mampu meningkatkan kekuatan ionik dalam rantai polimer karagenan, sehingga gaya antar molekul terlarut semakin besar yang menyebabkan keseimbangan antara ion-ion yang terlarut dengan ion-ion yang terikat didalam struktur karagenan yang membentuk gel (Harun *et al.* 2013).

2) Kalium Klorida

Kalium Klorida atau *potassium chloride* dengan rumus kimia KCl merupakan senyawa garam alkali tanah dengan halida yang terbentuk dari unsur kalium dan klor. Pada umumnya senyawa ini memiliki wujud seperti garam kristal berwarna putih atau tidak berwarna dan mudah larut dalam air. Proses produksi karagenan perlu ditambahkan KCl untuk membantu pembuatan gel atau memicu proses penjedalan. Penambahan KCl diberikan pada saat konveyor produksi berjalan dan air mengalir. Produksi karagenan berbahan baku rumput laut *Eucheuma cottonii* menunjukkan adanya rendemen rumput laut yang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi KCL (Mappiratu 2009).

3) Air

Air merupakan salah satu elemen penting untuk proses produksi tepung karagenan terutama proses pelarutan bahan dan pencucian. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali sampai bahan baku *Eucheuma cottonii* bersih dari kotoran organik maupun anorganik. Air akan dialirkan melalui pipa-pipa yang melekat pada drum atau tangki proses. Air memiliki peranan yang sangat penting untuk kelancaran proses produksi tepung karagenan karena sebagian besar tahapan proses produksi membutuhkan air, sehingga keterbatasan air menjadi penghambat untuk proses produksi di Industri rumput laut.

c. Bahan kemasan

PT XYZ menggunakan bahan kemasan berupa kemasan kantong *kraft paper* dengan kapasitas 25kg tepung karagenan/kemasan. *Kraft paper* berwarna coklat berbentuk sak tau kantong yang memiliki ketebalan kertas 110 – 180 gr/m² dan didalamnya sudah terlapis plastik. Produk yang sudah dikemas rapi kemudian akan di *seal* dan siap untuk didistribusikan ke konsumen. Pengemasan produk tepung karagenan dapat dilihat pada Gambar 22 berikut.



Gambar 22 Kemasan produk tepung karagenan

d. Diagram alir proses produksi tepung karagenan

Secara garis besar, metode proses ekstraksi pada proses produksi tepung karagenan ada dua macam yaitu metode alkohol (*alcohol method*) dan metode tekan (*pressing method*). Pemilihan metode proses produksi menjadi hal penting, karena bertujuan untuk memperoleh proses yang efisien dengan produk terbaik. PT XYZ menggunakan metode tekan untuk proses produksi tepung karagenan. Diagram alir proses produksi tepung karagenan disajikan pada Gambar 23. Beberapa proses produksi tepung karagenan diantaranya :

1) *Alkali Treatment*

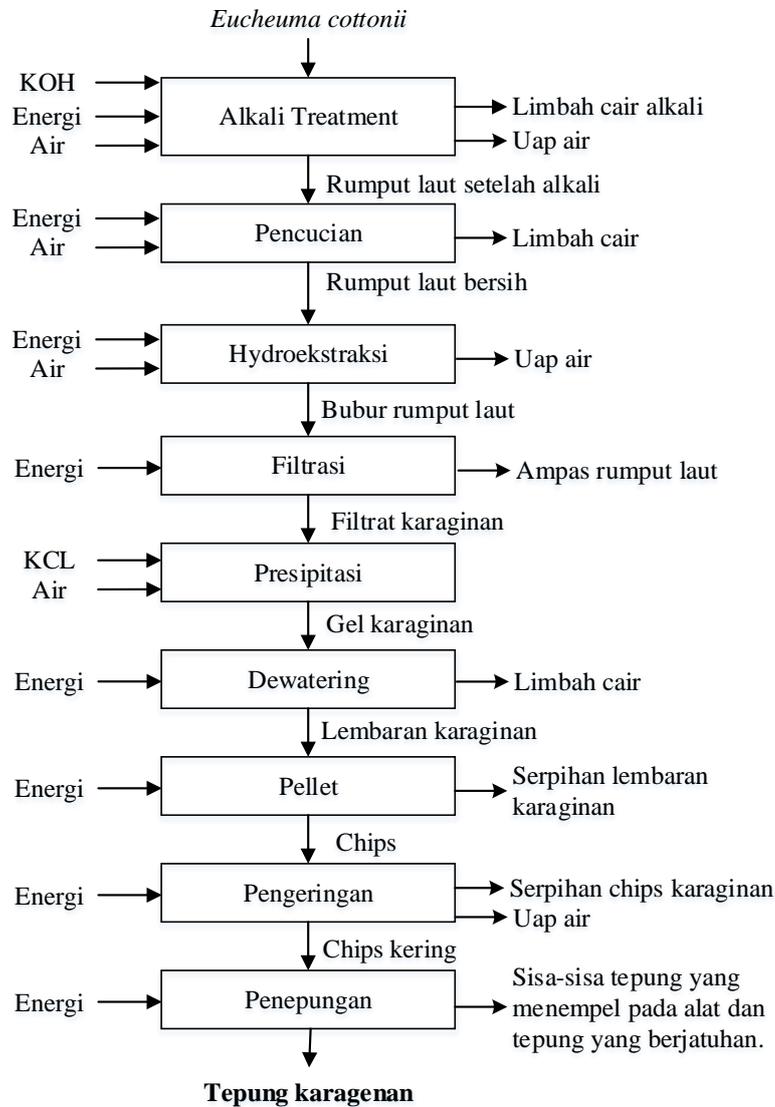
Perlakuan alkali merupakan titik kritis dari serangkaian proses ekstraksi karagenan. Perlakuan ini bertujuan untuk memutus ikatan sulfat pada polimer rumput laut yang akan menentukan kekuatan gel tepung karagenan yang dihasilkan. Perlakuan alkali yang digunakan pada proses produksi karagenan adalah menggunakan larutan basa. Larutan basa yang digunakan adalah salah satu jenis basa kuat yaitu kalium hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 7%. Suhu yang digunakan pada perlakuan basa yaitu suhu yang tetap dipertahankan 80°C selama 2 jam. Penggunaan larutan KOH dapat digunakan beberapa kali siklus proses dengan tetap menjaga suhu konsentrasinya. Konsentrasi larutan KOH diuji setiap akan digunakan pada setiap *batch* baru dalam proses. Pada saat proses produksi apabila larutan KOH konsentrasinya kurang dari 7% maka harus ditambahkan KOH lagi sampai mencapai konsentrasi yang dibutuhkan.

Larutan KOH merupakan larutan alkali yang mempunyai dua fungsi yaitu membantu ekstraksi polisakarida dengan cara memecah dinding sel dari rumput laut dan mempercepat pemutusan gugus 6-sulfat membentuk 3,6-anhidro-D-galaktosa yang menyebabkan berubahnya struktur *mu* karagenan menjadi kappa karagenan (Distantina *et al.* 2014). Golongan alkali adalah reduktor yang kuat dan penghantar panas yang baik sehingga dapat memutus ikatan ester pada dinding sel rumput laut yang mengakibatkan dinding sel rumput laut lisis. Hal tersebut menjadikan karagenan dapat terekstrak dan larut dengan air pada saat *hydroextraction*. Reaksi pemutusan gugus 6-sulfat membentuk 3,6-anhidro-D-galaktosa terjadi karena adanya transformasi gugus sulfat yang terikat dalam gugus galaktosa olen ion Na⁺ atau K⁺ dengan membentuk garam Na₂SO₄ atau K₂SO₄ didalam larutan, dan pengeluaran molekul air membentuk polimer anhidrous galaktosa dimana ion H⁺ atau larutan alkali bereaksi dengan ikatan bergugus H membentuk karagenan dan air.

2) Pencucian

pH rumput laut sangat basa pada rentang nilai 9-12 setelah proses perlakuan basa. Pada proses selanjutnya, pH rumput laut harus dinetralkan dengan cara pencucian. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali atau sampai pH rumput laut bernilai 7 (netral). Proses uji nilai pH dilakukan di akhir pencucian dengan menggunakan pH paper. Adapun ciri-ciri pH rumput laut bernilai netral salah satunya adalah tidak licin. Pencucian yang kurang maksimal akan mempengaruhi warna menjadi kehitaman pada tepung karagenan yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan karena larutan basa masih menempel pada rumput laut. *Output* yang dihasilkan pada proses ini yaitu rumput laut *Eucheuma cottonii* yang bersih yang

memiliki pH bernilai 7 (netral) dan limbah cair pencucian yang akan dialirkan ke Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL).



Gambar 23 Diagram alir produksi tepung karagenan

3) Hidroekstraksi

Hidroekstraksi merupakan proses ekstraksi tepung karagenan melalui pemasakan dengan air. Proses pemasakan membutuhkan air dengan perbandingan 1:20 dari bahan baku rumput laut. Pemasakan dilakukan pada suhu 80°C selama 2 jam sambil dilakukan pengadukan sampai rumput laut hancur menjadi bubur. Rentang waktu pemasakan dengan air adalah salah satu titik kritis yang akan menentukan rendemen tepung karagenan. Proses pemasakan dengan air harus dipastikan sampai semua bagian dari rumput laut menjadi bubur secara keseluruhan. Semakin lama waktu perebusan, semakin tinggi rendemen yang dihasilkan dalam pembuatan tepung karagenan. Hal ini disebabkan karena semakin lama rumput laut kontak dengan panas maupun dengan larutan pengestrak maka semakin banyak karagenan yang terlepas dari dinding sel dan menyebabkan

semakin tinggi rendemen karagenan yang dihasilkan. Durasi waktu dua jam merupakan waktu yang optimum dalam proses ekstraksi karagenan dan air, karena sudah dapat memproses semua bagian rumput laut menjadi bubuk. *Output* yang dihasilkan pada proses ini yaitu bubuk rumput laut dan uap air.

4) Filtrasi

Rumput laut yang sudah menjadi bubuk akan dimasukkan ke mesin filtrasi secara bertahap. Pada proses ini, akan dipisahkan antara ampas dan sari tepung karagenan. Sebagian besar dari rendeman dari keseluruhan proses ekstraksi karagenan akan menjadi limbah dari hasil proses ekstraksi. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu limbah padat dan sari tepung karagenan dalam bentuk cair. Limbah padat akan ditampung di tempat pembuangan limbah padat, sedangkan sari tepung karagenan akan dimasukkan ke bak penampungan filtrate. Sari tepung karagenan cair kemudian akan melewati kondensor untuk menurunkan suhu, sehingga lebih mudah membentuk gel pada proses presipitasi dengan larutan kalium klorida.

5) Presipitasi

Proses presipitasi dilakukan dengan mengalirkan sari tepung karagenan pada larutan kalium klorida (KCL). Penambahan KCL ini berfungsi untuk mengendapkan karagenan sehingga air dapat terlepas dari ikatan karagenan dan dapat menguap saat dilakukan pengeringan. Sari rumput laut yang semula berbentuk cair, ketika dimasukkan dalam larutan karagenan akan membentuk gel.

Mekanisme pembentukan gel terdiri dari dua tahap proses yaitu dimulai dengan perubahan konfirmasi intramolekuler yang tidak berhubungan dengan ion-ion, kemudian diikuti oleh pembentukan silang yang tergantung pada adanya ion-ion spesifik yang menyebabkan struktur gel terbentuk, kation spesifik yang mampu mengimbas pembentukan gel pada kappa-karagenan adalah ion K^+ . Ion ini juga berfungsi sebagai bahan pengikat anatar rantai polimer karagenan dengan memperkuat struktur tiga dimensi sehingga polimer tersebut akan mempertahankan bentuknya bila dikenai tekanan. Ion K^+ pada KCL berinteraksi spesifik dengan kappa-karagenan sehingga konfirmasi helik dan gelasi terjadi pada penambahan KCL dalam jumlah kecil dan pembentukan gel lebih mudah terjadi. Setelah rumput laut membentuk gel akan langsung masuk ke bak penampungan melalui *conveyor*.

6) *Dewatering*

Proses *dewatering* atau proses pengurangan kadar air dilakukan ketika gel sudah terbentuk pada tangki penampungan. Gel kemudian dimasukkan ke dalam mesin *press* untuk proses pengurangan kadar air pada gel karagenan. Mesin *press* yang digunakan memiliki kekuatan 20 bar sehingga gel karagenan yang semula berbentuk serpihan- serpihan panjang, setelah melalui larutan KCL akan berubah menjadi lembaran-lembaran gel berukuran 1 m x 1 m dengan ketebalan 1 cm.

Proses *Dewatering* mampu mengurangi kadar air mencapai 425 liter dalam sekali proses. Proses pengurangan kadar air dengan mesin *press* dilakukan selama 6 jam dan proses berjalan pada sore hingga malam hari dengan menunggu semua unit proses selesai. Lembaran gel yang sudah terbentuk menggunakan mesin *press*, selanjutnya dijemur di bawah sinar matahari dengan digantung pada tiang besi.

Penjemuran dengan cara digantung pada tiang besi ini bertujuan untuk menjaga sanitasi proses produksi dan mempercepat proses pengurangan kadar air.

7) Pemotongan

Lembaran gel yang sudah kering, dilanjutkan dengan proses pemotongan untuk merubah lembaran gel karagenan menjadi bentuk chips. Proses ini bertujuan untuk mereduksi ukuran dan memperbesar luas permukaan. Bentuk *chips* akan lebih memaksimalkan proses penepungan. Luas permukaan yang lebih besar akan memaksimalkan proses pengeringan kadar air menggunakan *rotary drum dryer*. Proses ini menggunakan mesin pemotong jenis *crushing* dengan memotong lembaran gel karagenan yang sudah terbentuk menjadi empat bagian. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses memasukkan lembaran gel karagenan pada mesin pemotong jenis *crushing*. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu *chips* dan rendemen berupa serpihan *chips* yang tidak sengaja terbuang.

8) Pengeringan

Proses pengeringan dapat dilakukan dengan penjemuran atau menggunakan mesin. PT XYZ menggunakan mesin *rotary drum dryer* untuk proses pengeringan *chips* karagenan. Spesifikasi dari mesin *rotary drum dryer* ini yaitu memiliki panjang 12 m, diameter 1,2 m, suhu pusat sumber panas 180°C serta suhu kerja 80°C. Proses pengeringan ini dilakukan sebelum masuk pada proses penepungan untuk mengurangi kadar air. Kadar air yang diharapkan maksimal 12% sesuai dengan standart tepung karagenan. *Output* yang dihasilkan dari unit proses pengeringan berupa *chips* karagenan dan uap air.

9) Penepungan

Chips karagenan yang sudah kering dilanjutkan dengan proses penepungan. Proses penepungan bertujuan untuk mengubah *chips* karagenan menjadi bentuk tepung atau serbuk. Mesin penepungan yang digunakan adalah jenis *mils* dengan kapasitas 25 kg *chips* setiap proses. Proses penepungan membutuhkan waktu sekitar 1 jam 30 menit. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu tepung karagenan berukuran 80 mesh.

4.3.1 Tujuan dan ruang lingkup daur hidup tepung karagenan

Tujuan dari kajian LCA ini yaitu menganalisis potensi dampak lingkungan dari daur hidup tepung karagenan. Proses produksi tepung karagenan di PT XYZ menggunakan bahan baku berupa rumput laut *Eucheuma cottonii*, bahan tambahan berupa bahan kimia dan bahan kemasan, air dan sumber energi. Pengadaan bahan baku dan bahan tambahan dari *supplier* ke industri menggunakan transportasi dan menjadi ruang lingkup kajian yang dilakukan. Penggunaan air merupakan bahan tambahan dalam produksi tepung karagenan yang banyak digunakan selama produksi. Air di industri berasal dari air tanah dan dialirkan melalui pompa ke alat dan mesin produksi dalam jumlah yang cukup banyak, sehingga menghasilkan limbah cair yang berlimpah. Limbah cair hasil produksi dialirkan ke IPAL di belakang area industri sebelum dibuang ke badan perairan, dan pada kajian LCA ini ruang lingkup kajian yang dilakukan tidak mencakup pada proses pengolahan limbah cair.



4.3.2 Analisis inventori

Analisis inventori bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis masukan dan keluaran pada setiap unit proses sesuai ruang lingkup yang dikaji. Analisis inventori tepung karagenan dimulai dari inventori pada proses budi daya rumput laut *Eucheuma Cottonii*, inventori pada proses transportasi dan inventori pada proses produksi tepung karagenan. Pada data inventori untuk setiap proses dianalisis lebih rinci sesuai sub unit prosesnya untuk memudahkan analisis dampak berdasarkan sumber emisi dari masing-masing unit proses.

1. Data Inventori proses budi daya rumput laut *Eucheuma Cottonii*

Budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan dengan menggunakan metode *longline* yang memanfaatkan luas permukaan air. Proses budi daya rumput laut ini tidak memerlukan teknologi yang tinggi, menggunakan alat dan mesin yang cukup sederhana, investasi yang cenderung rendah, menyerap banyak tenaga kerja dan berpeluang menghasilkan keuntungan yang relatif besar. Budi daya rumput laut di kepulauan Karimun Jawa meliputi persiapan lahan, persiapan bibit, penanaman, pengaturan jarak tanam, pemeliharaan dan panen. Hasil proses pemanenan tidak hanya rumput laut, akan tetapi terdapat limbah padat seperti biota laut atau benda asing yang menempel pada rumput laut. Data inventori budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* diperoleh berdasarkan data *input* dan data *output* selama satu tahun dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19 Data inventori proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*

Proses	Inventori	Satuan	Jumlah
<i>Input</i>			
Pembibitan	Bibit (basah)	kg	192.857,14
<i>Output</i>			
Panen	Rumput laut kering	kg	270.000
	Limbah padat (kotoran)	kg	5.400

2. Data Inventori proses transportasi

Data inventori pada proses transportasi menganalisis tiga kategori pengiriman jenis bahan diantaranya pengiriman bahan baku, bahan tambahan dan bahan kemasan. Rumput laut *Eucheuma Cottonii* sebagai bahan baku diperoleh dari pembudi daya dalam kondisi basah yang dijual ke petani pengepul. Rumput laut basah yang dipanen dikeringkan selama 3-4 hari sehingga kadar air mencapai 40% dan dijual ke pihak pengolah/industri. Pengangkutan bahan baku dari tempat budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* menggunakan kapal menuju pelabuhan Jepara, kemudian akan dikirim menggunakan truk menuju lokasi industri.

Pengiriman bahan tambahan dan kemasan menggunakan truk sedang dengan menggunakan bahan bakar solar. *Supplier* bahan tambahan dan bahan kemasan berbeda, sehingga memiliki jarak yang berbeda. Penentuan jarak dari lokasi *supplier* ke industri berdasarkan aplikasi *google maps* dan dihitung untuk sekali perjalanan. Jenis kendaraan yang digunakan yaitu *bulk carrier, lorry, light commercial vehicle (LCV)*. *Bulk carrier for dry goods* atau kapal curah untuk barang kering yang merupakan jenis transportasi pengiriman laut untuk barang

kering. *Lorry* merupakan jenis truk yang digunakan untuk mengangkut barang dengan kapasitas tertentu. *Lorry* yang digunakan untuk mengangkut bahan baku yaitu truk dengan kapasitas muatan 7,5-16 ton. LCV merupakan jenis kendaraan niaga ringan beroda empat yang banyak digunakan untuk mengangkut barang yang beratnya kurang dari 3,5 ton. Perhitungan data inventori dianalisis menggunakan *software* Simapro dengan satuan ton.km (tkm). Perhitungan data inventori dengan satuan tkm diperoleh dari data beban berat muatan dalam satuan ton pada kendaraan dikalikan dengan jarak yang ditempuh dalam satuan kilometer (km). Perhitungan jarak yang ditempuh berdasarkan *google maps* untuk sekali perjalanan. Data inventori pada unit transportasi dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20 Data inventori unit transportasi dari *supplier* ke PT XYZ

Transportasi ¹	Jenis kendaraan	Berat Bahan(kg)	Jarak (tkm)
Bahan baku <i>Eucheuma cottonii</i>			
- Karimunjawa ke Jepara	<i>Bulk carrier</i>	10 000	23.436
- Jepara ke Pasuruan	<i>Lorry</i>	10 000	125.361
Bahan tambahan			
KOH	LCV	1090	13.598,62
KCl	LCV	1090	7.815,30
Bahan kemasan			
<i>Kraft paper</i>	LCV	1090	333,97

Sumber data : ¹PT XYZ

3. Data Inventori proses produksi tepung karagenan

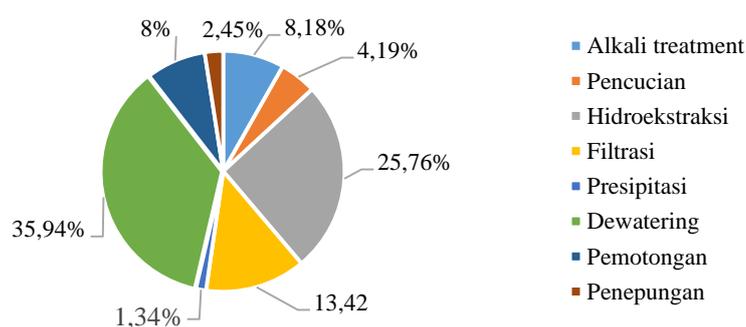
Data inventori produksi tepung karagenan terdiri atas data *input* dan *output*. Data *input* meliputi data penggunaan bahan baku, bahan tambahan, bahan kemasan dan sumber energi. Data *output* meliputi produk, limbah dan emisi dari hasil proses produksi. Sumber energi yang digunakan meliputi batu bara, listrik, LPG dan solar. Batu bara digunakan sebagai bahan bakar *boiler* untuk menghasilkan sumber panas. Listrik digunakan sebagai energi untuk menggerakkan mesin-mesin produksi, pengolahan limbah cair dan penerangan. LPG digunakan sebagai bahan bakar kompor gas untuk proses pemasakan tepung karagenan yang akan dilakukan uji *gel strength* nya. Data inventori yang digunakan pada kajian LCA tepung karagenan yaitu data produksi selama satu tahun pada Tahun 2019 yang dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21 menunjukkan kebutuhan sumber energi terbesar untuk produksi tepung karagenan yaitu batu bara sebagai bahan bakar *boiler*. Batu bara yang dibutuhkan untuk satu *batch* produksi tepung karagenan dengan bahan baku 500 kg *Eucheuma Cottonii* kering sekitar 300-350 kg batu bara. *Boiler* digunakan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan pada beberapa tahapan proses diantaranya *alkali treatment*, hidroekstraksi dan pengeringan. Selain batu bara, sumber energi listrik juga menjadi hal penting karena digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi pada sebagian besar tahapan proses produksi.

Tabel 21 Data inventori proses produksi tepung karagenan di PT XYZ

Data	Satuan/tahun	Jumlah
<i>Input</i>		
Bahan baku		
<i>Eucheuma Cottonii</i>	kg	270.000
Bahan tambahan		
KOH	kg	189.000
KCL	kg	108.000
Bahan kemasan		
<i>Kraft paper</i>	pcs	1.086
Sumber energi		
Listrik	kwh	72.765
Batu bara	kg	202.500
Solar	liter	162
LPG	liter	124,74
Air	liter	23 .220.000
<i>Output</i>		
Produk tepung karagenan	kg	27.145
Limbah cair	liter	21.079.656
Limbah padat	kg	3.760.369,40

Proses produksi tepung karagenan di PT XYZ mendominasi penggunaan listrik tertinggi pada proses *dewatering* dengan persentase 35,94%, hidroekstraksi 25,76% dan filtrasi 13,42% dan diikuti tahapan-tahapan pengolahan lainnya. Persentase tingginya penggunaan listrik pada proses produksi berdasarkan penggunaan mesin yang memerlukan daya yang besar dan waktu proses yang cukup lama. Semakin tinggi daya suatu mesin dan semakin lama waktu penggunaannya, berbanding lurus dengan semakin tingginya konsumsi listrik yang dibutuhkan. Persentase konsumsi listrik pada proses produksi tepung karagenan dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26 Persentase konsumsi listrik pada proses produksi tepung karagenan

Satu kali proses produksi tepung karagenan dengan bahan baku rumput laut *Eucheuma Cottonii* sebanyak 500 kg menghasilkan sekitar 50,27 kg tepung karagenan. Total kebutuhan listrik untuk 1 kg produk tepung karagenan yaitu 4,45 kWh. Tiga proses utama yang mengkonsumsi listrik paling besar secara berurutan yaitu proses *dewatering*, hidroekstraksi dan filtrasi. Beberapa mesin produksi yang

mengonsumsi listrik dengan daya besar diantaranya pompa hidrolis, pompa piston, pompa sirkulasi, pompa transfer, motor agitator dan pompa air. Kebutuhan listrik pada setiap tahapan proses produksi tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22 Konsumsi listrik pada produksi tepung karagenan

Tahapan proses	Total konsumsi listrik (kWh)	Tahapan proses (%)
Alkali treatment	18,33	8,18
Pencucian	11,00	4,19
Hidroekstraksi	57,75	25,76
Filtrasi	30,08	13,42
Presipitasi	3,00	1,34
Dewatering	80,55	35,94
Pemotongan	17,93	6,58
Penepungan	5,50	2,02

4.3.3 Analisis dampak

Perhitungan nilai dampak dilakukan berdasarkan data inventori yang sudah dianalisis pada tahap sebelumnya. Besaran nilai dampak lingkungan sesuai dengan data *input* yang digunakan dan *output* yang dihasilkan. Perhitungan nilai dampak dilakukan sepanjang daur hidup tepung karagenan berdasarkan unit proses dan sumber emisi sesuai ruang lingkup yang dikaji. Unit fungsi yang digunakan dalam perhitungan nilai dampak lingkungan yaitu 1 kg tepung karagenan pada setiap unit proses.

1. Analisis dampak berdasarkan unit proses

Satu daur hidup produk karagenan menghasilkan dampak lingkungan dari penggunaan material, energi, bahan bakar transportasi, dan limbah. Analisis dampak lingkungan daur hidup produk karagenan yang dikaji dibagi menjadi tiga unit proses, diantaranya unit proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*, transportasi bahan baku dan produksi tepung karagenan. Setiap unit proses menghasilkan dampak lingkungan. Besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dalam 1 tahun dibagi dengan jumlah produk yang dihasilkan dari produksi tepung karagenan di PT XYZ untuk mendapatkan nilai dampak lingkungan pada 1 kg produk tepung karagenan.

a. Analisis dampak unit proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*

Budi daya rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yang disesuaikan dengan kondisi lokasi perairan laut. Ada lima metode budi daya rumput lau yang dilakukan yaitu lepas dasar, rakit apung, rawai (*longline*), jalur (kombinasi) dan kantong jarring. Pada penelitian ini, budi daya *Eucheuma cottonii* dilakukan dengan metode rawai (*longline*). Metode ini disebut juga metode tali gantung. Bibit rumput laut awalnya diikatkan pada tali ris, kemudian diikatkan ke tali ris utama yang terbentuk dari bahan *polyetilen* dan direntangkan pada patok kayu, selanjutnya patok ditancapkan pada dasar perairan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

dan diperlukan palu besi atau jangkar sebagai penahan di dasar laut. Berdasarkan hasil inventori, budi daya *Eucheuma cottonii* di perairan laut lepas cukup sederhana dan tidak membutuhkan pemupukan, sehingga tidak menimbulkan pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi yang signifikan. Akan tetapi, budi daya *Eucheuma cottonii* selain menghasilkan produk rumput laut juga menghasilkan limbah padat berupa biota laut yang menempel pada rumput laut ketika proses pemanenan. Limbah padat yang dihasilkan termasuk limbah padat organik, sehingga 1 kg limbah menghasilkan dampak pemanasan global sebesar 0,21 kg-CO₂eq, asidifikasi sebesar 6,10x10⁻⁴ kg-SO₂eq dan eutrofikasi sebesar 1,18x10⁻³ kg-PO₄eq.

b. Analisis dampak transportasi bahan baku

Proses transportasi bahan baku rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dari *supplier* yang berlokasi di perairan pulau Karimunjawa ke industri menghasilkan dampak lingkungan. Pengangkutan bahan baku dari pulau Karimunjawa menggunakan kapal laut yang berlabuh di pelabuhan Jepara, kemudian bahan baku diangkut menggunakan truk ke PT XYZ. Sumber emisi yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dalam proses transportasi berasal dari penggunaan bahan bakar solar B20. Jenis bahan bakar solar B20 yaitu jenis solar dengan komposisi pencampuran 20% biodiesel dan 80% bahan bakar minyak jenis solar. Perhitungan dampak lingkungan pada unit transportasi dihitung untuk 1 kg tepung karagenan. Produksi 1 kg tepung karagenan membutuhkan sekitar 9,94 kg rumput laut *Eucheuma cottonii* kering. Nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses transportasi dianalisis menggunakan *software* Simapro dengan satuan ton.km (tkm) dan asumsi satu kali perjalanan. Besaran nilai dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi dari transportasi kapal laut dapat dilihat pada Tabel 23, transportasi darat berupa truk pada Tabel 24 dan total besaran dampak lingkungan pada unit proses transportasi dapat dilihat pada Tabel 25.

Tabel 23 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi menggunakan kapal laut

Dampak	Satuan	Nilai dampak/kg-rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i> kering	Nilai dampak / kg-tepung karagenan
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	5,66E-04	5,62E-03
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	1,34E-05	1,33E-04
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	1,39E-06	1,38E-05

Tabel 24 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi menggunakan truk

Dampak	Satuan	Nilai dampak /kg-rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i> kering	Nilai dampak / kg-tepung karagenan
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	1,04E-01	1,03E+00
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	3,94E-04	3,91E-03
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	9,54E-05	9,49E-04

Tabel 25 Total besaran nilai dampak lingkungan pada unit transportasi

Dampak	Satuan	Nilai dampak menggunakan kapal laut	Nilai dampak menggunakan truk	Total besaran nilai dampak pada unit transportasi
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	5,62E-03	1,03E+00	1,04E+00
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	1,33E-04	3,91E-03	4,05E-03
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	1,38E-05	9,49E-04	9,62E-04

c. Analisis dampak unit proses produksi

Analisis dampak pada daur hidup tepung karagenan pada unit proses produksi mencakup penggunaan material, energi dan limbah yang dihasilkan. Pada unit produksi, perhitungan dampak dianalisis dari pengadaan bahan tambahan berupa bahan-bahan kimia dan bahan kemasan, termasuk transportasi pengadaan bahan ke industri dilakukan juga analisis dampak lingkungannya. Dampak lingkungan dihitung berdasarkan berat bahan sebagai muatan dan jarak yang ditempuh ke industri, dengan satuan ton.km (km). Besaran dampak lingkungan dari produksi 1 kg tepung karagenan di PT XYZ untuk setiap sumber emisi dapat dilihat pada Tabel 26. Besaran dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi pada unit proses produksi dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 26 Besaran nilai dampak pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi untuk produksi tepung karagenan di PT XYZ berdasarkan sumber emisi

Sumber emisi	Jenis dampak (Nilai dampak /kg tepung karagenan)		
	Pemanasan global (kg-CO ₂ eq)	Asidifikasi (kg-SO ₂ eq)	Eutrofikasi (kg-PO ₄ eq)
<i>Input</i>			
Bahan baku			
<i>Eucheuma cottonii</i>	1,04E+00	4,05E-03	9,63E-04
Bahan tambahan			
KOH	1,81E+01	8,62E-02	3,20E-02
KCl	2,41E+00	1,16E-02	3,42E-03
Bahan kemasan			
<i>Kraft paper</i>	3,38E-02	1,66E-04	5,86E-05
Sumber energi			
Listrik	2,88E+00	1,24E-02	1,51E-02
Batu bara	2,19E+01	1,76E-01	7,07E-03
Solar	1,19E-01	4,90E-04	1,34E-04
LPG	2,81E-03	2,87E-05	3,18E-06
<i>Output</i>			
Limbah cair	5,78E+00	-	5,52E+02
Limbah padat	2,12E-01	6,10E-04	1,94E-04

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 27 Besaran nilai dampak lingkungan pada unit produksi produk

Dampak	Satuan	Nilai emisi/kg-tepung karagenan
Pemanasan global	kg-CO ₂ eq	4,65E+01
Asidifikasi	kg-SO ₂ eq	2,90E-01
Eutrofikasi	kg-PO ₄ eq	5,86E-02

Penilaian satu daur hidup produk tepung karagenan terbagi menjadi tiga unit proses yaitu unit proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*, transportasi dan proses produksi. Unit fungsi 1 kg tepung karagenan digunakan sebagai satuan acuan untuk menghitung nilai total emisi dari produksi tepung karagenan. Pada unit proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii* dan transportasi bahan baku menghasilkan produk rumput laut *Eucheuma cottonii* kering, sehingga perlu dihitung kebutuhan rumput laut *Eucheuma cottonii* kering untuk memudahkan perhitungan nilai total dampak lingkungan yang dihasilkan.

Nilai dampak lingkungan untuk 1 kg tepung karagenan merupakan penjumlahan dari nilai emisi yang dihasilkan dari setiap unit proses. Total besaran dampak lingkungan pada satu siklus hidup produk tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 28. Perhitungan nilai dampak menggunakan *software* Simapro untuk mengetahui dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi yang dapat dilihat pada Lampiran 5, 6 dan 7.

Tabel 28 Total nilai dampak per 1 kg tepung karagenan

Dampak	Unit proses	Nilai dampak
Pemanasan global (kg-CO ₂ eq/kg tepung karagenan)	Budi daya rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i>	2,10E-01
	Transportasi bahan baku	1,04E+00
	Produksi	4,65E+01
	Total	4,77E+01
Asidifikasi (kg-SO ₂ eq/kg tepung karagenan)	Budi daya rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i>	6,10E-04
	Transportasi bahan baku	4,05E-03
	Produksi	2,90E-01
	Total	2,95E-01
Eutrofikasi (kg-PO ₄ eq/kg tepung karagenan)	Budi daya rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i>	1,18E-03
	Transportasi bahan baku	9,62E-04
	Produksi	5,86E-02
	Total	6,08E-02

2. Analisis dampak berdasarkan sumber emisi

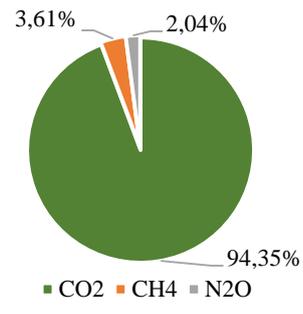
Setiap unit proses memiliki sumber emisi yang menghasilkan emisi penyebab dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi.

a. Pemanasan global

Isu pemanasan global terjadi dikarenakan adanya peningkatan pemanasan global akibat adanya emisi gas rumah kaca. Beberapa gas yang berperan menimbulkan pemanasan global antara lain karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrooksida (N₂O)(Latake and Pawar, 2015). Besaran nilai dampak

pemanasan global dari jenis polutan CO₂, CH₄ dan N₂O dari daur hidup tepung karagenan berdasarkan sumber emisi dapat dilihat pada Tabel 29.

Tabel 29 menunjukkan dampak terbesar dari jenis polutan CO₂ dan N₂O berasal dari penggunaan batu bara, sedangkan emisi CH₄ berasal dari penggunaan batu bara dan limbah cair. Sebagian besar pada unit proses mulai dari proses budi daya rumput laut, transportasi bahan baku dan proses produksi menghasilkan emisi besar dalam kategori dampak GRK sekitar 94,35 %. Persentase masing-masing jenis polutan penyebab pemanasan global dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27 Persentase jenis polutan penyebab dampak pemanasan global

Tabel 29 Besaran nilai dampak pemanasan global berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung agar karagenan

Sumber emisi	Jenis polutan (kg-CO ₂ eq/tahun)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Limbah padat	1,13E+04	3,29E+01	6,35E+01
Solar ¹	6,81E-01	4,40E-09	8,62E-03
Solar ²	1,31E+02	8,80E-06	8,80E-01
<i>Eucheuma cottonii</i>	2,71E+05	1,81E-02	1,83E+03
KOH	3,12E+06	4,35E-01	3,13E+04
KCl	2,19E+05	9,45E-03	1,85E+03
<i>Kraft paper</i>	3,47E+01	1,30E-06	5,60E-01
Limbah padat	7,89E+05	2,29E+03	4,42E+03
Limbah cair	-	1,57E+05	-
Listrik	2,03E+05	6,53E-04	1,32E+03
Batu bara	4,11E+06	1,75E+05	1,48E+05
Solar ³	1,87E+01	8,17E-07	1,33E-01
LPG	3,23E-01	4,97E-09	2,90E-03

¹ bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan kapal laut
² bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan truk
³ bahan bakar untuk transportasi di industri

b. Asidifikasi

Asidifikasi merupakan salah satu dampak lingkungan yang terjadi akibat adanya proses pengasaman air. Polutan yang dapat menyebabkan asidifikasi dalam daur hidup produk tepung karagenan adalah SO₂, NO_x, SO₃, NO dan NH₃. Besaran

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

nilai dampak asidifikasi untuk masing-masing jenis polutan pada daur hidup tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 30.

Tabel 30 Besaran nilai dampak asidifikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung karagenan

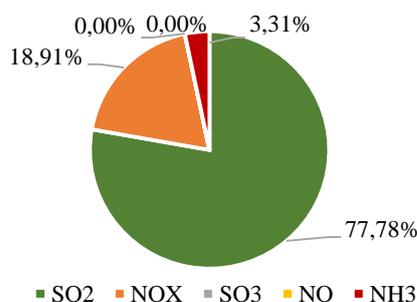
Sumber emisi	Jenis polutan (kg-SO ₂ eq/tahun)				
	SO ₂	NO _x	SO ₃	NO	NH ₃
Limbah padat	4,22E+00	5,22E+00	3,53E-07	7,14E-07	2,35E+01
Solar ¹	1,05E-02	5,91E-03	1,02E-10	8,13E-11	1,26E-04
Solar ²	2,35E-01	2,75E-01	2,99E-08	3,52E-08	3,94E-03
<i>Eucheuma cottonii</i>	5,06E+02	5,78E+02	6,17E-05	7,25E-05	8,38E+00
KOH	1,18E+04	4,27E+03	1,35E-03	3,92E-03	2,29E+02
KCL	8,17E+02	4,27E+02	6,37E-05	1,80E-04	1,24E+01
<i>Kraft paper</i>	9,95E-02	7,70E-02	6,87E-07	3,80E-08	3,87E-03
Limbah padat	2,94E+02	3,63E+02	2,46E-05	4,98E-05	1,64E+03
Listrik	6,30E+02	2,68E+02	1,01E-05	1,12E-05	1,80E+00
Batu bara	3,05E+04	4,92E+03	-	-	9,58E-01
Solar ³	3,90E-02	3,88E-02	7,01E-09	2,11E-08	1,54E-03
LPG	2,95E-03	6,27E-04	1,50E-10	1,28E-10	1,08E-05

¹ bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan kapal laut

² bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan truk

³ bahan bakar untuk transportasi di industri

Tabel 30 menunjukkan dampak terbesar penyebab asidifikasi berasal dari penggunaan batu bara dan bahan kimia dengan jenis polutan fosfat (PO₄). Persentase masing-masing jenis polutan penyebab asidifikasi dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28 Persentase jenis polutan penyebab asidifikasi

c. Eutrofikasi

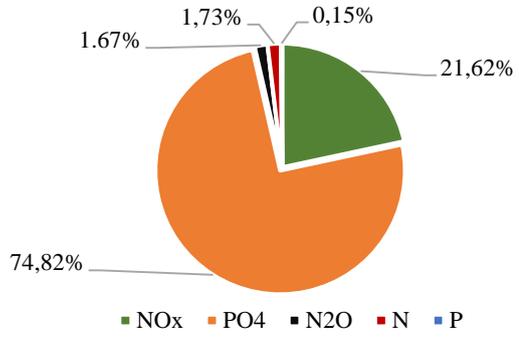
Eutrofikasi merupakan permasalahan lingkungan yang terjadi di ekosistem akuatik yang mengakibatkan penipisan oksigen yang dapat merusak ekosistem perairan, yang disebabkan oleh hilangnya fosfor (Liu dan Chen 2018). Sumber polutan penyebab emisi eutrofikasi pada daur hidup tepung karagenan adalah NO_x, PO₄, N₂O, nutrient (N dan P). Besaran nilai dampak eutrofikasi untuk masing-masing jenis polutan pada daur hidup tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 31.

Tabel 31 Besaran nilai dampak eutrofikasi berdasarkan sumber emisi pada daur hidup tepung karagenan

Sumber emisi	Jenis polutan (kg- PO ₄ eq/tahun)				
	NO _x	PO ₄	N ₂ O	N	P
Limbah padat	2,51E-05	1,48E-04	8,00E-06	1,11E-05	1,48E-06
Solar ¹	1,24E-06	7,39E-08	7,10E-09	3,04E-09	1,08E-09
Solar ²	5,48E-05	2,96E-05	6,86E-07	1,06E-06	1,06E-06
<i>Eucheuma cottonii</i>	5,57E-04	2,96E-04	6,90E-06	1,05E-05	2,20E-06
KOH	5,87E-03	2,40E-02	1,69E-04	7,52E-04	6,95E-05
KCL	1,03E-03	2,13E-03	1,74E-05	7,13E-05	5,57E-06
<i>Kraft paper</i>	1,84E-05	2,99E-05	5,26E-07	1,55E-06	4,28E-06
Limbah padat	2,51E-05	1,48E-04	8,00E-06	1,11E-05	1,48E-06
Limbah cair	-	5,52E+02	-	-	-
Listrik	9,59E-04	1,37E-02	1,85E-05	4,13E-04	2,15E-06
Batu bara	6,31E-03	1,37E-02	7,43E-04	2,30E-15	0,00E+00
Solar ³	6,23E-05	5,73E-05	8,36E-07	1,56E-06	3,23E-07
LPG	1,31E-06	5,25E-07	2,37E-08	1,81E-08	2,71E-08

¹ bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan kapal laut
² bahan bakar untuk transportasi bahan baku menggunakan truk
³ bahan bakar untuk transportasi di industri

Tabel 31 menunjukkan polutan PO₄ atau fosfat merupakan jenis polutan terbesar yang berasal dari penggunaan listrik dan limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi. Persentase masing-masing jenis polutan penyebab eutrofikasi dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29 Persentase jenis polutan penyebab eutrofikasi

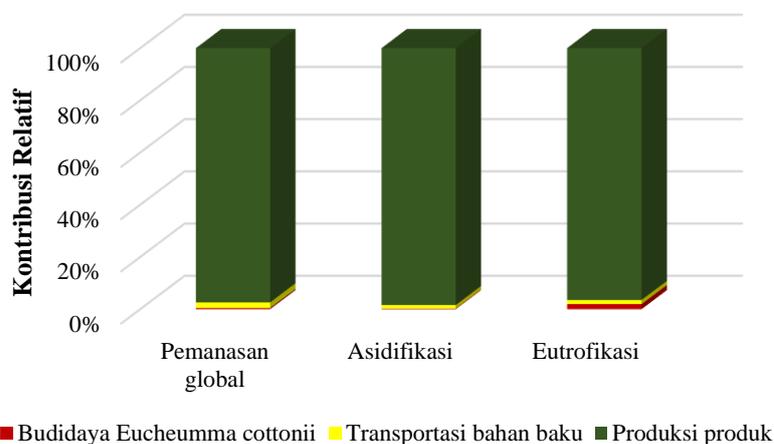
4.3.4 Interpretasi

Penilaian daur hidup produk tepung karagenan yang dikaji dalam ruang lingkup *cradle to gate*, dari mulai proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*, proses transportasi bahan baku dan proses produksi di industri membutuhkan input dan menghasilkan output. Satu kali proses produksi tepung karagenan di PT XYZ dengan bahan baku rumput laut *Eucheuma cottonii* kering sebanyak 500 kg menghasilkan 50,27 kg tepung karagenan. Total kebutuhan listrik untuk produksi 1 kg tepung karagenan yaitu 4,46 kWh/Produk. Berdasarkan hasil analisis dampak daur hidup produk tepung karagenan yang dikaji, untuk memproduksi 1 kg tepung

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

karagenan menghasilkan emisi dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 47,73 kg-CO₂eq; 0,30 kg-SO₂eq dan 0,06 kg-PO₄eq.

Pada Gambar 30 dapat diketahui bahwa unit proses produksi memberikan dampak lingkungan terbesar untuk kategori dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi. Dampak yang dihasilkan berasal dari penggunaan batu bara sebagai bahan bakar *boiler*, konsumsi listrik yang tinggi dan limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi. Ghosh *et al.* (2015) melakukan penilaian dampak lingkungan pada siklus hidup produksi biostimulan berbasis rumput laut *Kappaphycus alvarezii* untuk produksi getah dan produksi *semi-refined* karagenan. Ruang lingkup yang digunakan yaitu *cradle to gate* dari sepanjang siklus hidup budi daya rumput laut, transportasi ke unit pemrosesan dan industri pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam proses produksi getah dari hasil ekstraksi 1 kg rumput laut *Kappaphycus alvarezii*, pada tahap budi daya rumput laut menghasilkan 4,652 kg-CO₂eq dan 0,014 kg SO₂eq, tahapan transportasi menghasilkan 8,841 kg-CO₂eq, dan 0,013 kg-SO₂eq dan tahapan proses pengolahan menghasilkan 117,858 kg- CO₂eq ; 0,027 kg-Peq, dan 0,531 kg-SO₂eq. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui dampak lingkungan terbesar adalah perubahan iklim (*climate change*) dari tahapan proses produksi dengan total 118,594 kg-CO₂eq. Dampak pemanasan global memiliki nilai yang besar karena proses produksi tepung karagenan membutuhkan sumber energi yang cukup besar, dan menghasilkan limbah cair yang melimpah sehingga menyebabkan nilai dampak pemanasan global dari gas metan (CH₄) bernilai cukup besar. Hal ini menjadi perhatian lebih untuk melakukan upaya perbaikan pada daur hidup tepung karagenan. Gambaran kontribusi relatif untuk masing-masing kategori dampak dari setiap unit proses dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30 Kontribusi relatif dari setiap unit proses pada kategori dampak

4.4 Perbandingan proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ

PT XYZ memproduksi dua produk olahan rumput laut merah yaitu produk tepung agar dari olahan rumput laut jenis *Gracilaria* sp dan produk tepung karagenan dari olahan rumput laut jenis *Eucheuma cottonii*. Secara keseluruhan proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ memiliki kesamaan, hanya terdapat beberapa tahapan produksi yang berbeda dan bahan kimia sebagai bahan

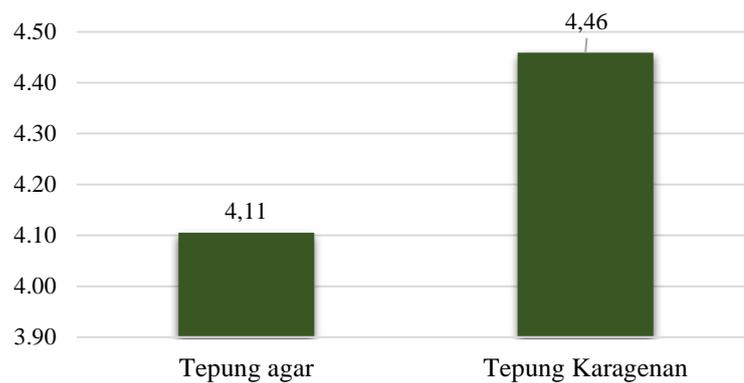
tambahan yang digunakan untuk produksi. Penggunaan alat dan mesin yang digunakan untuk proses produksi tepung agar dan karagenen juga sama. Perbedaan tahapan proses produksi tepung agar dan karagenan dapat dilihat pada Tabel 32.

Tabel 32 Perbedaan tahapan proses produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ

Tahapan Proses	Tepung Agar	Tepung Karagenan
Perlakuan basa	NaOH	KOH
Pencucian setelah perlakuan basa	√	√
<i>Bleaching</i>	NaOCl	-
Perlakuan asam	H ₂ SO ₄	-
Pencucian setelah perlakuan asam	√	√
Hidroekstraksi	√	√
Presipitasi	√	KCl
Filtrasi	Filter aid	√
<i>Dewatering</i>	√	√
Pemotongan	√	√
Pengeringan	√	√
Penepungan	√	√

Berdasarkan Tabel 32 dapat diketahui bahwa perbedaan produksi tepung agar dan karagenan terletak pada tahapan proses perlakuan basa, *bleaching*, perlakuan asam dan presipitasi. Tahapan perlakuan basa pada produk tepung agar menggunakan natrium hidroksida (NaOH), sedangkan pada produk karagenan menggunakan kalium hidroksida (KOH). Proses *bleaching* dan perlakuan asam hanya dilakukan pada proses produksi tepung agar. Proses presipitasi dilakukan untuk produksi tepung agar dan karagenan, tetapi memiliki perbedaan pada penggunaan bahan kimia yang digunakan. Proses presipitasi pada produksi karagenan ditambahkan kalium klorida (KCl), sedangkan pada produksi tepung agar tidak menggunakan bahan tambahan lain. Perbandingan penggunaan energi untuk memproduksi 1 kg tepung agar dan 1 kg tepung karagenan dapat dilihat pada Gambar 31.

Berdasarkan Gambar 31 dapat diketahui bahwa proses produksi tepung karagenan membutuhkan energi yang sedikit lebih besar (4,46 kWh/produk) dibandingkan dengan produksi tepung agar (4,11 kWh/produk). Perbedaan produksi produk dari olahan rumput laut merah ini disebabkan adanya perbedaan karakteristik dan sifat dari bahan baku dan bahan kimia tambahan yang digunakan. Sebagian besar energi yang diperlukan untuk produksi tepung agar dan karagenan adalah tahapan proses *dewatering*. Persentase total energi yang dibutuhkan untuk produksi tepung agar sebesar 29,53% dan produksi tepung karagenan sebesar 35,94%. Hal ini disebabkan pada proses *dewatering* baik untuk produksi tepung agar atau tepung karagenan, membutuhkan mesin produksi yang memiliki daya yang cukup tinggi dan waktu pemakaian yang cukup lama.



Gambar 31 Perbandingan konsumsi energi listrik pada produksi tepung agar dan karagenan

Proses produksi di PT XYZ menghasilkan produk utama dan limbah hasil produksi. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berasal dari proses presipitasi, pemotongan, pengeringan dan penepungan. Limbah cair berasal dari proses *alkali treatment*, pencucian, *bleaching*, pengasaman dan *dewatering*.

4.4.1 Limbah Padat

Industri pengolahan rumput laut menggunakan sekitar 30-35% dari bahan baku, sedangkan 65-70% menjadi limbah padat yang belum dimanfaatkan secara optimal (Wekridhany *et al.* 2012). Limbah padat hasil proses produksi di PT XYZ dibuang ke lokasi penimbunan limbah yang berlokasi di belakang area industri (Gambar 32).



Gambar 32 Lokasi penimbunan limbah padat di PT XYZ

Limbah padat yang dibiarkan menumpuk di lokasi penimbunan akan menjadi masalah, apabila tempat pembuangan sudah tidak mampu menampung limbah padat yang dihasilkan oleh industri dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Tumpukan limbah padat rumput laut di lingkungan sekitar industri yang telah melapuk biasanya tumbuh gulma atau beraneka ragam tanaman. Limbah padat (ampas rumput laut) tersebut diduga mengandung unsur hara makro dan mikro yang

cukup lengkap. Kandungan limbah padat yang dihasilkan di PT XYZ dapat dilihat pada Tabel 33.

Tabel 33 Kandungan limbah padat di PT XYZ

Komponen	Satuan	Nilai
Kadar Air	%	77,55
Kadar Lemak	%	4,62
Kadar Protein	%	1,62
Kadar Karbohidrat	%	1,16
Kadar Serat	%	15,05
C-Organik	%	42,62
Nitrogen	%	0,07
P-Total	mg/Kg	4,43
K-Total	mg/Kg	27,63

Hak cipta milik IPB University

Limbah padat di PT XYZ dapat dikategorikan sebagai limbah organik dan banyak dimanfaatkan untuk pupuk kompos. Limbah padat rumput laut memiliki kadar air yang cukup tinggi mencapai 77,55 %. Nilai kadar air yang melebihi 60% menimbulkan bau atau kondisi anaerobik dan memperlambat proses dekomposisi (Kurnia *et al.* 2017). Beberapa komponen yang terkandung pada limbah padat seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) berkontribusi terhadap berbagai masalah lingkungan dan kesehatan manusia diantaranya terjadi pengasaman tanah (asidifikasi), polusi udara, dampak pemanasan global dan eutrofikasi ke badan air (Yu *et al.* 2020; Wongsoonthornchai dan Thitanuwat 2021; Zhao *et al.* 2021).

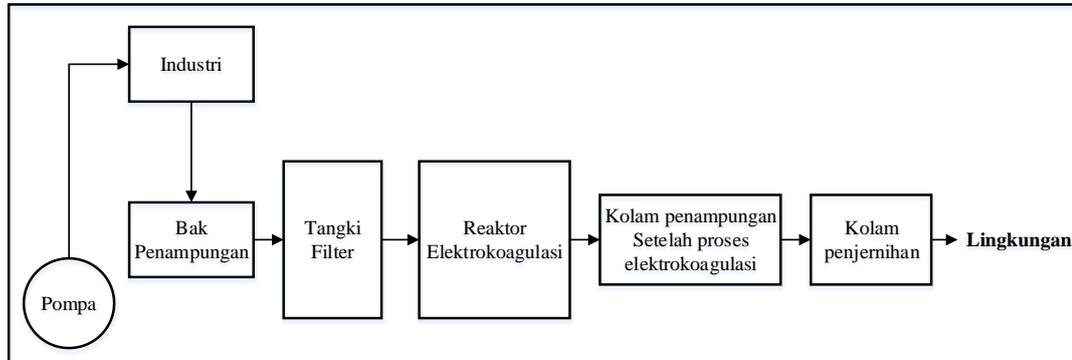
4.4.2 Limbah Cair

Limbah cair adalah limbah berwujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar proses produksi di PT XYZ menggunakan air dalam jumlah yang besar. Air yang digunakan sebagai input pada proses produksi menghasilkan limbah cair. Penanganan limbah cair hasil produksi di PT XYZ, dialirkan ke instalasi pengelolaan air limbah (IPAL). IPAL yang digunakan di PT XYZ berupa kolam pemisahan material padatan dan cairan, tangki filter, kolam elektrokoagulasi dan kolam penjernihan atau pengenceran. Proses pengelolaan limbah cair yang dilakukan oleh PT XYZ dapat dilihat pada Gambar 33.

Berdasarkan Gambar 33 penanganan limbah cair yang dilakukan oleh PT XYZ yaitu limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tepung agar dan tepung karagenan di industri dan dialirkan ke bak penampungan dan ditampung dalam tangki filter. Limbah cair yang ditampung kemudian dialirkan ke bak penampungan limbah kedua untuk penanganan limbah cair dengan metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah metode untuk pengolahan air dan air limbah yang didasarkan pada sel elektrolisis untuk meningkatkan koagulasi, absorpsi atau pengendapan polutan terlarut atau koloid dengan efisiensi penghilangan tinggi (Thakur dan Chauhan 2016). Proses elektrokoagulasi melibatkan pengaliran arus listrik ke elektroda (besi dan aluminium) di dalam tangki reaktor dimana saat menghasilkan agen koagulasi dan gelembung gas (Malakootian *et al.* 2011). Proses

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

elektrokoagulasi memiliki perbedaan dalam potensi listrik yang digunakan untuk menghasilkan koagulan yang dapat menghilangkan warna, partikel tersuspensi dan terlarut dalam air limbah (Huda *et al.* 2017).



Sumber : PT XYZ

Gambar 33 Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di PT XYZ

Tabel 34 menunjukkan hasil uji karakteristik limbah cair dari IPAL yang dimiliki oleh PT XYZ dapat menurunkan kandungan zat pencemar pada limbah cair yang dihasilkan, sehingga memiliki nilai dibawah baku mutu yang sudah ditentukan. Limbah cair di PT XYZ mengandung bahan organik yang tinggi, sehingga diperlukan proses pengolahan limbah cair terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Analisis kandungan limbah cair di PT XYZ dilakukan pada tiga titik yaitu *inlet*, penanganan limbah setelah dari kolam elektrokoagulasi dan *outlet* sebelum dialirkan ke aliran air.

Tabel 34 Karakteristik limbah cair hasil produksi produk di PT XYZ

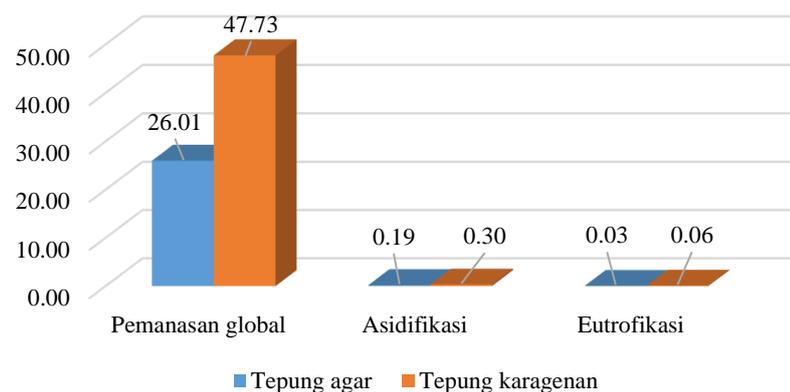
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji			Baku Mutu
			<i>Inlet</i>	Penanganan setelah elektrokoagulasi	<i>Outlet</i>	
1	pH		9,90	10,40	7,21	6-9
2	TSS	mg/L	463,2	1268	31,5	50
3	BOD	mg/L	423,5	891,5	8,63	100
4	COD	mg/L	1190	2320	28,87	250
5	Ammonia	mg/L	4,459	19,22	0,2641	5
6	Klorin	mg/L	0,06	0,04	0,08	1,0
	Bebas					

4.5 Interpretasi dan skenario perbaikan

Interpretasi hasil LCA bertujuan untuk menginterpretasikan hasil dan menganalisis skenario perbaikan yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari daur hidup produk yang dikaji. Daer hidup produksi tepung agar dan karagenan di PT XYZ membutuhkan *input* dari penggunaan material, sumber energi dan menghasilkan produk utama dan limbah serta emisi yang mencemari lingkungan. Perbandingan dampak lingkungan berupa pemanasan

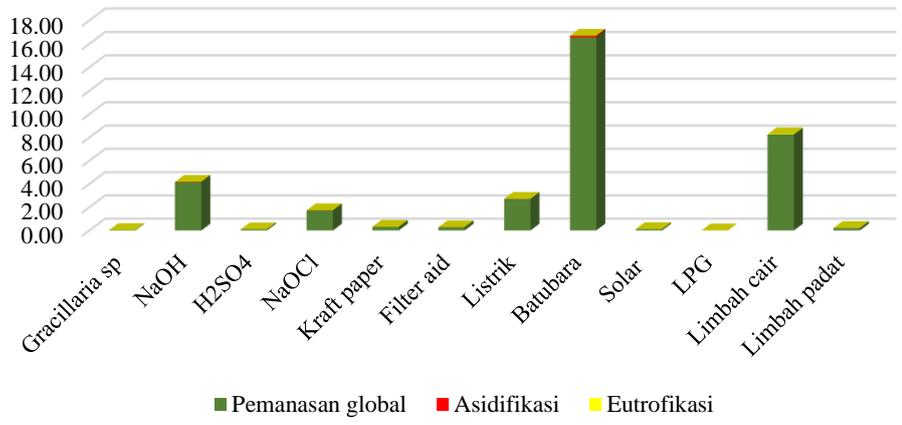
global, asidifikasi dan eutrofikasi yang dihasilkan untuk produksi 1 kg tepung agar dan 1 kg tepung karagenan dapat dilihat pada Gambar 34.

Berdasarkan Gambar 34 diketahui produksi 1 tepung karagenan menghasilkan dampak lingkungan yang lebih besar dibandingkan produksi 1 kg tepung agar. Kajian LCA tepung agar dan tepung karagenan di PT XYZ dikaji dalam ruang lingkup yang sama yaitu *cradle to gate*. Perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan lokasi *supplier* bahan baku yang mempengaruhi kebutuhan bahan bakar, material *input* yang digunakan dan limbah yang dihasilkan. Pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan, pemanasan global merupakan dampak lingkungan terbesar dari tiga kategori dampak yang dikaji.

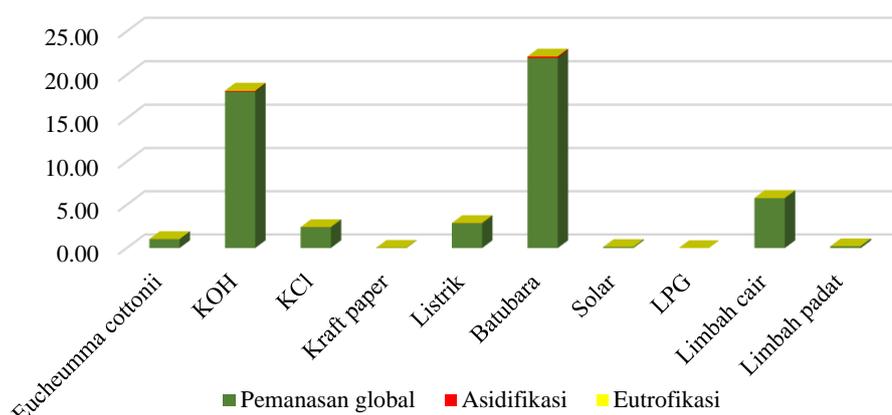


Gambar 34 Perbandingan nilai dampak lingkungan pada produksi tepung agar dan karagenan

Kegiatan produksi di industri menjadi *hotspot* yang menyumbang dampak pemanasan global paling tinggi. Bahan *input* yang digunakan dan *output* yang dihasilkan pada daur hidup tepung agar dan karagenan menghasilkan jenis polutan penyebab pemanasan global yang cukup tinggi, sehingga dampak pemanasan global yang dihasilkan juga relatif tinggi. Gambar 35 dan Gambar 36 menunjukkan dampak lingkungan terbesar yang dihasilkan dari produksi tepung agar dan karagenan yaitu dampak pemanasan global. Sumber emisi terbesar penyebab dampak pemanasan global dari produksi agar dan karagenan yaitu penggunaan batu bara.



Gambar 35 Sumber emisi penyebab dampak lingkungan produksi tepung agar



Gambar 36 Sumber emisi penyebab dampak lingkungan produksi tepung karagenan

Hasil dari analisis dampak dilakukan pada setiap unit proses untuk masing-masing kategori dampak. Dampak pemanasan global merupakan dampak terbesar dari daur hidup tepung agar dan karagenan. Permasalahan utama dari daur hidup tepung agar dan karagenan yaitu pada unit proses produksi dalam penggunaan batu bara dan energi listrik sebagai penyumbang terbesar pemanasan global. Penggunaan air untuk proses produksi tanpa takaran tertentu juga menghasilkan limbah cair yang melimpah dan berkontribusi menyebabkan dampak lingkungan. Selain unit proses produksi, tahapan unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp dan *Eucheuma cottonii*, serta tahapan proses transportasi bahan baku dari *supplier* ke industri juga menghasilkan dampak lingkungan berupa dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi.

Dampak pemanasan global memicu terjadinya sejumlah konsekuensi terhadap lingkungan maupun aspek kehidupan manusia. Konsekuensi langsung dari pemanasan global yaitu meningkatnya bencana alam, kekeringan dan gelombang panas. Konsekuensi tidak langsung diantaranya ancaman terhadap kesehatan manusia, pengurangan keanekaragaman hayati dan kesenjangan kondisi sosial ekonomi masyarakat (Watts *et al.* 2019). Asidifikasi mengakibatkan pengasaman pada sungai dan tanah akibat polutan udara antropogenik seperti SO_2 , NH_3 dan NO_x . Pengasaman meningkatkan mobilisasi dan perilaku perlindian logam berat di tanah dan memberikan dampak yang merugikan pada perairan, hewan dan tumbuhan karena mengganggu jaringan makanan (Kim dan Chae 2016). Secara umum, dampak eutrofikasi merupakan masalah yang banyak terjadi di perairan seperti danau, waduk, sungai muara dan habitat pesisir. Hal ini disebabkan oleh masukan nutrisi yang berlebihan ke badan air terutama nitrogen dan fosfor. Konsentrasi nutrisi yang tinggi menyebabkan pertumbuhan alga yang berbahaya, hipoksia, kematian ikan dan produksi racun (Wilkinson 2017).

Skenario perbaikan untuk mengurangi dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi dilakukan pada *hotspot* di setiap unit proses daur hidup produk dari budi daya rumput laut, transportasi bahan baku dan proses produksi produk di industri (Tabel 35).

Tabel 35 Identifikasi skenario perbaikan pada *hotspot* disetiap unit proses

Tahapan unit proses	Skenario perbaikan
Budi daya rumput laut	
Penggunaan pupuk urea pada budi daya <i>Gracilaria</i> sp untuk produksi tepung agar	Penggunaan pupuk NPK 15:15:15
Transportasi bahan baku	
- Rumput laut <i>Gracilaria</i> sp kering	Mengganti <i>supplier</i> bahan baku
- Rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i> kering	terdekat dengan industri
Produksi tepung agar dan karagenan	
- Penggunaan bahan bakar batu bara	Penggunaan bahan bakar <i>Natural Gas</i>

Skenario 1 : Mengganti penggunaan pupuk urea dengan pupuk NPK 15:15:15

Proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp pada daur hidup tepung agar berkontribusi terhadap dampak lingkungan dari penggunaan pupuk. Pupuk digunakan untuk proses perawatan atau pemeliharaan selama budi daya. Pupuk merupakan bahan yang mengandung sejumlah unsur hara yang dibutuhkan rumput laut untuk tumbuh dan bertahan hidup (Nasmia *et al.* 2021). Jenis pupuk yang digunakan pada budi daya rumput laut *Gracilaria* sp di penelitian ini yaitu pupuk urea. Pupuk urea merupakan jenis pupuk kimia yang memiliki kandungan nutrisi tunggal berupa unsur nitrogen sekitar 45-46%. Penggunaan pupuk memberikan banyak manfaat bagi tanaman dalam menyediakan nutrisi yang dibutuhkan, akan tetapi penggunaan pupuk yang berlebihan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak lingkungan dari penggunaan pupuk yang berlebihan diantaranya mengakibatkan adanya pencemaran udara, air, tanah sehingga memicu peningkatan pemanasan global dan penyebab eutrofikasi (Chandini *et al.* 2019).

Salah satu parameter polusi air dari penggunaan pupuk yaitu berasal dari nitrat yang merupakan komponen dasar pupuk. Nitrat adalah bentuk umum dari nitrogen terlarut yang ada dalam air, tanah atau badan air lainnya. Nitrogen merupakan salah satu faktor terjadinya eutrofikasi. Eutrofikasi mengakibatkan peningkatan pertumbuhan tanaman air dan ganggang di badan air yang menyebabkan hilangnya spesies hidup akuatik, pembunuhan biota air dan menyebabkan air tercemar. Pupuk yang mengandung nitrogen memiliki potensi mengakibatkan polusi udara. Pemakaian pupuk yang berlebih menghasilkan gas dinitrogen oksida (N₂O). N₂O merupakan salah satu jenis polutan terbesar ketiga penyebab dampak pemanasan global setelah karbondioksida (CO₂) dan metana (CH₄). Penggunaan pupuk kimia yang berlebih juga memberikan kontribusi terhadap pencemaran tanah yang menyebabkan pengasaman tanah dan kerak tanah. Hal ini menyebabkan berkurangnya kandungan bahan organik kandungan humus, pertumbuhan tanaman terhambat, mengubah pH tanah, meningkatkan hama, dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Dampak pemanasan global yang berasal dari penggunaan pupuk yang mengandung nitrogen berlebih berkontribusi penting dalam perubahan iklim (Chandini *et al.* 2019).

Skenario perbaikan yang dapat dilakukan dari penggunaan pupuk urea yaitu dengan penggunaan pupuk NPK. Pupuk NPK merupakan jenis pupuk multinutrisi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

atau pupuk kompleks yang memiliki kandungan tiga makronutrient seperti nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Nitrogen dapat membantu pertumbuhan tanaman, fosfat dapat membantu proses vital tanaman dan kalium dapat membantu pergerakan air pada tanaman dan membuat *thaluss* menjadi kuat. Pupuk NPK memiliki kandungan nutrient yang lebih lengkap dari pupuk urea. Penggunaan jenis pupuk NPK 15:15:15 menjadi skenario perbaikan yang dapat dilakukan. Kandungan nitrogen jenis pupuk NPK 15:15:15 yang lebih kecil dari kandungan nitrogen pada pupuk urea, diasumsikan memberikan dampak lingkungan yang lebih kecil dan kebutuhan nutrisi untuk tanaman tetap tercukupi. Berdasarkan hasil perhitungan analisis dampak lingkungan dengan *software* Simapro menunjukkan bahwa kandungan nitrogen, fosfat dan kalium pada pupuk NPK memiliki nilai dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi yang lebih rendah dibandingkan pupuk urea. Perubahan besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari penggunaan jenis pupuk NPK 15:15:15 dapat dilihat pada Tabel 36.

Tabel 36 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan jenis pupuk urea menjadi pupuk NPK 15:15:15

Data	Pemanasan global (Kg-CO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Asidifikasi (Kg-SO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Eutrofikasi (Kg-PO ₄ eq/ kg-tepung agar)
Realisasi	2,35E-01	1,26E-03	2,65E-04
Interpretasi	6,89E-02	3,52E-04	1,00E-04
Perubahan dampak	1,66E-01	9,04E-04	1,65E-04
Persentase (%)	70,73	71,98	62,18

Skenario 2 : Mengganti *supplier* bahan baku terdekat dengan industri

Unit transportasi bahan baku dari *supplier* ke industri menghasilkan dampak lingkungan dari penggunaan solar sebagai bahan bakar transportasi. Nilai besaran dampak unit transportasi tergantung dari jarak dan waktu tempuh proses transportasi. Semakin jauh dan lamanya proses transportasi, maka dampak lingkungan yang dihasilkan semakin tinggi. Secara global, sebagian besar polusi udara dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil seperti solar dan bensin yang digunakan untuk proses transportasi (Perera 2018). Pemilihan *supplier* terdekat menjadi skenario perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari transportasi. Perubahan dampak lingkungan yang dihasilkan dari pemilihan *supplier* terdekat dari industri pada daur hidup tepung agar dapat dilihat pada Tabel 37, dan daur hidup tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 38.

Tabel 37 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari pemilihan *supplier* terdekat ke industri pada daur hidup tepung agar

Data	Pemanasan global (Kg-CO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Asidifikasi (Kg-SO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Eutrofikasi (Kg-PO ₄ eq/ kg-tepung agar)
Realisasi	5,06E-01	2,45E-03	5,94E-04
Interpretasi	2,84E-01	1,49E-03	3,23E-04
Perubahan dampak	2,21E-01	9,65E-04	2,71E-04
Persentase (%)	43,74	39,31	45,61

Tabel 38 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari pemilihan *supplier* terdekat ke industri pada daur hidup tepung karagenan

Data	Pemanasan global (Kg-CO ₂ eq/ kg-tepung karagenan)	Asidifikasi (Kg-SO ₂ eq/ kg-tepung karagenan)	Eutrofikasi (Kg-PO ₄ eq/ kg-tepung karagenan)
Realisasi	1,04E+00	4,05E-03	9,62E-04
Interpretasi	1,61E-01	6,12E-04	1,48E-04
Perubahan dampak	8,74E-01	3,43E-03	8,14E-04
Persentase (%)	84,44	84,86	84,61

Skenario 3 : Mengganti penggunaan batu bara dengan bahan bakar *Natural Gas (Compreseed Natural Gas / CNG)*

Boiler atau ketel uap merupakan seperangkat mesin yang menghasilkan *steam* (uap) yang digunakan sebagai pemanas pada beberapa tahapan proses produksi di PT XYZ. PT XYZ menggunakan batu bara sebagai bahan bakar *boiler*. Secara teknis, *steam* yang dihasilkan dari *boiler* akan dialirkan melalui sistem perpipaan ke tangki pemasakan yang membutuhkan pemanasan. Kapasitas jumlah produksi menjadi faktor utama kebutuhan batu bara sebagai bahan bakar.

Batu bara merupakan hasil pembakaran bahan bakar fosil yang menyebabkan pencemaran udara (Perera 2018). Pencemaran udara dari proses pembakaran bahan bakar pada *boiler* batu bara pada umumnya mengandung bahan pencemar berupa partikulat (debu), atau berupa jenis polutan seperti N₂O, CO, CO₂ dan SO₂. Emisi udara yang dikeluarkan dari cerobong baik berupa partikulat maupun jenis polutan merupakan emisi yang dapat mencemari lingkungan (Setiawan *et al.* 2012).

Batu bara merupakan bahan bakar berbentuk padat yang banyak digunakan sebagai bahan bakar *boiler* diberbagai sektor industri, karena biaya bahannya yang murah. Akan tetapi, batu bara memiliki dampak negatif berupa pencemaran udara dan menghasilkan limbah dari sisa pembakaran. Skenario perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan bahan bakar gas berupa gas alam atau *natural gas* (NG). Salah satu produk dari gas alam yaitu *Compreseed Natural Gas* (CNG). CNG merupakan gas alam yang dikompresi pada tekanan tinggi (248 bar) di suhu lingkungan dan disimpan dalam tangki (Bargende 2015). Gas alam memiliki emisi karbon yang lebih rendah dan dapat mengurangi emisi NO_x dan partikulat dibandingkan dengan minyak dan batu bara (Economides *et al.* 2006).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hasil kajian LCA pada penggunaan CNG sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar untuk bus transit di Kanada, menunjukkan CNG dapat mengurangi emisi GRK sebesar 4,8 % (Pourahmadiyan *et al.* 2021). Pemanfaatan gas alam tidak hanya untuk transportasi saja, tetapi mulai banyak diaplikasikan ke industri sebagai bahan bakar. Indonesia mengenal CNG sebagai bahan bakar gas (BBG). CNG relatif lebih murah dan ramah lingkungan (Syukur 2015). CNG sudah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar di beberapa industri khususnya industri makanan. Beberapa industri yang menggunakan CNG diantaranya industri roti di Semarang, industri permen jahe di Pasuruan dan industri otomotif di Karawang. Keuntungan utama menggunakan CNG yaitu mampu ditransportasikan hingga jarak 2500 mil dan memiliki biaya yang murah, dan teknologi ini memiliki cakupan pasar yang luas seperti Amerika utara, Jepang, China dan Eropa (Economides *et al.* 2006). Perubahan dampak lingkungan yang dihasilkan dari penggunaan CNG sebagai bahan bakar *boiler* pada daur hidup tepung agar dapat dilihat pada Tabel 39, dan daur hidup tepung karagenan dapat dilihat pada Tabel 40.

Tabel 39 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan CNG pada daur hidup tepung agar

Data	Pemanasan global (Kg-CO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Asidifikasi (Kg-SO ₂ eq/ kg-tepung agar)	Eutrofikasi (Kg-PO ₄ eq/ kg-tepung agar)
Realisasi	2,60E+01	1,85E-01	2,60E-02
Interpretasi	9,47E+00	5,22E-02	1,90E-02
Perubahan dampak	1,65E+01	1,32E-01	7,02E-03
Persentase (%)	63,57	71,71	26,97

Tabel 40 Perubahan besaran nilai dampak lingkungan dari penggunaan CNG pada daur hidup tepung karagenan

Data	Pemanasan global (Kg-CO ₂ eq/ kg-tepung karagenan)	Asidifikasi (Kg-SO ₂ eq/ kg-tepung karagenan)	Eutrofikasi (Kg-PO ₄ eq/ kg-tepung karagenan)
Realisasi	4,65E+01	2,90E-01	5,86E-02
Interpretasi	2,59E+01	1,21E-01	5,21E-02
Perubahan dampak	2,06E+01	1,69E-01	6,51E-03
Persentase (%)	44,29	58,34	11,11



V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis inventori, *input* yang dibutuhkan pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan meliputi bahan material, yaitu bahan baku dan bahan tambahan seperti bahan kimia dan kemasan, air dan sumber energi seperti batu bara, listrik, solar dan LPG. *Output* yang dihasilkan berupa produk utama, limbah yaitu limbah padat dan limbah cair, dan emisi ke udara, air dan tanah. Identifikasi *input* dan *output* dilakukan dari tahap budi daya rumput laut, transportasi bahan baku, dan produksi tepung agar dan karagenan di industri.

Dampak lingkungan yang dikaji yaitu pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi. Dampak terbesar (*hotspot*) yang dihasilkan dari daur hidup produk tepung agar dan karagenan yaitu pada unit proses produksi produk di industri yang berasal dari penggunaan batu bara. Hasil analisis dampak pada daur hidup tepung agar menghasilkan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 26,28 kg-CO₂eq/kg-tepung agar ; 0,18 kg-SO₂eq/kg-tepung agar dan 0,03 kg-PO₄eq/kg-tepung agar, dan pada daur tepung karagenan menghasilkan dampak pemanasan global, asidifikasi dan eutrofikasi masing-masing sebesar 47,73 kg-CO₂eq/kg-tepung karagenan ; 0,30 kg-SO₂eq/kg-tepung karagenan dan 0,06 kg-PO₄³⁻eq/kg-tepung karagenan.

Skenario perbaikan direkomendasikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan. Skenario perbaikan dilakukan pada setiap unit proses pada daur hidup produk tepung agar dan karagenan. Skenario perbaikan pada unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria* sp yaitu mengganti penggunaan pupuk urea dengan pupuk NPK 15:15:15. Skenario perbaikan pada unit proses transportasi bahan baku yaitu mengganti *supplier* terdekat ke industri. Skenario perbaikan pada unit proses produksi yaitu mengganti penggunaan bahan bakar batu bara dengan bahan bakar gas alam berupa *Compressed Natural Gas* (CNG).

5.2 Saran

Penentuan ruang lingkup kajian LCA dilakukan dengan batasan sistem *cradle to grave* dari pengadaan bahan baku sampai tahap konsumsi akhir produk, sehingga dampak lingkungan dapat teridentifikasi secara menyeluruh. Pengolahan limbah cair yang dilakukan di PT XYZ berhasil mengurangi kandungan tercemar pada air limbah, sehingga limbah cair yang sudah diolah bisa dimanfaatkan kembali (*reuse*) untuk proses produksi. Perhitungan dampak lingkungan menggunakan *software* SIMAPRO perlu dianalisis untuk 8 kategori dampak lainnya seperti *abiotic depletion*, *abiotic depletion (fossil fuels)*, *ozone layer depletion*, *human toxicity*, *fresh water aquatic ecotox*, *marine aquatic ecotoxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, dan *photochemical oxidation*. Hasil kajian LCA ini dapat dijadikan dasar untuk kajian LCA produk turunan rumput laut yang dikelompokkan menjadi 5P, yaitu pangan, pakan, pupuk, produk kosmetik dan produk farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin Z, Rudyanto M, Sudjarwo. 2014. Isolasi dan karakterisasi agarosa dari rumput laut *Gracilaria verrucosa*. *J Ilmu Kefarmasian Indones*. 13(1):69–75.
- Adiansyah JS, Ningrum NP, Pratiwi D, Hadiyanto H. 2019. Kajian daur hidup (*life cycle assessment*) dalam produksi pupuk urea: studi kasus PT Pupuk Kujang. *J Ilmu Lingkung*. 17(3):522. doi:10.14710/jil.17.3.522-527.
- Agustina E. 2017. Uji aktivitas senyawa antioksidan dari ekstrak daun tiin (*ficus carica linn*) dengan pelarut air, metanol dan campuran metanol-air. *Klorofil*. 1(1):38–47.
- Amalia L. 2016. Formulasi rumput laut *Gracilaria* sp dalam pembuatan bakso daging sapi tinggi serat dan iodium. *J Gizi dan Pangan*. 10 (3). doi:10.25182/jgp.2015. 10.3.
- Amora DS, Sukesi. 2013. Ekstraksi senyawa antioksidan pada nugget- rumput laut merah, *Eucheuma cottonii*. *J Sains Dan Seni Pomits*. 2(2):C-23-C–25.
- Ariani MN, Cahyono HB, Yuliasuti R. 2015. Pemanfaatan limbah alkali industri rumput laut dan limbah *pickling* industri pelepasan logam sebagai pupuk anorganik. *J Riset Industri*. 9(1): 39-48.
- Ashila Y, Rahmatunnisa S, F GZ. 2021. Application of agar-agar as food additives. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 12(5):13–24. doi:10.9734/AJFAR/ 2021/v12i 530244.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI ISO 14040:2016. Manajemen Lingkungan - Penilaian Daur Hidup - Prinsip dan Kerangka Kerja. Badan Standardisasi Nasional.
- Bargende M. 2015. Natural gas and renewable methane for powertrains: future strategies for a climate-neutral mobility. [http://link.springer.com/ 10.1007/978-3-319-23225-6](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-23225-6).
- Buschmann AH, Camus C, Infante J, Neori A, Israel Á, Hernández MC, Pereda S V., Gomez JL, Golberg A, Tadmor N. 2017. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *Eur J Phycol*. 52(4):391–406. doi:10.1080/09670262.2017.1365175.
- Cappelli A, Gigli E, Romagnoli F, Simoni S, Blumberga D, Palermo M, Guerriero E. 2015. Co-digestion of macroalgae for biogas production : An lca-based environmental evaluation. *Energy Procedia*.72:3–10. doi:10.1016/j.egypro. 2015.06.002.
- Chandini, Randeep K, Ravendra K, Prakash O. 2019. The Impact of Chemical Fertilizers on Our Environment And Ecosystem. *Research Trends In Environmental Sciences* (pp.69-86) Edition: 2nd Chapter: 5.
- Czyrnek MM, Rocca S, Agostini A, Giuntoli J, Murphy JD. 2017. Life cycle assessment of seaweed biomethane, generated from seaweed sourced from integrated multi-trophic aquaculture in temperate oceanic climates. *Appl Energy*. 196:34–50. doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.129.
- Darmawan M, Bandol UBS, Yuda MRA. 2013. The quality of alkali treated cottonii (*atc*) made from *eucheuma cottonii* collected from different regions In Indonesia. *Squalen Bull Mar Fish Postharvest Biotechnol*. 8 (3):117. doi:10.15578/squalen. v8i3.37.

- Dewi EN, Java C. 2012. Semi refined carrageenan (scr) products from different coastal waters based on fourier transform infrared technique. *J Coast Dev.* 16(1):25–31.
- Distantina S, Rochmadi, Fahrurrozi M, Wiratni. 2013. Preparation and characterization of glutaraldehyde-crosslinked kappa carrageenan hydrogel. *Eng J.* 17(3):57–66. doi:10.4186/ej.2013.17.3.57.
- Dwi HH, Fronthea S, Laras R. 2015. Pengaruh konsentrasi asap cair terhadap kualitas dan kadar kolesterol belut (*monopterus albus*) asap. *J Pengolah dan Bioteknologi Perikanan.* 4(2012):25–32.
- Economides MJ, Sun K, Subero G. 2006. Compressed natural gas (CNG): An alternative to liquefied natural gas (LNG). *SPE Prod Oper.* 21(2):318–324. doi:10.2118/92047-pa.
- Erlania E, Radiarta IN. 2017. Observation of wild seaweed species in Labuhanbua waters, Indonesia: a preliminary assessment for aquaculture development. *Omni-Akuatika.* 13(1). doi:10.20884/1.oa.2017.13.1.172.
- Fathmawati D, Abidin MRP, Roesyadi A. 2014. Studi kinetika pembentukan karaginan dari rumput laut. *J Tek Pomits.* 3(1):1–6.
- Finnveden G, Potting J. 2014. Life cycle assessment. *Encyclopedia of Toxicology* (3) doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00627-8.
- France PB, Uk NPG, Marengo JA, Brazil O. 2007. Understanding and Attributing Climate Change. Chapter 9 IPCC WG1 Fourth Assessment Report.
- GaBi. 2011. Handbook for Life Cycle Assessment (LCA) Using the GaBi Education Software Package. Leinfelden-Echterdingen. Germany (DE): PE International.
- Ghosh A, Vijay Anand KG, Seth A. 2015. Life cycle impact assessment of seaweed based biostimulant production from onshore cultivated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva-Is it environmentally sustainable? *Algal Res.* 12:513–521. doi:10.1016/j.algal.2015.10.015.
- Gnansounou E, Kenthorai R J. 2016. Life cycle assessment of algae biodiesel and itsco-products. *Appl Energy.* 161:300–308. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.043.
- Golmaei M, Kinnarinen T, Häkkinen A. 2013. Use of filter aids for improving the filterability of biomass suspensions. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 52 : 14955-14964) .doi.org/10.1021/ie4021057.
- Gomez ZA, Prieto LMA, Jimenez LC, Mejuto JC, Simal GJ. 2019. The potential of seaweeds as a source of functional ingredients of prebiotic and antioxidant value. *Antioxidants.* 8(9). doi:10.3390/antiox8090406.
- Harun M, Montolalu RI, Suwetja IK. 2013. Karakteristik fisika kimia karaginan rumput laut jenis *kappaphycus alvarezii* pada umur panen yang berbeda di perairan Desa Tihengo Kabupaten Gorontalo Utara. *Media Teknol Has Perikanan.* 1(1):7–12. doi:10.35800/mthp.1.1.2013.4139.
- Hendri M, Rozirwan R, Apri R. 2017. Optimization of cultivated seaweed land *Gracilaria sp* using vertikultur system. *Int J Mar Sci.* doi:10.5376/ ijms.2017.07.0043.
- Herawati H. 2018. Potensi hidrokoloid sebagai bahan tambahan pada produk pangan dan nonpangan bermutu. *J Penelit dan Pengemb Pertan.* 37(1):17. doi:10. 21082/jp3.v37n1.2018.p17-25.

- Hernández CG, Freile PY, Hernández GE. 2013. Conventional and alternative technologies for the extraction of algal polysaccharides. doi:10.1533/9780857098689.3.475
- Kazłowski B, Pan CL, Ko YT. 2008. Separation and quantification of neoagarose and agarose-oligosaccharide products generated from agarose digestion by β -agarase and HCl in liquid chromatography systems. *Carbohydr Res.* 343(14):2443–2450. doi:10.1016/j.carres.2008.06.019.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2018. Laporan Tahunan 2018. Jakarta : Sekretariat Jenderal Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2019. Peluang Usaha Dan Investasi Rumput Laut. Jakarta : Direktorat Usaha dan Investasi Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kim TH, Chae CU. 2016. Environmental impact analysis of acidification and eutrophication due to emissions from the production of concrete. *Sustain.* 8(6):1–20. doi:10.3390/su8060578.
- Kloppfer W, Grahl B. 2014. Life Cycle Assessment: A Guide to Best Practice. Weinheim (DE): Wiley-VCHVerlage&Co.
- Kogoya T, Dharma IP, Sutedia IN. 2018. Pengaruh pemberian dosis pupuk urea terhadap pertumbuhan tanaman bayam cabut putih (*Amaranthus tricolor L.*). *E-Jurnal Agroekoteknologi Trop.* 7(4):575–584.
- Kurnia VC, Sumiyati S, Samudro G. 2017. Pengaruh kadar air terhadap hasil pengomposan sampah organik dengan metode open windrow. *J Tek Mesin.* 6(2):58. doi:10.22441/jtm.v6i2.1191.
- Liu Y, Chen J. 2018. Phosphorus cycle. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09043
- Maharany F, Nurjanah N, Suwandi R, Anwar E, Hidayat T. 2017. Bioactive compounds of seaweed padina australis and eucheuma cottonii as sunscreen raw materials. *J Pengolah Has Perikan Indones.* 20(1):10. doi:10.17844/jphpi.v20i1.16553.
- Mappiratu. 2009. Kajian teknologi pengolahan karaginan dari rumput laut *Eucheuma cottonii* skala rumah tangga. *Media Litbang Sulteng.* 2(1):1–6.
- Mariño M, Breckwoldt A, Teichberg M, Kase A, Reuter H. 2019. Livelihood aspects of seaweed farming in Rote Island, Indonesia. *Mar Policy.* 107 June:103600. doi:10.1016/j.marpol.2019.103600.
- Muralikrishna IV, Manickam V. 2017. Environmental management life cycle assessment. *Environmental Management.* doi.org/10.1016/B978-0-12-811989-1.00005-1.
- Nakhate P, Meer YVD. 2021. A systematic review on seaweed functionality : a sustainable bio-based material. *Sustainability.* doi.org/10.3390/su13116174.
- Nasmia, Rosyida E, Masyahoro A, Putera FHA, Natsir S. 2021. The utilization of seaweed-based liquid organic fertilizer to stimulate *Gracilaria verrucosa* growth and quality. *Int J Environ Sci Technol.* 18(6):1637–1644. doi:10.1007/s13762-020-02921-8.
- Oirschot R, Thomas JBE, Gröndahl F, Fortuin KPJ, Brandenburg W, Potting J. 2017. Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. *Algal Res.* 27 August 2016:43–54. doi:10.1016/j.algal.2017.07.025.

- Parsons S, Allen MJ, Abeln F, McManus M, Chuck CJ. 2019. Sustainability and life cycle assessment (LCA) of macroalgae-derived single cell oils. *J Clean Prod.* 232:1272–1281. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.315.
- Pereira L, Gheda SF, Ribeiro PJA. 2013. Analysis by vibrational spectroscopy of seaweed polysaccharides with potential use in food, pharmaceutical, and cosmetic industries. *Int J Carbohydr Chem.* doi:10.1155 /2013/ 537202.
- Perera F. 2018. Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist. *Int J Environ Res Public Health.* 15(1). doi:10.3390/ijerph15010016.
- Perpres] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2019 Tentang Peta Panduan (Road Map) Pengembangan Industri Rumput Laut Nasional Tahun 2018-2021. 2018.
- Pourahmadiyan A, Ahmadi P, Kjeang E. 2021. Dynamic simulation and life cycle greenhouse gas impact assessment of CNG, LNG, and diesel-powered transit buses in British Columbia, Canada. *Transp Res Part D Transp Environ.* 92 February:102724. doi:10.1016/j.trd.2021.102724.
- Purnomo AH, Subaryono, Utomo BSB, Paul N. 2020. Institutional arrangement for quality improvement of the Indonesian gracilaria seaweed. *AAFL Bioflux.* 13(5):2798–2806. <http://www.bioflux.com.ro/aac>.
- Reddy K, Abraham A, Afewerki B, Tsegay B, Ghebremedhin H, Teklehaimanot B. 2018. Extraction of agar and alginate from marine seaweeds in Red Sea region. *Int J Mar Biol Res.* 3(2):1–8. doi:10.15226/24754706/3/2/00126.
- Rohmah S, Sulistyorini L. 2017. Gambaran konsumsi udang berklorin terhadap keluhan kesehatan gastrointestinal pekerja sub kontrak Perusahaan X. *J Kesehat Lingkungan.* 9(1):57–65.
- Sa'id SD. 2011. Analisis efisiensi pemakaian bahan bakar mesin induk kapal purse seiner di pelabuhan pendaratan nusantara Pekalongan. *Gema Teknol.* 16(2):99. doi:10.14710/gt.v16i2.22135.
- Safia W, Budiyantri, Musrif. 2020. Kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif rumput laut (*Eucheima cottonii*) yang dibudidayakan dengan teknik rakit gantung pada kedalaman berbeda. *J Pengolah Has Perikan Indones.* 23(2):261–271.
- Setiaji K, Santosa GW, Tembalang K, Fax ST. 2012. Pengaruh penambahan NPK dan urea pada media air pemeliharaan terhadap pertumbuhan rumput laut *Caulerpa racemosa var. uvifera*. *Diponegoro J Mar Res.* 1(2):45–50.
- Setiawan Y, Surahman A, Kailani Z. 2012. Pencemaran emisi boiler menggunakan batu bara pada industri tekstil serta kontribusinya terhadap gas rumah kaca (GRK). *Arena Tekst.* 27(2):87–94. doi:10.31266/at.v27i2.1159.
- Sinurat E, Marliani R. 2017. Karakteristik Na-Alginat dari rumput laut cokelat sargassum crassifolium dengan perbedaan alat penyaring. *J Pengolah Has Perikan Indones.* 20(2): 351–361. doi: <http://dx.doi.org/ 10.17844/jphpi.v20i2.18103>.
- Sudarwati W, Hardjomidjojo H, Machfud, Setyaningsih D. 2020. Literature review: potential and opportunities for the development of seaweed agro-industry. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 472(1). doi:10.1088/1755-1315/472/1/012063.
- Susilowati T, Nadlir A, Haditomo AHC, Windarto S, Harwanto D, Adi K. 2019. Production performance of *Gracilaria verrucosa* using verticulture method with various wide planting area in Karimunjawa. *Omni-Akuatika.* 15(1):47. doi:10.20884/1.oa.2019.15.1.671.

- Syukur HM. 2015. Potensi gas alam di Indonesia. *Forum Teknol.* 06(1):64–73.
- Syamdidi, Irianto E H, Irianto G. 2011. Marine glycobiology : agar-abundant marine carbohydrate from seaweed in Indonesia. Chapter eighteen. doi: 10.1201/9781 315371399-19
- Thakur S, Chauhan MS. 2016. Electro-coagulation integrated with advance oxidation processes: technical review on treatment of industrial wastewater. *Int J Innov Res Sci Eng Technol (An ISO Certif Organ.* 5(6):11018–11023. doi:10.15680/ IJRSET.2015.0506159.
- Tombolotutu AD, Khaldun RI, Palampanga AM, Djirimu MA, Tenge E. 2019. Trade liberalization and export competitiveness: a case study on Indonesian seaweed in the global market. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 270(1). doi:10.1088/1755-1315/270/1/012056.
- Torres MD, Flórez FN, Domínguez H. 2019. Integral utilization of red seaweed for bioactive production. *Mar Drugs.* 17(6). doi:10.3390/md17060314.
- Tunggal WWI, Hendrawati TY. 2015. Pengaruh konsentrasi koh pada ekstraksi rumput laut (*Euclima cottonii*) dalam pembuatan karagenan. *Konversi.* 4 April:32–39.
- Urban RA, Bakshi BR. 2009. 1,3-Propanediol from fossils versus biomass: A life cycle evaluation of emissions and ecological resources. *Ind Eng Chem Res.* 48(17):8068–8082. doi:10.1021/ie801612p.
- Vogtländer JG. 2010. LCA-based assessment of sustainability: The eco-costs/value ratio (EVR): original publications on the theory, updated with eco-costs 2007 data. *Delft Univ Technol Ned.* ISBN: 1090312059.
- Waldron S, Siregar UJ, Pasaribu SH, Langford A. 2021. An Analysis of the South Sulawesi Seaweed Industry. doi: 10.13140/RG.2.2.13785.24169.
- Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, Byass P, Cai W, Campbell-Lendrum D, Capstick S, *et al.* 2019. The 2019 report of the lancet countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet.* 394(10211):1836–1878. doi:10.1016/S0140-6736(19)32596-6.
- Wijayanto D, Bambang AN, Nugroho RA, Kurohman F. 2020. The growth model of *Euclima cottonii* cultivated in Karimunjawa Islands, Indonesia. *AAFL Bioflux.* 13(5):2551–2557. <http://www.bioflux.com.ro/aafl>.
- Wijayanto T, Hendri M, Aryawati R. 2011. Studi pertumbuhan rumput laut euclima cottonii dengan berbagai metode penanaman yang berbeda di Perairan Kalianda, Lampung Selatan. *Maspri J Mar Sci Res.* 3(2):51–57.
- Wilkinson GM. 2017. Eutrophication of freshwater and coastal ecosystems. *Encyclopedia of Sustainable Technologies (4)*.doi.org/10.1016/B978-0-12-409 548-9.10160-5.
- Windrianto Y, L RD, Berlianty I. 2016. Pengukuran tingkat eko-efisiensi untuk menciptakan produksi batik yang efisien dan ramah lingkungan (studi kasus di UKM Sri Kuncoro Bantul). *J OPSI.* 9(2):143–149. doi: 10.31 315/opsi.v9i2.2324.
- Wongsoonthornchai M, Thitanuwat B. 2021. Phosphorus mass flows: A planning tool for food waste management in Pathumthani Province, Thailand. *Environment Asia.* 14(1):52–62. doi:10.14456/ea.2021.6.

WWF- Indonesia TP. 2004. Teknik Budidaya Rumput Laut. Edisi 1. ISBN 978-979-1461-37-5.

Yu K, Li S, Sun X, Kang Y. 2020. Maintaining the ratio of hydrosoluble carbon and hydrosoluble nitrogen within the optimal range to accelerate green waste composting. *Waste Manag.* 105:405–413. doi:10.1016/j.wasman.2020. 02.023.

Yudiati E, Ridlo A, Nugroho AA, Sedjati S, Maslukah L. 2020. Analisis kandungan agar, pigmen dan proksimat rumput laut *Gracilaria* sp. pada Reservoir dan biofilter tambak udang *Litopenaeus vannamei*. *Bul Oseanografi Mar.* 9(2):133–140. doi:10.14710/buloma.v9i2.29453.

Yulistiana U, Damayanti AA, Cokrowati N. 2020. Pertumbuhan *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan pada tambak di Bajo Baru Dompu. *Rekayasa.* 13(3):212–218. doi:10.21107/rekayasa.v13i3.9013.

Zhao Y, Zhou Q, Hidetoshi K, Luo L. 2021. Nitrogen flow characteristics of solid waste in China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 208:111596. doi:10.1016/j.ecoenv.2020. 111596.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



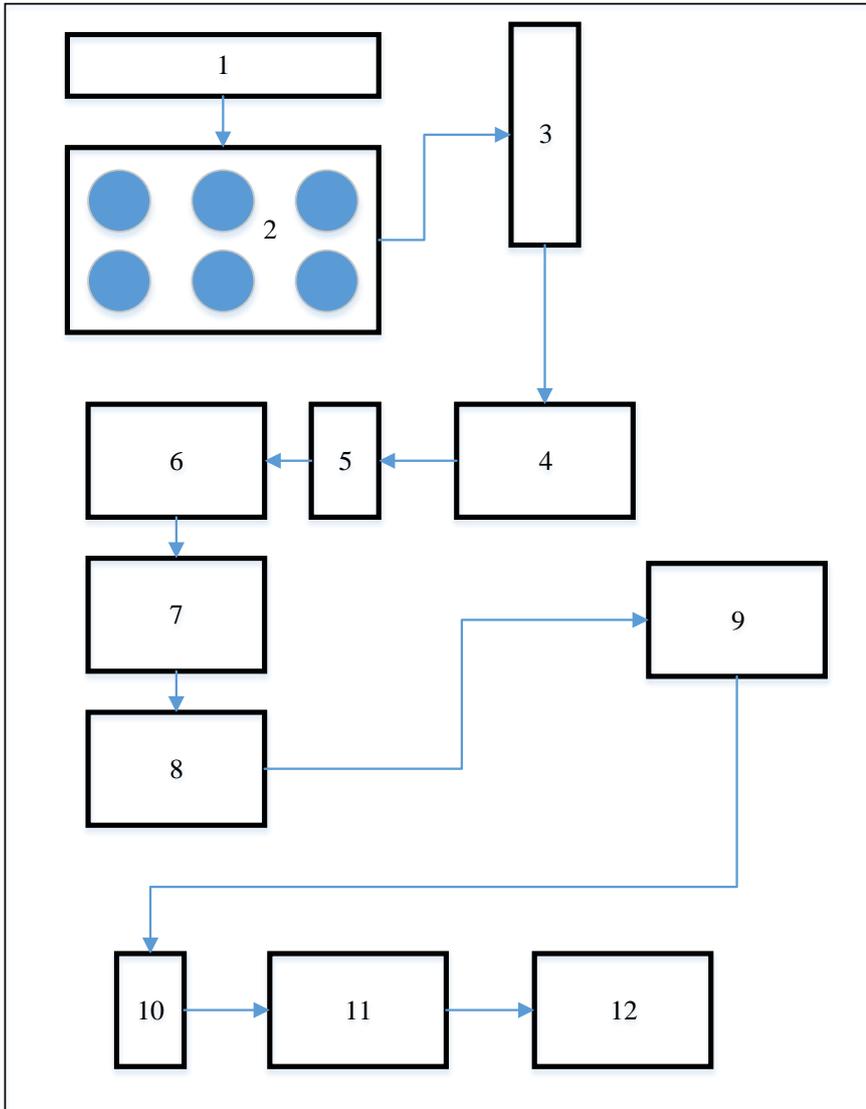
@Hak cipta milik IPB University

LAMPIRAN

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1. Layout tempat produksi di PT XYZ

@Hak cipta milik IPB University

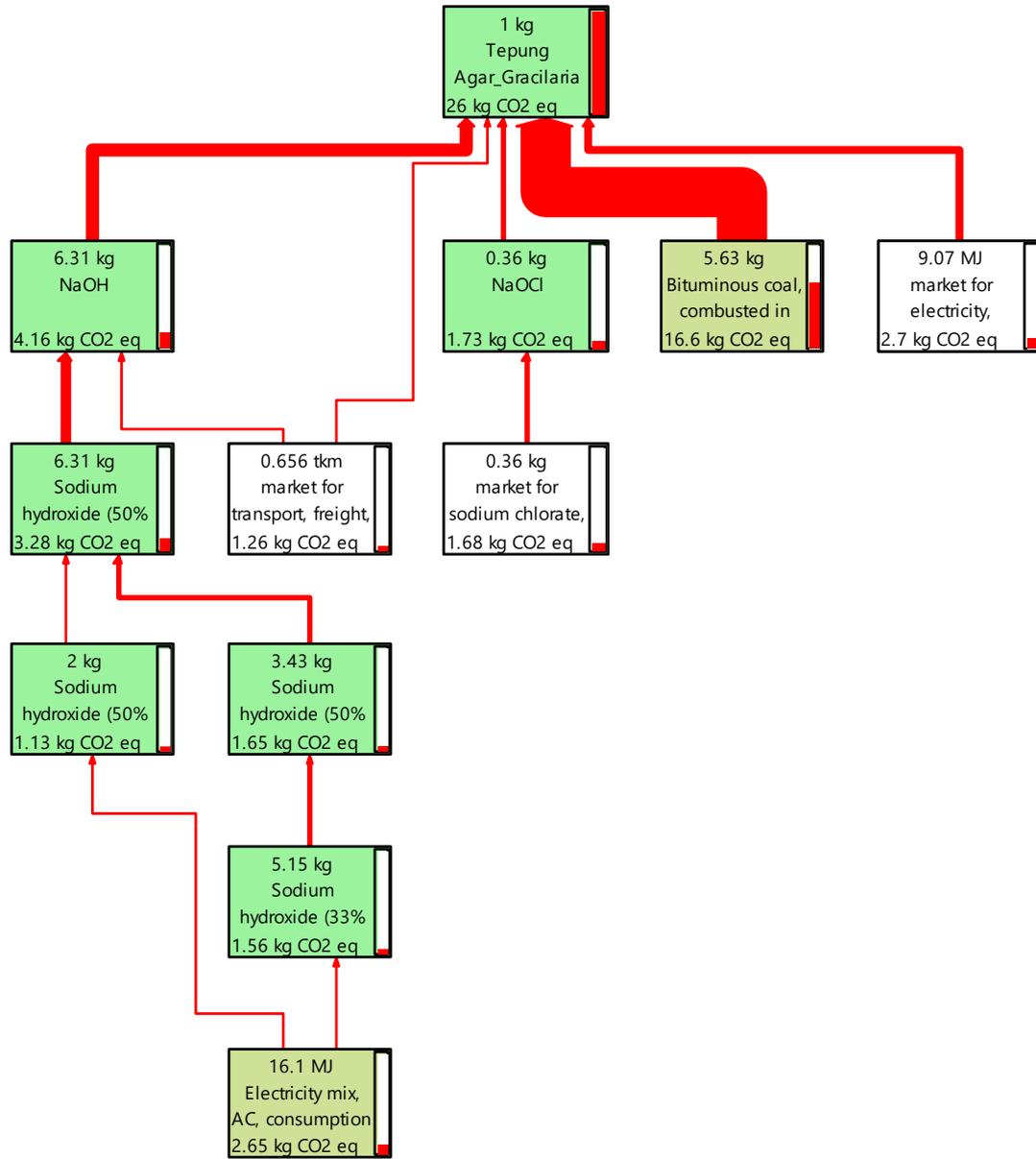


Keterangan :

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Boiler | 7. Proses <i>dewatering</i> |
| 2. Proses pemasakan | 8. Proses Pengeringan |
| 3. Proses filtrasi | 9. Proses Pemotongan |
| 4. Storage tank | 10. Pengeringan dengan <i>rotary dryer</i> |
| 5. Proses Presipitasi | 11. Proses Penepungan |
| 6. Bak penampung | 12. Proses Pengemasan |

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 2 Diagram hasil analisis dampak pemanasan global pada produk tepung agar

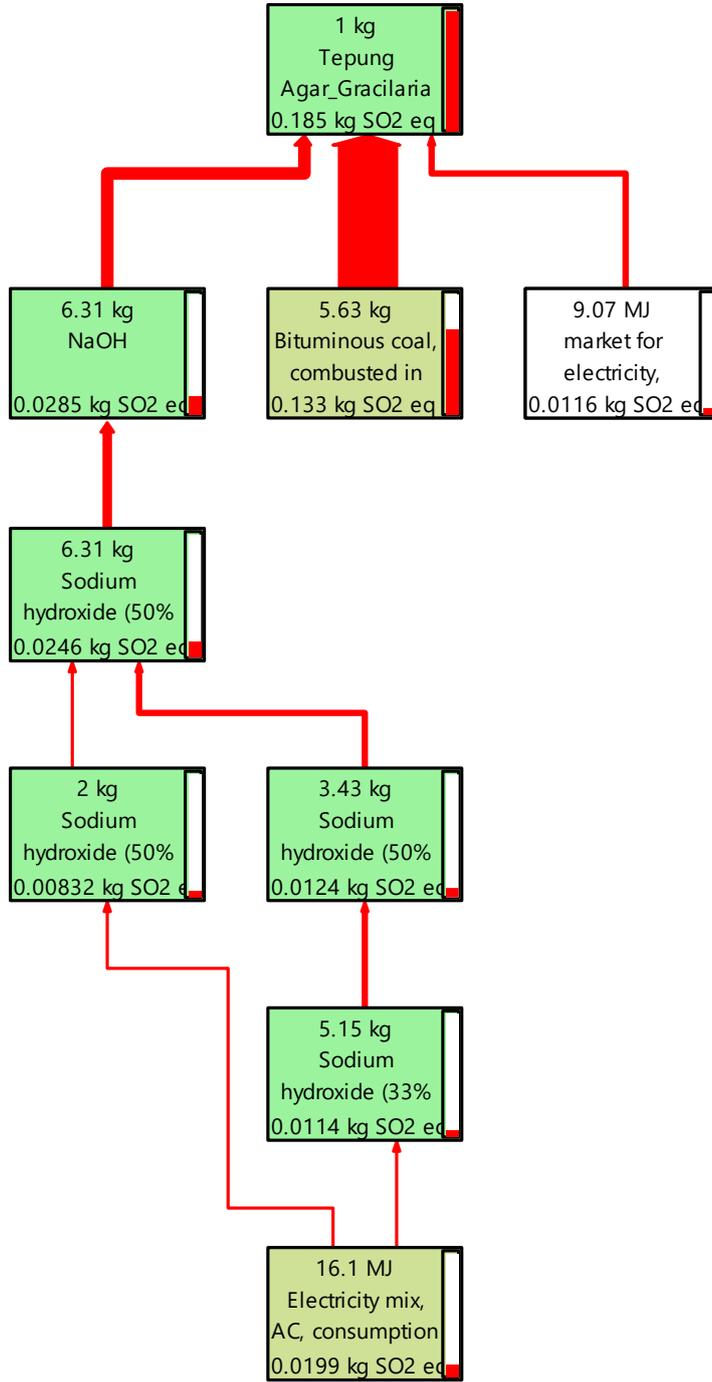


@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

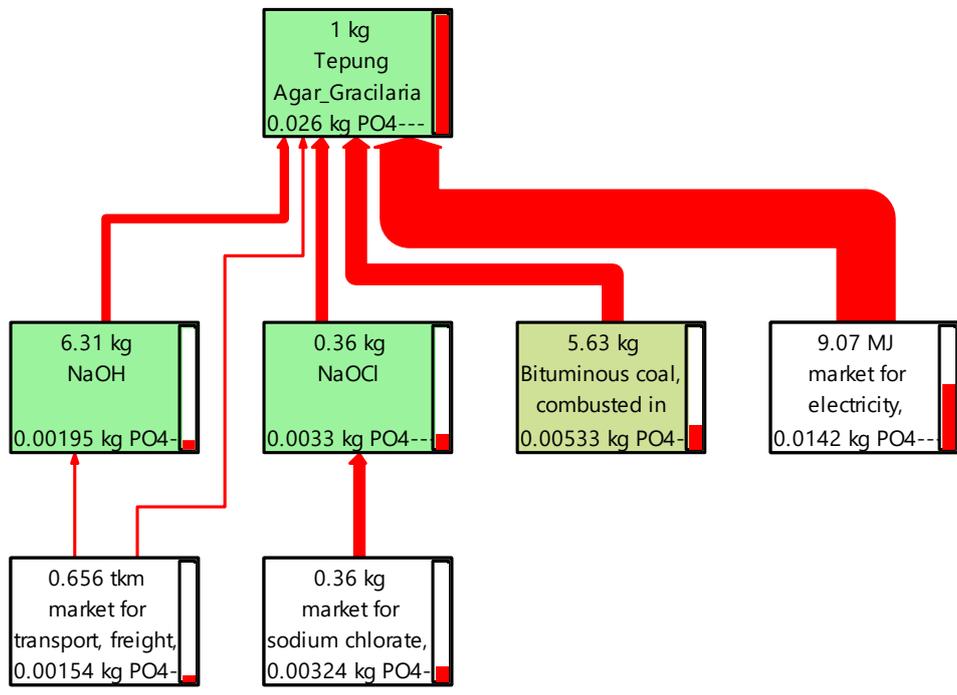
Lampiran 3 Diagram hasil analisis dampak asidifikasi pada produk tepung agar



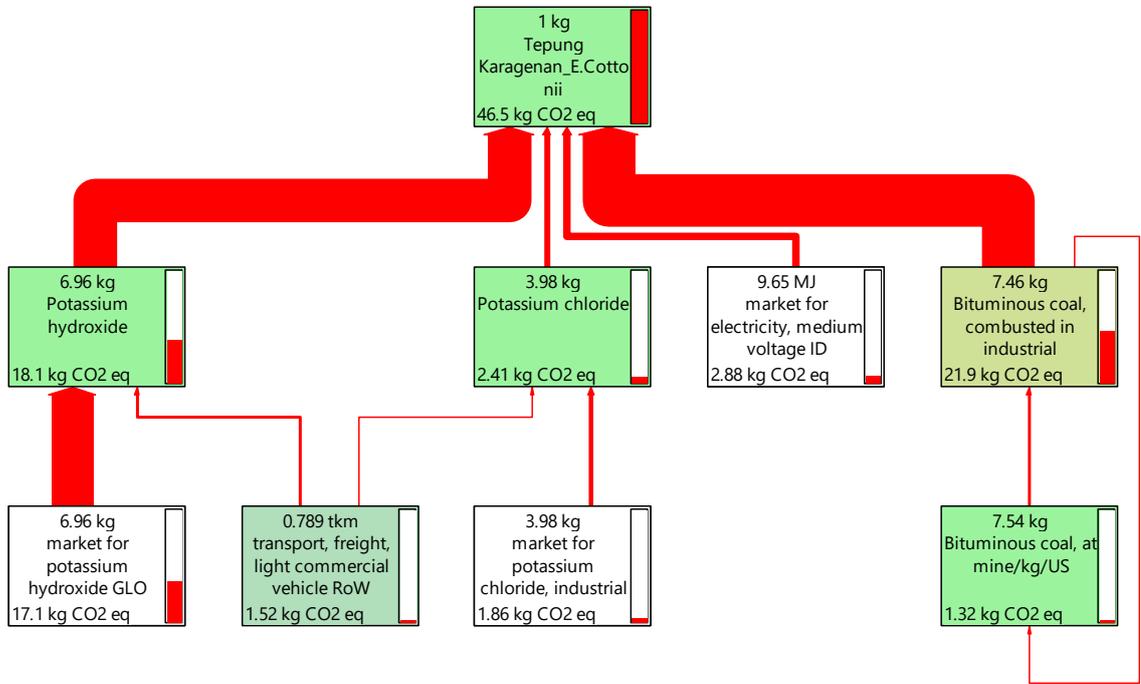
- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 4 Diagram hasil analisis dampak eutrofikasi pada produk tepung agar

@Hak cipta milik IPB University

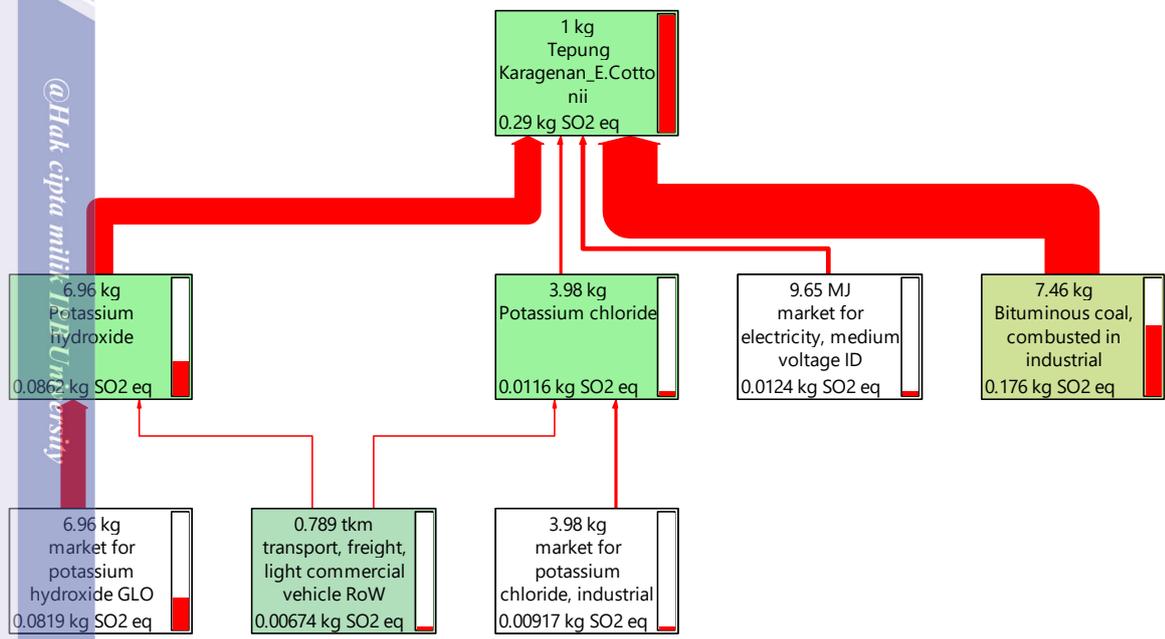


Lampiran 5 Diagram hasil analisis dampak pemanasan global pada tepung karagenan

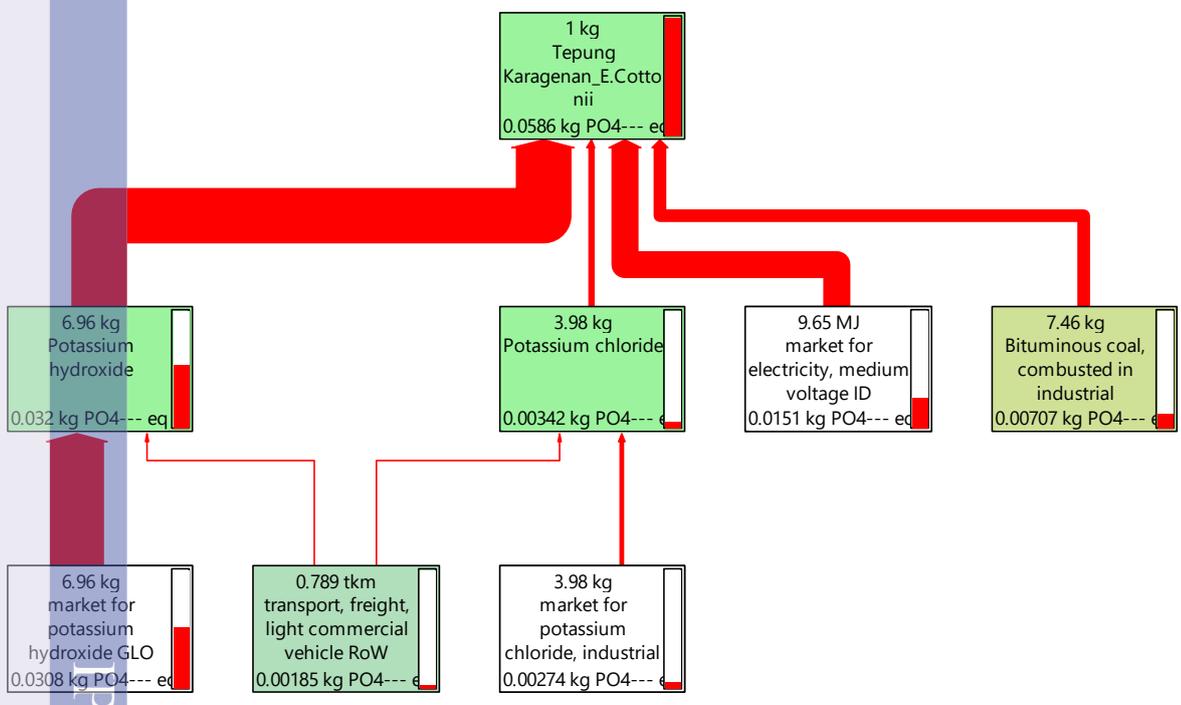


Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6 Diagram hasil analisis dampak asidifikasi pada produk tepung karagenan



Lampiran 7 Diagram hasil analisis dampak eutrofikasi pada produk tepung karagenan



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 8 Dokumentasi gambaran umum kegiatan penelitian



Kegiatan wawancara dengan petani rumput laut dan pengepul



Kegiatan unit proses budi daya rumput laut *Gracilaria sp*



Kegiatan unit proses budi daya rumput laut *Eucheuma cottonii*



Kegiatan unit proses produksi di PT XYZ

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 31 Oktober 1995 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak M. Munif dan Ibu Siti Saodah. Pendidikan Sekolah Dasar ditempuh di SDN Sadengrejo lulus tahun 2007. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama ditempuh di SMPN 2 Kraton PP. Terpadu Al-Yasini lulus tahun 2010, dan melanjutkan pendidikan ke MAN 2 Kraton PP. Terpadu Al-Yasini lulus tahun 2013. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Universitas Jember pada jurusan Teknik Pertanian dan lulus tahun 2017. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai Mahasiswa program magister (S-2) di Program Studi Teknik Industri Pertanian Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB University) dengan program beasiswa dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan.

Penulis pernah bekerja sebagai *Tax-officer* di PT Raindo Putra Lestari pada tahun 2018, dan bekerja sebagai pegawai kontrak Tenaga Kerja Sukarela (TKS) Kementerian Ketenagakerjaan pada tahun 2019. Selama menjalani program S-2, penulis aktif diberbagai organisasi dan kepanitian. Penulis pernah aktif sebagai sekretaris departemen divisi akademik Forum Mahasiswa Pascasarjana (FORUM WACANA) Kabinet Cemerlang IPB University, sekretaris divisi akademik Forum Mahasiswa Pascasarjana Teknik Industri Pertanian (FORMATIP), anggota divisi Pengembangan Sumberdaya Mahasiswa kelurahan LPDP 7.0 dan anggota divisi *creative studio* Himpunan Mahasiswa Muslim Pascasarjana (HIMMPAS). Selain itu, penulis juga aktif diberberapa kepanitian kegiatan kampus diantaranya ketua panitia workshop publikasi ilmiah sukses tembus jurnal internasional bereputasi, sekretaris dan bendahara webinar tips and trik strategi lolos jurnal internasional bereputasi, ketua panitia lomba menulis artikel kontribusi generasi muda untuk pembangunan berkelanjutan di Indonesia, dan beberapa kepanitian lainnya. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Analisis dan Desain Sistem Pengembangan Agroindustri tahun 2020.

Selama menjalani pendidikan program Magister, Penulis mengikuti forum ilmiah dengan menjadi presenter pada 2nd International Conference on Innovation in Technology and Management for Sustainable Agroindustry (ITAMSA) 2021 dengan judul “*Global Warming Impact Study on Carrageenan Flour Product Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach*” dan telah menulis jurnal dengan judul “Kajian Dampak Lingkungan Produk Tepung Agar Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*” pada Jurnal Teknologi Industri Pertanian.