

**PRARANCANGAN PABRIK *SPIRULINA* DARI *SPIRULINA*  
*PLATENSIS* DENGAN MEMANFAATKAN CO<sub>2</sub> DARI GAS  
BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA  
KAPASITAS 90.000 Kg/ TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



**Oleh:**

**Nadia Febriyanti  
24180327D**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SETIA BUDI  
SURAKARTA  
2023**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### Tugas Akhir

# PRARANCANGAN PABRIK *SPIRULINA* DARI *SPIRULINA* *PLATENSIS* DENGAN MEMANFAATKAN CO<sub>2</sub> DARI GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA KAPASITAS 90.000 Kg/ TAHUN

Oleh :


**NADIA FEBRIYANTI**

**24180327D**


Telah Disetujui

Pada Tanggal 20 Juni 2023


Pembimbing 1

  
Dr. Supriyono S.T.,M.T.  
NIS : 01201407261183

Pembimbing 2

  
Ir Sumardiyono M.T.  
NIS : 01199403231041

Ketua Program Studi  
S1 Teknik Kimia

  
Gregorius Prima I.B.,S.T.,M.Eng.  
NIS : 01201407261183

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir

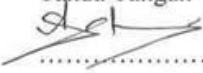
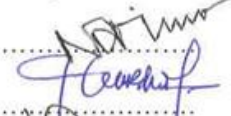
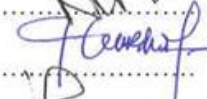
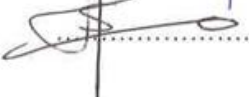
### PRARANCANGAN PABRIK *SPIRULINA* DARI *SPIRULINA PLATENSIS* DENGAN MEMANFAATKAN CO<sub>2</sub> DARI GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA KAPASITAS 90.000 Kg/ TAHUN

Oleh :

**NADIA FEBRIYANTI**

**24180327D**

Telah Disetujui dan disahkan oleh Tim Penguji  
Pada Tanggal 27 Juli 2023

Nama	Tanda Tangan
Penguji 1 Dewi Astuti Herawati, S.T.,M.Eng.	
Penguji 2 Dr. Narimo,S.T.,M.M	
Penguji 3 Ir. Sumardiyono, M.T	
Penguji 4 Dr. Supriyono,S.T.,M.T.	

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Setia Budi



Dr. Drs. Suseno, M.Si  
NIS 01199408011044

Ketua Program Studi  
S1 Teknik Kimia



Gregorius Prima, B. S.T., M.Eng  
NIS 01201407261183

---

---

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Bismillahirrahmanirrahim,,  
Ku persembahkan skripsi ini untuk yang selalu bertanya:  
“Kapan Wisuda?”**

**Terlambat lulus atau tidak lulus tepat waktu bukanlah sebuah kejahatan, bukan pula sebuah aib. Bukankah sebaik-baiknya skripsi adalah skripsi yang selesai?**

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat siksa dari (kejahatan) yang diperbuatnya.” (QS.Albaqarah :286)**

Tiada lembar yang paling inti dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. Allhamdulillah, puji sukur kepada Allah SWT. Yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa, memberi saya kekuatan, kesabaran, dan keikhlasan. Atas karunia serta kemudahan yang engkau berikan, akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan di waktu yang tepat. Sholawat serta salam selalu tercurah limpahkan kepada baginda Rasullulah Muhammad SAW.

Segala perjuangan saya hingga titik ini, saya persembahkan teruntuk orang – orang hebat yang selalu menjadi penyemangat, menjadi alasan saya kuat sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

1. Kedua orang tua, Mamah Wahyuni terimakasih untuk hari-hari yang telah kau habiskan untuk menjaga, menyayangi, mendidik, dan membimbing, serta selalu mendoakan dan menyemangati penulis. Bapak Suryatno terimakasih atas dukungan, kerja keras, dan pengorbanannya. Gelar sarjana ini penulis persembahkan untuk kalian.
2. Ibu Yati Douglas dan Alm. Bapak Gadston Douglas Terimakasih untuk kasih sayang juga support bagi penulis untuk dapat terus melanjutkan Pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi.
3. Adikku tercinta, Nabila Skar Ning Tyas, Terimakasih sudah ikut serta dalam proses penulis menempuh Pendidikan selama ini. Terimakasih atas semangat doa dan cinta yang selalu diberikan kepada penulis. Tumbuhlah menjadi versi paling hebat, adikku.
4. Bapak Dr. Supriyono,S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing akademis dan pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan

bimbingan dan saran kepada penulis sejak awal sampai dengan terselesaikannya penulisan skripsi ini.

5. Gregorius Prima Indra B. S.T.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta. Terimakasih atas ilmu yang memotivasi dan membangun kehidupan penulis.
6. Bapak/ibu dosen di Prodi Teknik kimia Universitas Setia Budi Surakarta yang selama ini banyak berperan memberikan pengalaman serta pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Semua staf dan tenaga kependidikan Universitas Setia Budi Surakarta yang telah banyak membantu penulis selama proses kuliah.
8. Abu Hanif Asyifa A, S.T. yang selalu menemani penulis dalam keadaan suka maupun duka, yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, dan selalu memberikan dukungan terhadap penulis. Terimakasih karena sudah bersedia menemani dan mendukung saya hingga saat ini.
9. Teman seperjuangan Teknik kimia 2018. Ulfa, Riska, Nona, Devia, dan Afia yang juga turut andil dalam pengerjaan skripsi ini, serta memberi dukungan pada penulis.
10. Terakhir dan tidak kalah penting, saya ingin berterimakasih kepada diri saya sendiri yang merupakan bagian kebahagiaan tersendiri karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini, terimakasih telah percaya pada diri sendiri bahwa saya mampu melalui semua ini, terimakasih karena tidak pernah berhenti mencintai dan menjadi diri sendiri, terimakasih sudah mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan dan memutuskan untuk tidak pernah menyerah sebaik dan semaksimal mungkin.

Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan bagi pengembangan dunia Pendidikan.

Kuningan, 19 Oktober 2023

Nadia Febriyanti

### PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul  
“**PRARANCANGAN PABRIK *SPIRULINA* DARI *SPIRULINA*  
*PLATENSIS* DENGAN MEMANFAATKAN CO<sub>2</sub> DARI GAS  
BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA KAPASITAS  
90.000 Kg/ TAHUN**”.

Adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan tidak terdapat karya  
yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu  
perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya  
atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain.  
Kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan  
dalam daftar Pustaka.

Apabila Skripsi ini merupakan jiplakan dari penelitian/karya  
ilmiah/skripsi orang lain maka saya siap menerima sanksi, baik secara  
akademis maupun hukum

Surakarta, 19 Oktober 2023



Nadia Febriyanti  
(24180327D)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran ALLAH SWT karena atas ijin dan limpahan rahmat serta kasih saying-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**PRARANCANGAN PABRIK SPIRULINA DARI SPIRULINA PLATENSIS DENGAN MEMANFAATKAN CO<sub>2</sub> DARI GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA KAPASITAS 90.000 Kg/ TAHUN**”

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana teknik kimia pada Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan bimbingan :

1. Dr.Ir. Djoni Tarigan, MBA selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Dr. Drs. Suseno, M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Gregorius Prima Indra B. S.T.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Dr. Supriyono,S.T.,M.T. dan Ir.Sumardioyono, M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Dewi Astuti Herawati, S.T.,M.Eng. dan Dr. Narimo,S.T.,M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir atas masukan dan sarannya
6. Semua staf dan tenaga kependidikan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta
7. Rekan – rekan satu Angkatan Program Studi Teknik Kimia 2018, Serta pihak – pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, untuk itu Penulis mengharapkan saran dan masukan untuk perbaikan agar Tugas Akhir ini dapat selesai dengan maksimal. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surakarta ,29 Juni 2023

Penulis

---



---

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
ABSTRAK .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik .....	1
1.2 Kapasitas Rancangan .....	3
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku .....	3
1.2.2 Kebutuhan Produk .....	3
1.3 Lokasi .....	5
1.3.1 Sumber Bahan Baku .....	5
1.3.2 Fasilitas Transportasi .....	5
1.3.3 Iklim .....	5
1.3.4 Utilitas .....	6
1.3.5 Lokasi Pemasaran .....	7
1.4 Proses Yang Dipilih .....	7
1.4.1 Pengolahan Gas Buang Hasil Pembakaran Batu Bara .....	7
1.4.2 Fotobioreaktor .....	7
1.5 Tinjauan Pustaka .....	9
1.5.1 <i>Mikroalga</i> .....	9
1.5.2 <i>Spirulina Platensis</i> .....	10
1.5.3 Proses Pembuatan Yang Dipilih Dalam Budidaya <i>Spirulina</i> .....	16
1.5.4 Tinjauan Proses Secara Umum .....	17
<b>BAB II SPESIFIKASI BAHAN .....</b>	<b>19</b>
2.1 Spesifikasi Bahan Baku .....	19
2.1.1 <i>Spirulina Platensis</i> .....	19
2.1.2 Gas Buang Hasil Pembakaran Batu Bara .....	19
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu .....	20
2.2.1 Air (H <sub>2</sub> O) .....	20
2.2.2 Kalsium Oksida (CaO) .....	21



	2.3	Spesifikasi Produk .....	21
<b>BAB III</b>		<b>DESKRIPSI PROSES .....</b>	<b>22</b>
	3.1	Tahapan Proses .....	22
	3.2	Langkah Proses .....	22
	3.2.1	Pemisahan Partikel Padatan pada Gas Buang .....	22
	3.2.2	Pemisahan Gas Sulfurdioksida (SO <sub>2</sub> ) dari Gas Buang .....	22
	3.2.3	Budidaya <i>Spirulina Platensis</i> dengan Fotobioreaktor .....	23
	3.2.4	Pemanenan <i>Spirulina Platensis</i> .....	23
	3.2.5	Penggilingan <i>Spirulina Platensis</i> .....	23
	3.3	Diagram Alir kualitatif .....	24
	3.4	Diagram Alir Kuantitatif .....	25
	3.5	Diagram Alir Proses ( <i>flow sheet diagram</i> ) .....	26
	3.6	Jadwal Operasi Reaktor .....	27
<b>BAB IV</b>		<b>NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI .....</b>	<b>28</b>
	4.1	Neraca massa .....	28
	4.1.1	Neraca Massa Elektrostatis Presipitator .....	28
	4.1.2	Neraca Massa Scrubber .....	28
	4.1.3	Neraca Massa Fotobioreaktor .....	29
	4.1.4	Neraca Massa Filter .....	29
	4.1.5	Neraca Massa Rotary Dryer .....	30
	4.1.6	Neraca Massa Hammer .....	30
	4.2	Neraca Panas .....	30
	4.2.1	Neraca Panas Sekitar Scrubber .....	30
	4.2.2	Neraca Panas Filter .....	31
	4.1.3	Neraca Panas <i>Dryer</i> .....	31
<b>BAB V</b>		<b>SPESIFIKASI ALAT .....</b>	<b>32</b>
	5.1	Alat Proses .....	32
	5.1.1	Elektrostatis Presipitator (H-110) .....	32
	5.1.2	Scrubber (D-130) .....	32
	5.1.3	Mixer Fotobioreaktor (M-210) .....	32
	5.1.4	Fotobioreaktor (R-220) .....	33
	5.1.6	Decanter <i>Spirulina Platensis</i> (H-310) .....	33
	5.1.7	Rotary Dryer (B-320) .....	34
	5.1.8	Hammer Micro Pulverizer (C-340) .....	34
	5.2	Alat penunjang .....	34
	5.2.1	Pompa (L-121) .....	34
	5.2.2	Pompa (L-211) .....	35
	5.2.3	Pompa (L-212) .....	35
	5.2.4	Pompa (L-213) .....	36

5.2.5	Pompa (L-311).....	36
5.2.6	Bucket Elevator .....	37
5.2.7	Belt Conveyor 01 .....	37
5.2.8	Belt Conveyor 02 .....	38
5.2.9	Kompresor 01 .....	38
5.2.10	Kompresor 02 .....	38
<b>BAB VI</b>	<b>UTILITAS.....</b>	<b>39</b>
6.1	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	39
6.1.1	Air Sanitasi .....	40
6.1.2	Air Pendingin.....	40
6.1.3	Steam .....	41
6.1.4	Air Proses.....	42
6.1.5	Kebutuhan Air Total .....	42
6.1.6	Unit Pengolahan Air .....	42
6.2	Unit Pembangkit Steam .....	43
6.3	Unit Pembangkit Listrik .....	44
6.4	Unit Penyediaan Udara Tekan .....	46
6.5	Unit penyediaan bahan bakar .....	46
6.6	Unit Pengolahan Limbah .....	47
6.7	Laboratorium .....	47
6.8	Spesifikasi Alat Utilitas .....	48
<b>BAB VII</b>	<b>ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK .....</b>	<b>55</b>
7.1	Bentuk Perusahaan .....	55
7.2	Struktur Organisasi .....	56
7.3	Tugas dan Wewenang.....	59
7.4	Status Karyawan dan Sistem Upah.....	64
7.5	Penggolongan Jabatan, Jumlah Karyawan dan Gaji .....	65
7.6	Kesejahteraan Sosial Karyawan .....	66
7.7	Manajemen Perusahaan .....	67
7.8	Tata Letak Pabrik .....	69
7.9	Lay Out Peralatan Proses.....	72
<b>BAB VIII</b>	<b>ANALISIS EKONOMI .....</b>	<b>74</b>
8.1	Penaksiran Harga Peralatan .....	74
8.2	Perhitungan Biaya .....	76
	8.2.1 <i>Capital investment</i> .....	76
	8.2.2 <i>Manufacturing Cost</i> .....	76
	8.2.3 <i>General Expense</i> .....	76
8.3	Analisa Kelayakan.....	76
	8.3.1 <i>Percent Retrun On Investment</i> .....	77
	8.3.2 <i>Pay Out Time (POT)</i> .....	77
	8.3.3 <i>Break Even Point</i> .....	77

8.3.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i> .....	77
8.3.5	<i>Discounted Cash Flow Rate Of Return (DFCR)</i> .....	78
8.4	Hasil Perhitungan .....	78
8.5	Analisa Keuntungan .....	81
8.6	Hasil kelayakan Ekonomi .....	82
8.6.1	<i>Percent Retrun on Investment (ROI)</i> .....	82
8.6.2	<i>Pay Out Time (POT)</i> .....	82
8.6.3	<i>Break Even Point (BEP)</i> .....	82
8.6.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i> .....	82
8.6.5	<i>Discounted Cash Flow rate (DCFR)</i> .....	82
BAB IX	PENUTUP .....	84
9.1	Kesimpulan .....	84
DAFTAR PUSTAKA	.....	85
LAMPIRAN	.....	88

---

---

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 1.1. <i>Kebutuhan Impor Spirulina Platensis Powder di Indonesia</i> .....	4
Gambar 1.2. Lokasi pendirian pabrik .....	6
Gambar 1.3. <i>Spirulina Platensis</i> .....	11
Gambar 1.4. Siklus hidup spirulina .....	12
Gambar 1.5. Fase pertumbuhan .....	13
Gambar 3.1. Diagram Alir Kualitatif.....	24
Gambar 3.2. Diagram Alir Kualitatif.....	25
Gambar 3.3. Diagram Alir Proses ( <i>flow sheet diagram</i> ) .....	26
Gambar 3.4. Jadwal Operasi Reaktor .....	27
Gambar 6.1. Diagram Alir Utilitas .....	44
Gambar 7.1. Struktur Organisasi .....	58
Gambar 7.2. Tata Letak Pabrik.....	71
Gambar 7.3. Tata Letak Alat Proses .....	73
Gambar 8.1. Grafik Indeks .....	75
Gambar 8.2. Grafik BEP dan SDP.....	83

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Perbandingan Kandungan Protein Spirulina dengan Bahan Lainnya .....	2
Tabel 1.2. Data Impor Spirulina Platensis Powder .....	3
Tabel 1.3. Data Pabrik Penghasil Spirulina di Indonesia .....	5
Tabel 1.4. Pabrik Mikroalga di Luar Negeri.....	5
Tabel 1.5. Kelebihan dan kekurangan macam - macam sistem kultur.....	8
Tabel 1.6. Perbandingan open pond dan closed photobioreactor .....	9
Tabel 1.7. Perbedaan spirulina sp. berdasarkan media budidaya .....	11
Tabel 1.8. Komposisi media Zarrouk .....	15
Tabel 1.9. Kondisi oprasi budidaya Spirulina Platensis .....	16
Tabel 4.1. Neraca Massa Elektrostatik Presipitator .....	28
Tabel 4.2. Neraca Massa Scrubber .....	28
Tabel 4.3. Neraca Massa Fotobioreaktor .....	29
Tabel 4.4. Neraca Massa Filter .....	29
Tabel 4.5. Neraca Massa Rotary Dryer .....	30
Tabel 4.6. Neraca Massa Hammer.....	30
Tabel 4.7. Neraca Panas Scrubber .....	30
Tabel 4.8. Neraca Panas Filter .....	31
Tabel 4.9. Neraca Panas Dryer .....	31
Tabel 4.10. Neraca Panas Cooler.....	31
Tabel 5.1. Kebutuhan Air Sanitasi.....	40
Tabel 5.2. Kebutuhan AIr Pendingin.....	41
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Steam .....	41
Tabel 5.4. Kebutuhan AIr Proses.....	42
Tabel 5.5. Kebutuhan Air Total.....	42
Tabel 5.6. Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	45
Tabel 5.7. Kebutuhan Listrik Alat Utilitas .....	45
Tabel 7.1. Jadwal Karyawan.....	63
Tabel 7.2. Penggolongan dan Gaji Karyawan .....	65
Tabel 7.3. Area Bangunan Pabrik Spirulina .....	71
Tabel 8.1. Harga Indeks.....	75
Tabel 8.2. Physical Plant Cost (PPC) .....	79
Tabel 8.3. Total (DPC+PPC).....	79
Tabel 8.4. Fixed Capital Investment (FCI).....	79
Tabel 8.5. Direct Manufacturing Cost .....	79

Tabel 8.6. Indirect Manufacturing Cost.....	80
Tabel 8.7. Fixed Manufacturing Cost.....	80
Tabel 8.8. Manufacturing Cost.....	80
Tabel 8.9. Working Capital .....	80
Tabel 8.10. General Expense .....	80
Tabel 8.11. Total Production Cost.....	81
Tabel 8.12. Fixed Cost (Fa).....	81
Tabel 8.13. Variable Cost (Va).....	81
Tabel 8.14. Regulated Cost (Ra).....	81

---

---

## ABSTRAK

Pabrik *Spirulina* dirancang untuk memenuhi kebutuhan *Spirulina* di dalam maupun di luar negeri. Kapasitas yang direncanakan sebesar 90.000 Kg/tahun. Pabrik ini beroperasi secara semi kontinyu selama 330 hari dalam setahun. Pabrik ini direncanakan berdiri di Cilacap, Jawa Tengah diatas tanah seluas 6.956 m<sup>2</sup>. *Spirulina Platensis* adalah sejenis ganggang yang memiliki banyak manfaat Kesehatan, *Spirulina* berkembang biak dengan cara berfotosintesis sehingga membutuhkan CO<sub>2</sub>. *Spirulina* memiliki khasiat sehingga dapat dikembangkan menjadi beberapa produk, seperti suplemen herbal, makanan, kopi, kosmetik, makanan ternak, pupuk, dan *fuel additives*. Proses pembudidayaan *Spirulina* dilakukan dalam Fotobioreaktor. Pada reaktor ini pembudidayaan berlangsung pada suhu 28°C dan tekanan 1 atm. Pabrik ini digolongkan pabrik beresiko rendah (low risk) karena kondisi operasi relatif rendah. Untuk memproduksi *Spirulina* sebesar 90.000 Kg/tahun diperlukan bahan baku *Spirulina Platensis* sebesar 68.182 Kg/siklus dan gas buang sebesar 8.970,60 Kg/siklus. Utilitas pendukung proses meliputi penyediaan air proses sebesar 7.766 Kg/jam, air pendingin sebesar 0.337 kg/jam, Penyediaan saturated steam sebesar 4.90 Kg/jam, penyediaan udara tekan sebesar 10 m<sup>3</sup>/jam, penyediaan listrik sebesar 500 kW diperoleh dari PLN dan 1 buah generator sebesar 500 kW dan bahan bakar sebanyak 62,17 Kg/jam. Pabrik *Spirulina* ini direncanakan beroperasi pada tahun 2028 dengan menggunakan modal tetap sebesar Rp 140.912.034.627 dan modal kerja sebesar Rp 22.537.508.688. Dari analisis ekonomi terhadap pabrik ini menunjukkan keuntungan sebelum pajak Rp 37.589.866.345 /tahun setelah dipotong pajak 30 % keuntungan mencapai Rp 26.312.906.441 /tahun. Percent Return On Investment (ROI) sebelum pajak 26,67 % dan setelah pajak 18,67 %. Pay Out Time (POT) sebelum pajak selama 3 tahun dan setelah pajak 4 tahun. Break Even Point (BEP) sebesar 34,91 %, dan Shut Down Point (SDP) sebesar 11,06 %. Dari data analisa kelayakan di atas disimpulkan, bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak dipertimbangkan untuk pendirian di Indonesia.

Kata – kata kunci : *Spirulina*, Karbondioksida, Fotobioreaktor, budidaya

## ABSTRACT

The *Spirulina* factory is designed to meet *Spirulina* needs at home and abroad. The planned capacity is 90,000 Kg/year. This factory operates semi-continuously for 330 days a year. This factory is planned to stand in Cilacap, Central Java on a land area of 6,956 m<sup>2</sup>. *Spirulina Platensis* is a type of algae that has many health benefits. *Spirulina* reproduces by photosynthesis so it requires CO<sub>2</sub>. *Spirulina* has properties that can be developed into several products, such as herbal supplements, food, coffee, cosmetics, animal feed, fertilizer and fuel additives. The *Spirulina* cultivation process is carried out in a photobioreactor. In this reactor, cultivation takes place at a temperature of 28°C and a pressure of 1 atm. This factory is classified as a low risk factory because operating conditions are relatively low. To produce 90,000 Kg of *Spirulina*/year, 68,182 Kg/cycle of *Spirulina Platensis* as raw material is required and 8,970.60 Kg/cycle of exhaust gas. Process support utilities include the provision of process water of 7,766 Kg/hour, cooling water of 0.337 kg/hour, provision of saturated steam of 4.90 Kg/hour, provision of compressed air of 10 m<sup>3</sup>/hour, electricity supply of 500 kW obtained from PLN and 1 generator of 500 kW and fuel of 62.17 Kg/hour. The *Spirulina* factory is planned to operate in 2028 using fixed capital of IDR 140,912,034,627 and working capital of IDR 22,537,508,688. From the economic analysis of this factory, it shows that the profit before tax is IDR 37,589,866,345 / year after deducting 30% tax, the profit reaches IDR 26,312,906,441 / year. Percent Return On Investment (ROI) before tax 26.67% and after tax 18.67%. Pay Out Time (POT) before tax is 3 years and after tax is 4 years. Break Even Point (BEP) was 34.91%, and Shut Down Point (SDP) was 11.06%. From the feasibility analysis data above, it is concluded that this factory is profitable and worth considering for establishment in Indonesia.

Key words: *Spirulina*, carbon dioxide, photobioreactor, cultivation



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki iklim yang cocok dan memiliki lahan nonproduktif yang luas namun belum dimanfaatkan yang berpotensi untuk menjadi produsen besar mikroalga. Krisis energi dan pangan yang belakangan ini menjadi permasalahan yang melanda sebagian besar wilayah di dunia. Naik nya harga BBM di Indonesia karena sumber minyak bumi yang semakin langka. Banyaknya permasalahan pada balita karena kurangnya sumber pangan yang kaya akan protein

Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara merupakan sumber emisi CO<sub>2</sub> terbesar secara global. Gas buang dapat mencemari lingkungan dan meningkatkan efek gas rumah kaca. Gas buang terdiri dari Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Karbonmonoksida (CO), Uap air (H<sub>2</sub>O), Nitrogendioksida (NO<sub>2</sub>), Hidrogen (H<sub>2</sub>), Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>), dan Partikulat. (Syahrani, 2016).

Pengurangan gas yang dihasilkan oleh industri adalah salah upaya dalam mengurangi pencemaran lingkungan dan peningkatan gas rumah kaca. Gas buang industri sebelum di dimanfaatkan oleh mikroalga dilakukan pemisahan partikel dan juga pemisahan gas Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>). Gas Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) adalah gas beracun yang dapat merusak membrane sel dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme seperti spirulina. Paparan Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) dalam jangka waktu yang lama dapat mengganggu metabolisme seluler, mengganggu fotosintesis, dan memicu stres pada spirulina. Sehingga Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) harus dipisahkan sebelum di alirkan kedalam kultur. Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) dapat dipisahkan dengan cara absorpsi dengan larutan Kalsiumhidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) membentuk *Gypsum* (CaSO<sub>4</sub>).

Gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dimanfaatkan oleh mikrolaga dalam proses fotosintesis untuk memproduksi sel – sel pada tubuhnya. *Spirulina Platensis* cocok dikembangkan sebagai agen absorben karbondioksida (CO<sub>2</sub>) karena memiliki pertumbuhan yang relatif cepat sehingga membutuhkan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang cukup tinggi. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang melimpah pada gas

buang dapat dimanfaatkan oleh mikroalga dalam proses fotosintesis. Salah satu microalga yang dapat di dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu microalga *spirulina sp.*

*Spirulina Platensis* ini sangat prospektif untuk dikembangkan dalam skala pabrik dikarenakan banyaknya permintaan pasar dan juga tumbuhan spirulina ini memiliki khasiat dan dapat di kembangkan menjadi beberapa produk, seperti suplemen herbal, makanan, kopi, kosmetik, makanan ternak, pupuk, dan *fuel additives*. *Spirulina sp.* merupakan salah satu mikroalga yang berpotensi untuk di kembangkan karna banyak terdapat di perairan Indonesia (Nanik, R.B., & Raden Q,N (2018)). Kandungan yang terdapat dalam *spirulina sp.* protein 60-70%, karbohidrat 16%, lemak 8%, dan vitamin serta *phycocyanin* 18%, *chlorophyll-a* 1,6%,  $\beta$ -*carotene*, 17%,  $\gamma$ - *linoleaic acid* dari total asam lemak 20-30%. (Arief & Hakim, 2013)

**Tabel 1.1.** Perbandingan Kandungan Protein *Spirulina* dengan Bahan Lainnya

Jenis Makanan	Kandungan Protein (%)
<i>Spirulina</i>	60-70
Daging dan ikan	15 – 25
Ayam	24
Kacang Kedelai	35
Susu Bubuk	35
Kacang – Kacangan	25
Telur	12
Biji – bijian	14 – 18
Susu	3

(Kabinawa, 2006 dalam Lebeharia, 2016)

Budidaya mikroalga bertujuan untuk memperbanyak atau meningkatkan jumlah sel sehingga diperoleh biomassa mikroalga yang diharapkan. pada dasarnya ada dua jenis fotobioreaktor, yaitu fotobioreaktor terbuka dan fotobioreaktor tertutup. Pada sistem tertutup mempunyai kondisi yang lebih terkontrol di bandingkan sistem terbuka. *closed pond photobioreaktor* (PBR) memiliki kelebihan dimana lebih tahan terhadap kontaminan bakteri maupun alga lainnya, sehingga alga didalamnya dapat terjaga, dan dapat meningkatkan produksi biomassa. Sistem ini lebih *fleksibel*, karena reaktor dapat dirancang sesuai dengan karakterisasi mikroalga.

Parameter seperti temperatur, pH, nutrien, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat dikontrol dengan mudah (Hadiyanto & Azim, 2012).

## 1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas perancangan pabrik ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan. Pertimbangan – pertimbangan tersebut diantaranya yaitu kebutuhan produk, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas pabrik yang telah beroperasi.

### 1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku gas buang di peroleh dari hasil pembakaran batu bara Pembangkit Listrik Tenaga Uap Cilacap.

Bahan baku pembuatan spirulina atau bibit spirulina air tawar dapat diperoleh dari PT Algaepark Mandiri Indonesia di klaten Jawa Tengah dengan kapasitas produksi 24.000 Kg / Tahun. Kemudian bibit spirulina di kembangbiakan pada skala yang lebih besar.

### 1.2.2 Kebutuhan Produk

Seiring dengan pertumbuhan industri mikrolaga yang terus meningkat, maka kebutuhan mikroalga semakin meningkat. Namun pabrik yang telah beroperasi di Indonesia masih sedikit. Sehingga kebutuhan mikroalga di Indonesia dan dunia masih belum tercukupi.

#### a. Import

Kebutuhan impor Bubuk *Spirulina Platensis* di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, menurut statistik yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Pertumbuhan data impor *Spirulina Platensis* Powder di Indonesia dari tahun 2017 hingga tahun 2021 dapat dilihat pada **Tabel 1.2**.

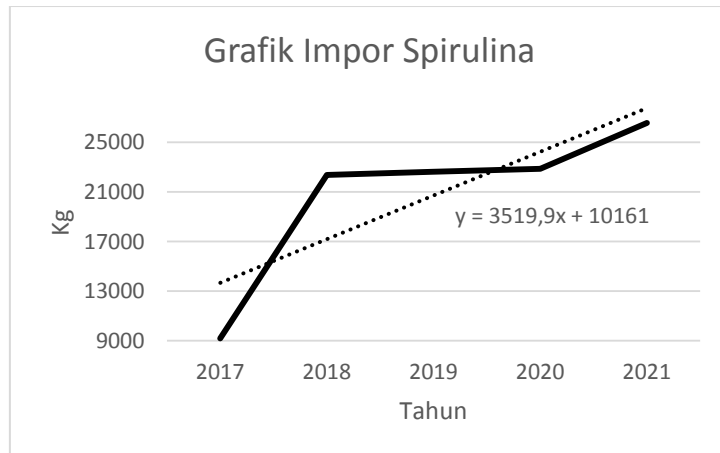
**Tabel 1.2.** Data Impor *Spirulina Platensis* Powder

Tahun	Impor
2017	9200.6
2018	22361
2019	22630
2020	22859
2021	26551

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2022)

Grafik proyeksi linier berdasarkan data impor *Spirulina Platensis* Powder di atas dapat digambarkan antara data

tahun pada sumbu x dan data impor pada sumbu y. Hasilnya adalah grafik proyeksi linier seperti terlihat pada gambar:



**Gambar 1.1.** *Kebutuhan Impor Spirulina Platensis Powder di Indonesia*

Rumus  $y = 3519.9x + 10161$  dapat digunakan untuk memperkirakan antisipasi impor Bubuk *Spirulina Platensis* Indonesia pada tahun setelah pabrik tersebut dibangun. Dalam rumus ini, x mewakili tahun dan y mewakili perkiraan impor Bubuk *Spirulina Platensis*.

Dengan menggunakan persamaan di atas, diperkirakan Indonesia akan membutuhkan ton *Spirulina Platensis* impor Bubuk setiap tahunnya pada tahun 2028. Berdasarkan perhitungan berikut:

$$y = 3519.9x + 10161$$

$$y = 3519.9(2028) + 10161$$

$$y = 76.620 \text{ Kg /tahun}$$

b. Kapasitas Komersial

Kita harus mempunyai pemahaman yang jelas mengenai kapasitas pabrik yang sedang beroperasi untuk pembuatan *Spirulina Platensis* baik dalam negeri maupun internasional agar dapat menentukan besar kecilnya kapasitas pabrik yang akan dirancang. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1.3**, fasilitas manufaktur *Spirulina Platensis* saat ini beroperasi di Indonesia

**Tabel 1.3.** Data Pabrik Penghasil *Spirulina* di Indonesia

Produsen	Jenis mikroalga	Kapasitas ( Kg / Tahun)
PT. Alga Bioteknologi Indonesia	<i>Spirulina Platensis</i>	6000
PT Algae Park	<i>Spirulina Platensis</i>	24.000
PT Neoalga Indonesia Makmur	<i>Spirulina Platensis</i>	9.600

Sedangkan Pabrik Microalga yang telah berdiri di luar negeri dapat di lihat pada **Tabel 1.4.**

**Tabel 1.4.** Pabrik Mikroalga di Luar Negeri

Produsen	Kapasitas ( Kg / Tahun)
Allmicroalgae di Portugal	120000
CHITOSE di Jepang	350000
Neste Oil di Eropa	170000

Angka-angka tersebut menunjukkan bahwa pabrik mikroalga di Indonesia memiliki kapasitas yang terbatas. Dengan demikian, pabrik spirulina berkapasitas 90.000 Kg/Tahun yang dibangun pada tahun 2028 diharapkan mampu memenuhi permintaan dalam dan luar negeri.

### 1.3 Lokasi

Keberlanjutan pabrik akan bergantung pada lokasi pabrik, yang merupakan keputusan krusial. Saat memilih lokasi pabrik, banyak faktor teknis dan keuangan yang dipertimbangkan. Sumber bahan mentah, pilihan transportasi, iklim, utilitas, dan lokasi kampanye pemasaran adalah beberapa faktor berikut. Pabrik spirulina akan dibangun di Cilacap, Jawa Tengah. mempertimbangkan faktor-faktor tersebut di atas:

#### 1.3.1 Sumber Bahan Baku

Lokasi pabrik spirulina di Cilacap dimaksudkan dekat dengan PLTU Cilacap, sumber bahan bakunya (gas buang).

#### 1.3.2 Fasilitas Transportasi

Agar pengangkutan bahan baku dan barang jadi tidak rumit, lokasi pabrik harus dekat dengan pusat transportasi. Jalan dan pelabuhan merupakan infrastruktur transportasi yang diperlukan untuk distribusi barang.

#### 1.3.3 Iklim

Pabrik yang diusulkan harus memiliki iklim yang memenuhi persyaratan mikroalga. Mikroalga membutuhkan

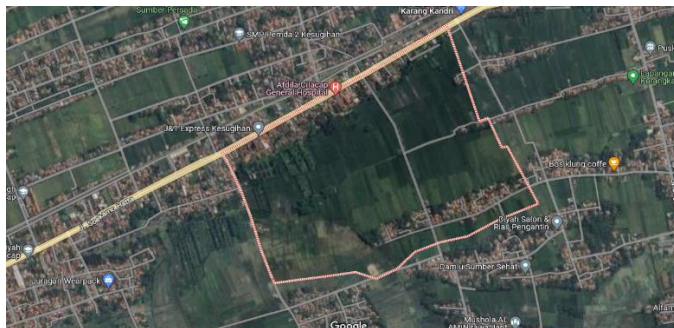
cahaya untuk berfotosintesis, sehingga tanaman harus memiliki intensitas cahaya yang cukup.

### 1.3.4 Utilitas

Untuk memastikan pabrik berjalan efisien, pabrik harus berlokasi dekat dengan fasilitas yang menyediakan dukungan operasional. Air dan listrik merupakan salah satu sumber daya pendukung tersebut.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka dari segi ekonomi dan teknis pembangunan pabrik di wilayah Cilacap Jawa Tengah diyakini strategis karena beberapa alasan sebagai berikut:

- a. PT Algaepark Indonesia Mandiri dekat dengan sumber bahan baku. Selain itu, dekat dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Cilacap.
- b. Aksesibilitas infrastruktur transportasi seperti jalan dan pelabuhan yang dapat mempermudah proses penyampaian barang sampai ke konsumen dan digunakan untuk distribusi ke luar pulau Jawa maupun ekspor.
- c. Aksesibilitas tenaga kerja. Karena banyaknya masyarakat yang tinggal di Jawa Tengah, mencari pekerja sangatlah mudah.
- d. Sumber daya pendukung yang dapat diakses. Sumber air tanah dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air, dan PLN dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Aspek ini sangat penting untuk operasional pabrik.



**Gambar 1.2.** Lokasi pendirian pabrik

### 1.3.5 Lokasi Pemasaran

*Spirulina Platensis* memiliki banyak manfaat seperti antioksidan, antidiabetes, meningkatkan kekebalan tubuh, antihipertensi, dan juga antiageing. *Spirulina* dapat digunakan dalam industri obat-obatan, kosmetik, bioenergi, pakan ternak, pengolahan limbah, juga biasa dikonsumsi oleh astronot karena kaya akan nutrisi, vitamin dan mineral. Sehingga *spirulina* baik di pasarkan di Indonesia juga luar Indonesia seperti China, Jepang, Amerika, dan Eropa.

## 1.4 Proses Yang Dipilih

### 1.4.1 Pengolahan Gas Buang Hasil Pembakaran Batu Bara

Gas buang pabrik hasil pembakaran batu bara mengandung gas – gas seperti Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Karbonmonoksida (CO), Uap air (H<sub>2</sub>O), Nitrogenoksida (NO), Hidrokarbon (HC), Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>), Timbal (Pb), dan Partikulat. Sebelum gas buang di dimanfaatkan oleh mikroalga, gas buang di lakukan pemisahan diantaranya: pemisahan partikulat dan pemisahan Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>).



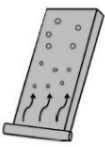
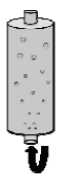
Pemisahan partikulat menggunakan *electrostatic precipitator* (EP) metode ini adalah salah satu metode yang memiliki efisiensi hingga 95% dalam menyerap partikel padatan dalam gas buang. Proses pemisahan Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) dari gas buang yang biasa digunakan yaitu absorpsi menggunakan larutan Kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>). Endapan yang terbentuk adalah kalsium sulfat atau gypsum sebagai produk samping. Gas yang sudah terbebas dari senyawa sulfur yang masih mengandung CO<sub>2</sub> di dimanfaatkan oleh mikroalga dalam proses fotosintesis.

### 1.4.2 Fotobioreaktor

Di skala komersial, kontaminan dan faktor lingkungan mempengaruhi seberapa baik mikroalga tumbuh. Kolam terbuka (juga dikenal sebagai sistem tangki terbuka) dan kolam tertutup (juga dikenal sebagai sistem tangki tertutup) adalah dua teknik budidaya komersial yang umum. Pro dan kontra dari masing-masing keduanya ada.

Hasil biomassa yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh jenis fotobioreaktor yang dipilih, oleh karena itu hal ini sangat penting. Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1.3** *tubular* fotobioreaktor memiliki banyak keunggulan dibanding dengan sistem kultur yang lainnya. Bioreaktor kolam terbuka yang digunakan oleh beberapa industri mikroalga bermasalah karena volume sistem budidaya yang besar, sehingga mikroalga di dasar kolam tidak dapat sepenuhnya menyerap sinar matahari yang diperlukan untuk fotosintesis. Dengan menggunakan *tubular* photobioreaktor memiliki luas permukaan cahaya yang besar dibandingkan dengan *open pond*. Sehingga pemilihan reaktor *tubular* fotobioreaktor adalah pilihan yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut.

**Tabel 1.5.** Kelebihan dan kekurangan macam - macam sistem kultur

Sistem Kultur	Kelebihan	Kekurangan
Open pond 	Relatif murah Gampang dibersihkan Gampang perawatan Input tenaga rendah Bisa digunakan pada zona non-agrikultur	Kontrol kultur sedikit Mixing rendah Waktu kultivasi yang lama Produktivitas rendah Gampang terkontaminasi
Tubular photobioreaktor 	Permukaan pencahayaan luas Sesuai buat sistem luar ruangan Produktivitas biomas tinggi	Membutuhkan zona yang luas Bisa mengganti pH, DO, serta CO <sub>2</sub> Penumpukan oksigen
Flat photobioreaktor 	Relatif murah Gampang dibersihkan Sesuai buat kultur luar ruangan Mengonsumsi energy rendah Kurangi penumpukan oksigen Biomass besar Penumpukan oksigen rendah	Area permukaan pencahayaan rendah Efisiensi fotosintesis rendah Hambatan kontrol temperatur Hambatan scale up
Kolom photobioreaktor 	Mengonsumsi energy rendah Transfer masa besar Pengadukan bagus Efisiensi fotosintesis tinggi	Area permukaan pencahayaan rendah Kontruksi material gampang rusak Menyebabkan kematian pada sebagian tipe alga Bayaran kontruksi serta pembedahan mahal Hambatan scale up

(Brennan dan Owende, 2009) dalam (Hadiyanto & Azim, 2012)



**Tabel 1.6.** Perbandingan open pond dan closed photobioreactor

Parameter	<i>Open pond</i>	<i>Closed photobioreactor</i>
Konstruksi	Sederhana	Kompleks sesuai desain
Biaya	murah	Mahal
<i>Growth rate</i> (g/m <sup>2</sup> .day)	Rendah (10-25)	Sesuai desain (1 – 500)
Konsentrasi biomassa (g/L)	Rendah (0.1 – 0.2)	Tinggi (2 – 8)
Proses kehilangan air	Tinggi	Rendah
Kontrol temperatur	Sulit	Mudah
Kontrol spesies mikroalga	Sulit	Mudah
Kontaminasi	Resiko tinggi	Resiko rendah
Penggunaan cahaya lampu	Sangat rendah	Sangat tinggi
Kehilangan CO <sub>2</sub> ke atmosfer	Tinggi	Hampir tidak ada
Kebutuhan tempat	luas	kecil
<i>Start – up</i>	6- 8 minggu	2 – 4 minggu
<i>Cleaning</i>	Mudah	Sulit

(Hadiyanto & Azim, 2012)

Sistem kultur *open pond* memiliki kesulitan pada *scale up* dikarenakan membutuhkan area yang luas. Sehingga sulit untuk diterapkan di kawasan perkotaan. Pemilihan Fotobioreaktor sistem tertutup dapat mengatasi hal tersebut, Fotobioreaktor sistem tertutup dapat di terapkan pada area industri dan pertanian dikarenakan reaktor jenis ini dapat di modifikasi sesuai dengan kebutuhan dan tidak memerlukan area lahan yang luas. Teknologi kultivasi mikroalga mempengaruhi penyerapan CO<sub>2</sub> yang akan mempengaruhi produktivitas mikroalga yang dihasilkan. Dengan menggunakan fotobioreaktor penyerapan emisi CO<sub>2</sub> lebih efektif dibandingkan dengan *open pond* sehingga hasil biomassa semakin banyak .

## 1.5 Tinjauan Pustaka

### 1.5.1 Mikroalga

Mikroalga merupakan tumbuhan yang memiliki ukuran 3 – 30 µm yang termasuk kedalam kelas alga, mempunyai sel tunggal atau koloni yang dapat bertahan hidup di semua lingkungan air tawar dan laut; organisme ini biasa disebut sebagai fitoplankton. Eukariota yang dikenal sebagai mikroalga biasanya bersifat fotosintetik dan memiliki pigmen (phycobilin) yang berwarna biru kehijauan, merah (fikoeritrin), hijau (klorofil), coklat (fikosantin).

Mikroalga dapat digunakan sebagai biofilter dalam meminimalkan dampak pencemaran lingkungan, pada

umumnya mikroalga hampir dapat tumbuh dimana saja, membutuhkan sinar matahari dan beberapa unsur hara sederhana, laju pertumbuhannya dapat di percepat dengan penambahan unsur hara tertentu dan aerasi yang cukup.

Pemilihan *Spirulina Platensis* dalam proses penyerapan CO<sub>2</sub> dikarenakan *Spirulina Platensis* dapat menyerap CO<sub>2</sub> dengan baik dan mikroalga ini mudah ditemukan dan dikembangkan. Setiap jenis mikroalga mempunyai ketahanan dalam menghadapi stress, dimana ketahanan paling rendah dimiliki mikroalga pigmen hijau dan paling tinggi oleh mikroalga pigmen merah (Kanhaiya kumar *et al*, 2011 dalam (Abdussalam *et al.*, 2017)

### 1.5.2 *Spirulina Platensis*

Salah satu mikroalga autotrofik dari kelompok cyanophyta atau yang lebih dikenal dengan sebutan alga hijau kebiruan adalah *Spirulina Platensis*. Dengan dinding sel yang tipis, *Spirulina Platensis* berbentuk spiral (heliks). Cyanobacterium yang dikenal sebagai *Spirulina Platensis* adalah organisme yang beradaptasi secara luas dan dapat bertahan di lingkungan yang keras dan salinitas tinggi, sehingga mudah untuk tumbuh.

#### 1.5.2.1 Morfologi dan Klasifikasi *Spirulina Platensis*

Secara taksonomi klasifikasi *Spirulina Platensis* sebagai berikut:

Spesies	: <i>Spirulina Platensis</i>
Genus	: <i>Spirulina</i>
Divisi	: <i>cyanophyta</i>
Kelas	: <i>Cyanophyceae</i>
Ordo	: <i>Nostocales</i>
Famili	: <i>Oscillatoriaceae</i>
Ordo	: <i>Oscillatoriales</i>
Sub Ordo	: <i>Oscillatoriaceae</i>



**Gambar 1.3.** *Spirulina Platensis*

**Sumber:** Allmicroalgae

Serangkaian sel silindris dengan dinding sel tipis membentuk bentuk tubuh *Spirulina Platensis* yang seperti benang. Diameter *Spirulina Platensis* 1-2 m berdiri sendiri dan mampu bergerak juga (Astiani *et al.*, 2016)

Baik air tawar maupun air asin merupakan habitat yang cocok untuk *Spirulina Platensis*. *Spirulina Platensis* segar secara alami amis dan memiliki aroma rumput laut yang segar. Aroma amis tersebut di karenakan adanya kandungan garam mineral (Ekantari *et al.*, 2017). Garam mineral pada *spirulina sp.* air laut lebih tinggi dibandingkan *spirulina sp.* air tawar. Kandungan tersebut di antaranya NaCl, MgCl, KCl. *Spirulina sp.* air tawar memiliki tingkat pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan *spirulina sp.* air laut. Kandungan garam mineral *spirulina sp.* yang rendah pada media air tawar sehingga aman di konsumsi oleh manusia. (Christwardana & Nur, 2013).

**Tabel 1.7.** Perbedaan *spirulina sp.* berdasarkan media budidaya

karakteristik	Media air tawar	Media air laut
Warna	Cenderung kekuningan	Cenderung warna hijau
Aroma/ Bau	Bau khas <i>spirulina</i> , aroma amis sangat lemah	Bau khas <i>spirulina</i> , bau amis lemah

(Ekantari *et al.*, 2017)

Perbedaan aroma dan warna pada *Spirulina Platensis* dapat disebabkan oleh media budidaya yang digunakan. Warna

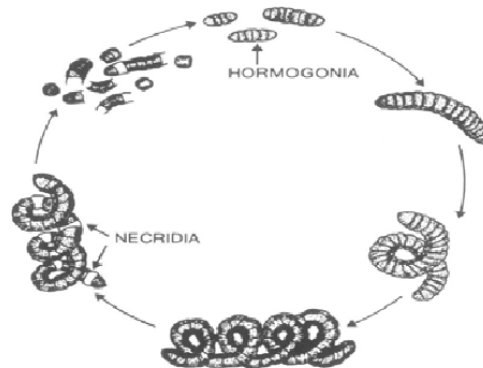
pada *Spirulina Platensis* media air laut dan air tawar hapir tidak ada perbedaan yaitu hijau tua. Warna hijau kebiruan *Spirulina Platensis* di pengaruhi oleh kandungan fikosianin serta klorofil, sedangkan warna kuning di pengaruhi oleh betakaroten. Kandungan tersebut dapat bervariasi di pengaruhi oleh media budidayanya (Ekantari *et al.*, 2017).

#### 1.5.2.2 Habitat *Spirulina Platensis*

Biasanya *Spirulina Platensis* dapat ditemukan di lingkungan lembab atau tempat yang sering bersentuhan dengan air. Dengan sinar matahari yang cukup, *Spirulina Platensis* dapat tumbuh subur dimana saja.

#### 1.5.2.3 Siklus Pertumbuhan *Spirulina Platensis*

*Spirulina Platensis* memiliki tiga tahap dalam reproduksinya yaitu proses fragmentasi trikoma, pembesaran dan pematangan sel hormogonia, serta pemanjangan trikoma. Reproduksi *Spirulina Platensis* dengan cara aseksual (pembelahan diri) khususnya dengan mengiris filamen menjadi beberapa bagian untuk membuat filamen baru.



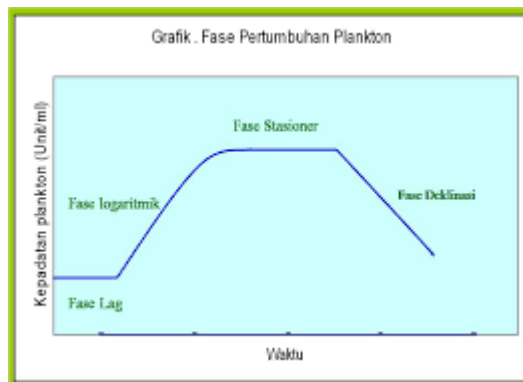
**Gambar 1.4.** Siklus hidup *spirulina*

*Spirulina Platensis* berkembang biak dengan menciptakan hormogonia, yang dimulai ketika satu atau lebih sel di tengah trikoma mati dan membentuk struktur yang dikenal sebagai cakram pemisah bikonkaf. disebut hormogonia akan terpecah membentuk trikoma segar. Hormogonia melakukan

pembelahan sel terminal untuk memperbanyak sel. pendewasaan sel di tandai terbentuknya granula pada sitoplasma dan perubahan warna sel menjadi hijau kebiruan.

Ada empat fase dalam pertumbuhan mikroalga yaitu :

1. Fase lag  
Fase lag juga dikenal sebagai fase adaptasi, dimana sel beradaptasi dengan lingkungan baru. Tidak ada pertumbuhan jumlah sel selama fase ini.
  2. Fase eksponensial  
Mikroalga membelah dengan cepat dan terus menerus selama fase eksponensial, meningkatkan jumlah sel sepanjang kurva logaritmik.
  3. Fase stasioner  
Ketika pertumbuhan mencapai puncaknya dan mulai melambat, maka dikatakan berada pada fase stasioner. Laju pembelahan atau reproduksi sel sama dengan laju kematian selama fase ini.
  4. Fase deklinasi  
Penurunan kepadatan sel mikroalga dikenal dengan fase deklinasi atau kematian. Ketika angka kematian melebihi angka pertumbuhan, pertumbuhan pada akhirnya melambat.
- (Pramedistian, 2019)



**Gambar 1.5.** Fase pertumbuhan  
 (sumber : Pramedistian, 2019)

#### 1.5.2.4 Faktor – Faktor yang mempengaruhi Pertumbuhan *Spirulina Platensis*

Pertumbuhan *Spirulina Platensis* dipengaruhi oleh beberapa variabel, antara lain:

##### 1. Suhu

Proses metabolisme sangat bergantung pada suhu. Lingkungan media pertumbuhan akan berubah tergantung pada suhu. Variasi suhu berdampak pada proses fisik, biologis, dan kimia. Selain berpotensi meningkatkan laju metabolisme, kenaikan suhu berdampak pada kelarutan bahan. Suhu optimal pada kultur mikroalga umumnya 20°C- 30°C.(Hariyati, 2012)

##### 2. Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga, cahaya dimanfaatkan oleh mikroalga sebagai sumber energi untuk melakukan fotosintesis. 2000 lux hingga 3000 lux adalah rentang intensitas cahaya yang ideal untuk spirulina(Hariyati, 2012).

##### 3. Salinitas

Salinitas berpengaruh terhadap organisme dalam mempertahankan tekanan osmotik. Salinitas optimum bagi pertumbuhan *Spirulina Platensis* yaitu 15-20‰.(Hariyati, 2012)

##### 4. Drajat Keasaman (pH)

pH merupakan faktor yang penting dalam pertumbuhan mikroalga hijau biru. Mikroalga hijau biru dapat tumbuh baik pada pH netral dan basa. *Spirulina* menggunakan ion bikarbonat sebagai sumber karbon untuk berfotosintesis. pH optimum untuk pertumbuhan *spirulina* adalah 7-10,5, jika kurang dari angka tersebut *spirulina* akan menghambat pertumbuhan apabila pH tidak sesuai dapat akan mengakibatkan lisis dan mengubah bentuk pigmen. (Hariyati, 2012).

## 5. Nutrisi

Kebutuhan nutrisi pada *Spirulina Platensis* bergantung pada ketersediaannya didalam media kultur, komposisi yang lengkap dan konsentrasi yang tepat menentukan produksi biomasa dan kandungan *Spirulina Platensis*. (Arief & Hakim, 2013)

*Spirulina Platensis* membutuhkan nutrisi untuk bertahan hidup dan fotosintesis. Kebutuhan nutrisi pada spirulina meliputi: kebutuhan makronutrien (N, P, C, S, Ca, Mg, Na, K), dan mikronutrien (Fe, Co, Ni, W, Cu, Zn). ( Sanchez *et al.* 2008; dalam Suminto, 2009).

### 1.5.2.5 Nutrisi *Spirulina Platensis*

Menjaga kuantitas, kualitas, dan stabilitas produksi sel sangat bergantung pada nutrisi. Untuk pertumbuhan spirulina yang optimal, komposisi nutrisi media budidaya alga *Spirulina Platensis* harus dipilih.

**Tabel 1.8.** Komposisi media Zarrouk

komposisi	Standar media Zarrouk (g/ml)
NaCl	1.0
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0.004
NaNO <sub>3</sub>	2.5
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.01
EDTA(Na)	0.08
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.2
NaHCO <sub>3</sub>	16.8
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5
<b>Mikronutrien A<sub>5</sub></b>	<b>(Mg/ml)</b>
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.222
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.079
MoO <sub>3</sub>	0.015
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.88
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1.81

(Ranjith *et al.*, 2013)

Beberapa fungsi larutan yang digunakan pada media kultur microalga (Pratiwi, 2004 dalam Lebeharia, 2016):

- NaHCO<sub>3</sub> : Mempercepat proses fotosintesis
- K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> : buffer untuk menstabilkan pH

- c. NaNO<sub>3</sub> : proses fotosintesis
- d. Sintesis klorofil dan proses enzimatik pada mikroalga: MgSO<sub>4</sub>.
- e. Banyak enzim yang dihidupkan oleh katalis K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> berperan dalam fotosintesis dan respirasi metabolisme.
- f. Dalam fotosintesis, NaCl mendorong pemecahan oksidasi H<sub>2</sub>O dan mengatur tekanan osmotik sel.
- g. CaCl<sub>2</sub>: meningkatkan tekanan osmotik di dalam sel dan menghentikan kehilangan air yang tidak seimbang.
- h. Meskipun bukan merupakan komponen molekul klorofil, FeSO<sub>4</sub> sangat penting dalam produksi klorofil.
- i. Untuk menstabilkan Fe dalam klorofil, gunakan EDTA sebagai larutan buffer.

### 1.5.3 Proses Pembuatan Yang Dipilih Dalam Budidaya *Spirulina*

#### a. Karbon dioksida pada proses budidaya *spirulina*

Konsentrasi CO<sub>2</sub>: yang berlebihan dapat membahayakan mikroalga, yang merupakan alasan lain mengapa hal ini berdampak buruk bagi fotosintesis.

Untuk reaksi fotosintesis, 1000–1200 μmol/mol CO<sub>2</sub> adalah tingkat konsentrasi ideal.

Dua puluh persen v/v CO<sub>2</sub> ideal untuk mikroalga.

#### b. Budidaya *Spirulina Platensis*

**Tabel 1.9.** Kondisi oprasi budidaya *Spirulina Platensis*

Keterangan	Kondisi oprasi
Suhu	20-30 °C
Intensitas Cahaya	2000 – 3000 lux
Salinitas	15 – 20 ‰
Drajat Keasaman (pH)	7 – 10,5
Pencahayaan	12 jam
Aerasi	24 jam
Pemanenan	7 - 10 Hari
Oven	60 °C selama 9 – 12 jam



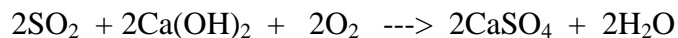
### c. Pemanenan *Spirulina Platensis*

pemanenan spirulina menggunakan metode sentrifugasi dimana spirulina akan terpisah berdasarkan perbedaan massa dan densitasnya. Kemudian spirulina dialirkan ke dalam alat *Rotary Dryer* untuk dikeringkan.

## 1.5.4 Tinjauan Proses Secara Umum

### a. Mekanisme reaksi

Reaksi utama yang terjadi pada scrubber, yaitu:



KOMPONEN	$\Delta H_f^\circ$ . kJ/mol
SO <sub>2</sub>	-296.8
O <sub>2</sub>	0
Ca(OH) <sub>2</sub>	-990.36
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-2005.52

Hougen, Tab. XI, hal 168 – 170

$$\begin{aligned} \Delta H_R^{298} &= \Delta H_R^{298,15} \text{ Produk} - \Delta H_R^{298,15} \text{ Reaktan} \\ &= \{ (2 \cdot \Delta H_R^{298,15} \text{ SO}_2) + (6 \cdot \Delta H_R^{298,15} \text{ O}_2) + \\ & \quad (10 \cdot \Delta H_R^{298,15} \text{ Ca}(\text{OH})_2) \} - \{ (1 \cdot \Delta H_R^{298,15} \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \} \\ &= 718.36 \text{ kJ/mol} \times 1.77417556 \text{ mol/siklus} \\ &= 1274.496756 \text{ kJ/siklus} \end{aligned}$$

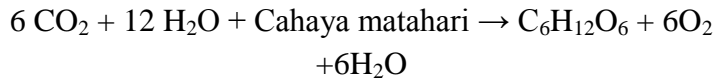
$$\begin{aligned} \int C_p \cdot dT &= \int C_p \cdot dT_{\text{reaktan}} - \int C_p \cdot dT_{\text{Produk}} \\ &= \{ (\int C_p \cdot dT_{\text{SO}_2} + \int C_p \cdot dT_{\text{O}_2} + \int C_p \cdot dT_{\text{Ca}(\text{OH})_2}) \} - \\ & \quad \{ (\int C_p \cdot dT_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}) \} \\ &= 2.02\text{E}+03 - 1339.23 \\ &= 6.82\text{E}+02 \text{ KJ/mol} \times 1.7741756 \text{ mol/ siklus} \\ &= 1209.34 \text{ KJ/siklus} \end{aligned}$$

Panas reaksi

$$\begin{aligned} \Delta H_R &= \Delta H_R^{298} + \int C_p \cdot dT \\ &= 2483.84 \text{ KJ/siklus} \end{aligned}$$

*Spirulina Platensis* sebagai organisme fotosintetik, mengalami proses fotosintesis untuk menghasilkan energi dari cahaya matahari. Proses

fotosintesis dalam spirulina menggunakan molekul klorofil dan melibatkan reaksi kimia yang kompleks. Berikut adalah persamaan umum untuk fotosintesis dalam spirulina:



Dalam persamaan tersebut CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O direduksi menggunakan energi Cahaya matahari untuk membentuk senyawa organik, seperti C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (glukosa), Serta melepaskan O<sub>2</sub> sebagai produk sampingan. H<sub>2</sub>O (air) juga digunakan sebagai donor electron dalam reaksi redoks fotosintesis.

### **b. Tinjauan termodinamika dan Tinjauan kinetika**

Dengan menggunakan persamaan Fogg (1975), yang menurunkan laju pertumbuhan spirulina dari kepadatan spesies, maka laju pertumbuhan harian dihitung. karena tingkat pertumbuhan maksimum terjadi pada fase ini, yaitu fase eksponensial.

$$K = \frac{\ln(Nt - N_0)}{t}$$

Keterangan:

K = laju pertumbuhan harian ( sel/ml/hari)

N<sub>0</sub> = kepadatan sel *spirulina sp.* Awal eksponensial (sel/ml)

N<sub>t</sub> = kepadatan sel *spirulina sp.* Maksimum( sel/ml)

T = selang waktu dari N<sub>0</sub> ke N<sub>t</sub> (hari)