

IR - PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

SKRIPSI

**STUDI LITERATUR: TEKNIK BUDIDAYA *Spirogyra* sp. DAN
POTENSI PEMANFAATAN SEBAGAI BAHAN BIOETANOL**

**LITERATUR STUDY: CULTURE TECHNIQUE OF *Spirogyra* sp. AND
POTENTIAL UTILIZATION AS BIOETHANOL MATERIAL**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI S1 AKUAKULTUR



Oleh:

**DESI WIDURI
SUMBAWA BESAR – NTB**

**FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2022**

Surat Pernyataan Keaslian Karya Tulis Skripsi

Yang Bertanda dibawah Ini

Nama : Desi Widuri
NIM : 141711133019
Tempat, tanggal lahir : Kabuyit, 08 Desember 1998
Alamat : Desa Langam RT 002 RW 011, Kec. Lopok, Kab. Sumbawa Nusa Tenggara Barat

Judul Skripsi : Studi Literatur: Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Moch Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D.
2. Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa hasil tulisan laporan *Review* Artikel yang saya buat adalah murni hasil karya saya sendiri (bukan plagiat) yang berasal dari Dana Penelitian : Mandiri / ~~Proyek Dosen / Hibah / PKM~~ (coret yang tidak perlu). Di dalam *review* artikel ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan atau gagasan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri tanpa memberikan pengakuan pada penulis aslinya, serta kami bersedia:

1. Dipublikasikan dalam Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga;
2. Memberikan ijin untuk mengganti susunan penulis pada hasil tulisan skripsi / karya tulis saya ini sesuai dengan peranan pembimbing skripsi;
3. Diberikan sanksi akademik yang berlaku di Universitas Airlangga, termasuk pencabutan gelar kesarjanaan yang telah saya peroleh (sebagaimana diatur di dalam Pedoman Pendidikan Unair 2010/2011 Bab. XI pasal 38 – 42), apabila di kemudian hari terbukti bahwa saya ternyata melakukan tindakan menyalin atau meniru tulisan orang lain yang seolah-olah hasil pemikiran saya sendiri

Demikian surat pernyataan yang saya buat ini tanpa ada unsur paksaan dari siapapun dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yang membuat pernyataan,

A 1000 Rupiah revenue stamp (Meterai Tempel) with a signature over it. The stamp is pink and white, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPUULUH RIBU RUPIAH', '1000', 'TGL. 20', 'METERAI TEMPEL', and '07C49AJX936278879'.

Desi Widuri
NIM. 141711133019

SKRIPSI

**STUDI LITERATUR: TEKNIK BUDIDAYA *Spirogyra* sp. DAN POTENSI
PEMANFAATAN SEBAGAI BAHAN BIOETANOL**

**LITERATUR STUDY: CULTURE TECHNIQUE OF *Spirogyra* sp. AND
POTENTIAL UTILIZATION AS BIOETHANOL MATERIAL**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Perikanan Program Studi Akuakultur
Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga

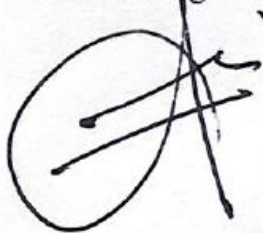
Oleh :

Desi Widuri

NIM. 141711133019

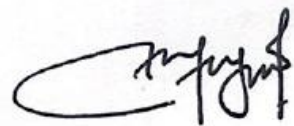
Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama



Prof., Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D.
NIP. 197001161995031002

Pembimbing Serta



Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc.
NIP. 199207232018032001

SKRIPSI

**STUDI LITERATUR: TEKNIK BUDIDAYA *Spirogyra* sp. DAN POTENSI
PEMANFAATAN SEBAGAI BAHAN BIOETANOL**

**LITERATUR STUDY: CULTURE TECHNIQUE OF *Spirogyra* sp. AND
POTENTIAL UTILIZATION AS BIOETHANOL MATERIAL**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Perikanan Program Studi Akuakultur
Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga

Oleh :
DESI WIDURI
NIM. 141711133019

**Setelah mempelajari dan menguji dengan sungguh-sungguh, kami berpendapat bahwa
Skripsi ini, baik ruang lingkup maupun
Kualitasnya dapat diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan**

Telah diujikan pada Tanggal : 23 September 2022

KOMISI PENGUJI SKRIPSI

Ketua	: Boedi Setya Rahardja, Ir., M.P.
Sekretaris	: Eka Saputra, S.Pi., M.Si.
Anggota	: Dr. Woro Hastuti Satyantini, Ir., M.Si
	Prof. Ir. Moch Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D.
	Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc.

Surabaya,

Dekan,
Fakultas Perikanan dan Kelautan
Universitas Airlangga



Prof. Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D.
NIP. 197001161995031002

RINGKASAN

DESI WIDURI, Studi Literatur: Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol, Dosen pembimbing I Prof. Ir. Moch Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. dan Dosen Pembimbing II Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc.

Bahan bakar fosil adalah bahan bakar yang berasal dari pelapukan sisa makhluk hidup yang membentuk minyak bumi, batu bara dan gas alam. Sumber energi fosil adalah sumber energi yang terbatas sehingga memerlukan antisipasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil tersebut. Oleh karena itu, diperlukan upaya mengatasi masalah tersebut dengan mengganti bahan bakar fosil dengan bahan baku yang berbasis non fosil, seperti bioetanol. Tujuan *review* artikel ini yaitu untuk mengetahui teknik budidaya alga *Spirogyra* sp. yang memberikan hasil produksi terbaik dan pemanfaatannya sebagai bahan bioetanol serta mengetahui apakah pengaruh jenis mikroorganisme yang berbeda pada proses fermentasi terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan.

Metode yang dilakukan dalam *Review* Artikel ini adalah dengan mengumpulkan data artikel ilmiah yang didapatkan dan dioah dengan cara merangkum dan mengelompokkan data-data ke dalam tabel yang berisi informasi terkait teknik budidaya *Spirogyra* sp. dan pemanfaatannya sebagai bahan bioetanol. Artikel yang digunakan dalam *review* artikel ini minimal >25 artikel ilmiah. Kata kunci yang digunakan untuk mengakses artikel-artikel yang berkaitan adalah *Spirogyra* sp., teknik budidaya, bioetanol, alga hijau, fermentasi dan hidrolisis.

Hasil yang didapatkan dari *review* artikel ini adalah budidaya alga *Spirogyra* sp. dengan sistem fotobioreaktor memberikan hasil yang terbaik dibandingkan dengan kultur secara heterotropik dan autotropik (kolam terbuka). Alga *Spirogyra* sp. dapat dimanfaatkan sebagai bahan bioetanol. Produksi bioetanol dapat dilakukan melalui proses hidrolisis baik secara asam atau enzimatis dan proses fermentasi dengan bantuan mikroba. Kadar etanol yang dihasilkan dipengaruhi oleh pengaturan kondisi fermentasi seperti substrat, pH, suhu, mikroba dan nutrisi pada media fermentasi serta penggunaan teknik imobilisasi sel. Penggunaan mikroba yang berbeda berpengaruh terhadap kadar etanol. *Z. mobilis* memberikan hasil yang lebih tinggi fermentasi etanol menggunakan *S. cerevisiae*. Namun, pada produksi etanol dari alga *Spirogyra* sp. dengan teknik imobilisasi sel *S. cerevisiae* memberikan hasil terbaik dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

SUMMARY

DESI WIDURI, Literatur Study: Culture Techniques *Spirogyra* sp. and Potential Utilization as Bioethanol Material, Dosen pembimbing I Prof. Ir. Moch Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. dan Dosen Pembimbing II Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc.

Fossil fuels are fuels that come from the weathering of the remains of living things that make up oil, coal and natural gas. Fossil energy sources are limited energy sources so that anticipation is needed to reduce dependence on fossil energy. Therefore, efforts are needed to overcome this problem by replacing fossil fuels with non-fossil-based raw materials, such as bioethanol. The purpose of this article *review* is to determine the cultivation technique of *Spirogyra* sp. which gives the best production results and its utilization as bioethanol material and to determine the effect of different types of microorganisms on the fermentation process on the concentration of bioethanol produced.

The method used in this article *review* is to collect scientific article data obtained and processed by summarizing and grouping the data into tabels containing information related to *Spirogyra* sp. and its use as bioethanol. The articles used in this article *review* are at least >25 scientific articles. The keywords used to access related articles are *Spirogyra* sp., cultivation techniques, bioethanol, green algae, fermentation and hydrolysis.

The results obtained from this article *review* are Algae cultivation *Spirogyra* sp. with a photobioreactor system gave the best results compared to heterotrophic and autotrophic (open pond) cultures. Algae *Spirogyra* sp. can be used as bioethanol. The production of bioethanol can be carried out through a hydrolysis process either by acid or enzymatic and a fermentation process with the help of microbes. The ethanol content produced is influenced by the setting of fermentation conditions such as substrate, pH, temperature, microbes and nutrients in the fermentation media and the use of cell immobilization techniques. The use of different microbes affects the ethanol content. *Z. mobilis* gave higher yield of ethanol fermentation using *S. cerevisiae*. However, in the ethanol production from the algae *Spirogyra* sp. with the technique of immobilization of *S. cerevisiae* cells gave the best results compared to other treatments.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanallahu Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan *Review* Artikel Skripsi yang berjudul “Studi Literatur: Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol”. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan pada Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih belum sempurna, sehingga diharapkan adanya kritik dan saran untuk perbaikan dan kesempurnaan *review* artikel skripsi ini. Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat dalam memberikan informasi pada masyarakat umum terutama mahasiswa di bidang akuakultur dalam memajukan dan mengembangkan ilmu teknologi bidang perikanan.

Surabaya,

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta orang tua dan keluarga saya yang memberikan doa, bantuan dan dukungan, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof., Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya
2. Prof., Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. selaku dosen wali yang memberikan pengarahan akademik dan nonakademik.
3. Prof., Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. dan Dwi Yuli Pujiastuti, S.Pi., M.P. M.Sc selaku dosen pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan Skripsi ini.
4. Boedi Setya Rahardja, Ir., M.P. , Eka Saputra, S.Pi., M.Si. dan Dr. Woro Hastuti Satyantini, Ir., M.Si sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan laporan Skripsi ini
5. Seluruh staf pengajar dan staf kependidikan Fakultas Perikanan dan Kelautan yang telah menyampaikan ilmu dan membantu dalam administrasi demi kelancaran pelaksanaan skripsi.
6. Orangtua tercinta, Bapak Wirentanus dan Ibu Menduryati, serta kedua kakak Intan Wiresari dan Pujiani Ws yang selalu memberikan doa dan dukungan baik secara materiil dan immaterial

7. Reza Istiqomatul, Adina Paranita, dan cendol dawet yang terus mendukung dan memberikan semangat, serta teman-teman Prodi Akuakultur Universitas Airlangga angkatan 2017
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan namun yang pernah mendukung, memberikan semangat, dan terus mendoakan yang terbaik bagi penulis.

DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
DAFTAR ISI	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Spirogyra</i> sp.	5
2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi <i>Spirogyra</i> sp.	5
2.1.2 Habitat dan Perkembangbiakan	6
2.1.3 Kandungan <i>Spirogyra</i> sp.....	6
2.1.4 Budidaya Alga <i>Spirogyra</i> sp.	7
2.2 Bioetanol	8
2.3 Hidrolisis	10
2.4 Fermentasi	12
SKRIPSI STUDI LITERATUR: TEKNIK BUDIDAYA.. ...	DESI WIDURI

2.4.1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
2.4.2	<i>Zymomonas mobilis</i>	15
2.5	Distilasi	16
III KERANGKA KONSEPTUAL.....		18
3.1	Kerangka Konseptual.....	18
IV METODE PENELITIAN.....		22
4.1	Rancangan Kerja.....	22
4.2	Prosedur Kerja	23
4.3	Parameter.....	24
4.4	Analisis Data	25
V HASIL DAN PEMBAHASAN		26
5.1	Hasil.....	26
5.1.1	Teknik Budidaya Alga <i>Spirogyra</i> sp.	26
5.1.2	Hidrolisis Alga <i>Spirogyra</i> sp.....	27
5.1.3	Fermentasi Alga <i>Spirogyra</i> sp.....	27
5.2	Pembahasan.....	28
5.2.1	Teknik Budidaya Alga <i>Spirogyra</i> sp.	29
5.2.2	Hidrolisis Alga <i>Spirogyra</i> sp.....	32
5.2.3	Fermentasi Alga <i>Spirogyra</i> sp.....	33
VI KESIMPULAN		40
6.1	Kesimpulan.....	40
SKRIPSI STUDI LITERATUR: TEKNIK BUDIDAYA.. ... DESI WIDURI		

6.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Spirogyra</i> sp.	5
Gambar 2. <i>Saccharmoyces cerevisiae</i>	14
Gambar 3. <i>Zymomonas mobilis</i>	15
Gambar 4. Kerangka Konseptual.....	21

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil Produksi Alga <i>Spirogyra</i> sp.....	26
Tabel 5.2 Hasil Hidrolisis Alga <i>Spirogyra</i> sp.	27
Tabel 5. 3 Kadar Etanol dari Fermentasi Alga <i>Spirogyra</i> sp.	28

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil adalah bahan bakar yang berasal dari pelapukan sisa makhluk hidup yang membentuk minyak bumi, batu bara dan gas alam. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui sehingga akan mengakibatkan menipisnya cadangan bahan bakar fosil di bumi, ketersediaan bahan bakar fosil diperkirakan akan habis pada tahun 2025 (Ningrum *et al.*, 2016). Sumber energi fosil adalah sumber energi yang terbatas sehingga memerlukan antisipasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil tersebut. Oleh karena itu, diperlukan upaya mengatasi masalah tersebut dengan mengganti bahan bakar fosil dengan bahan baku yang berbasis non fosil, seperti bioetanol.

Bioetanol merupakan bahan yang terbuat dari hasil fermentasi tanaman yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme. Bioetanol dikembangkan sebagai bahan bakar pengganti BBM dengan *fuel grade ethanol* $\geq 99,5$ % untuk mengimbangi kelangkaan sumber minyak bumi. Bioetanol menjadi energi alternatif karena memiliki kandungan oksigen yang tinggi, mudah terurai dan sumber energi diperbaharui. Kandungan oksigen yang tinggi akan meningkatkan efisien pembakaran dan mengurangi terjadinya pencemaran akibat gas buangan seperti emisi hidrokarbon, karbon monoksida, ataupun gas-gas rumah kaca (Karta *et al.*, 2015).

Bioetanol dapat diproduksi dari tanaman berpati seperti singkong, jagung, ubi, tebu, kedelai melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme. Pengembangan bioetanol apabila secara terus menerus berpusat pada bahan pangan tersebut akan mengakibatkan terjadinya persaingan antara penyediaan pangan dan energi. Selain itu, dalam penyediaan bahan baku tersebut memerlukan lahan yang luas. Kondisi ini mendorong pencarian bahan non pangan yang berpotensi sebagai bioetanol, salah satunya adalah alga.

Costa and Michele (2011) menyatakan bahwa alga dapat secara efisien dijadikan sebagai sumber bahan bioetanol menggantikan bahan bakar fosil karena bersifat ramah lingkungan, dapat mengurangi emisi karbondioksida, gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim. Alga digunakan sebagai pengganti bahan baku untuk produksi bioetanol dikarenakan kandungan karbohidrat dari algae cukup tinggi yaitu mencapai 64%. Selain itu, alga memiliki kemampuan tumbuh dengan cepat, adanya pengambilan hasil panen yang berkelanjutan, dapat tumbuh di air tawar maupun air laut, tidak memerlukan lahan yang luas dan dalam budidaya alga tidak memerlukan peralatan pertanian seperti di darat. Salah satu alga yang dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam produksi bioetanol adalah alga hijau *Spirogyra* sp.

Pada penelitian yang dilakukan Jaya *et al* (2018) memperlihatkan bahwa fermentasi dengan 1% *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan kadar etanol optimum yaitu 6,13% (0,0613 mol). Sulfahri *et al.* (2016) melaporkan bahwa *Spirogyra* sp. dapat dikonversi menjadi bioetanol dengan kebutuhan substrat fermentasi yang sedikit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar etanol

tertinggi dicapai pada penambahan fermentasi nutrisi 0.20 g/L dengan kadar etanol mencapai 10,77%. Menurut Singh and Rakesh (2013) penambahan α -amylase pada fermentasi dengan *Zymomonas mobilis* dapat meningkatkan produksi etanol sebesar 9,94%.

Karbohidrat mikroalga digunakan untuk produksi bioetanol. Namun, untuk memaksimalkan produksi bioetanol, perlu untuk menggabungkan kandungan karbohidrat yang tinggi dengan kemampuan mikroalga untuk menghasilkan biomassa dalam jumlah yang optimal. Oleh karena itu, jika mikroalga memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi, kondisi budidaya dapat dikontrol untuk mendapatkan nilai karbohidrat yang lebih tinggi. Faktor utama yang mempengaruhi kandungan karbohidrat mikroalga dan produksi biomassa adalah teknik budidaya (autotropik, heterotropik, dan mixotropik) (Andreeva *et al.*, 2021).

Vogel dan Bergmann (2017) dalam penelitiannya budidaya alga *Spirogyra* sp. dengan fotobioreaktor menunjukkan pertumbuhan yang baik yaitu mencapai 14.28 g/L dari total berat kering. Ini adalah produksi *Spirogyra* sp tertinggi yang ditemukan pada literatur. Salim (2012) melaporkan produksi biomassa *Spirogyra* sebanyak 12.03 g/L sebagai hasil dari budidaya secara heterotropik. Budidaya pada kolam terbuka menghasilkan angka yang lebih rendah yaitu 0.064 g/L (Wijaya, 2014). Berdasarkan latar belakang di atas maka perlu dilakukan *review* mengenai Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana teknik budidaya *Spirogyra* sp. yang memberikan hasil produksi terbaik ?
2. Apakah alga hijau *Spirogyra* sp. dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bioetanol ?
3. Apakah penggunaan jenis mikroorganisme yang berbeda pada proses fermentasi berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui teknik budidaya *Spirogyra* sp. yang memberikan hasil produksi terbaik.
2. Untuk mengetahui apakah alga hijau *Spirogyra* sp. dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bioetanol.
3. Untuk mengetahui apakah penggunaan jenis mikroorganisme yang berbeda pada proses fermentasi berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan.

1.4 Manfaat

1. Memberikan informasi mengenai teknik budidaya *Spirogyra* sp. dengan hasil produksi terbaik.
2. Memberikan informasi tentang Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol.
3. Memberikan informasi mengenai jenis mikroorganisme yang berpotensi mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan.
4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber bahan literatur atau referensi dalam mengembangkan penelitian selanjutnya yang terkait dengan masalah penelitian tersebut.

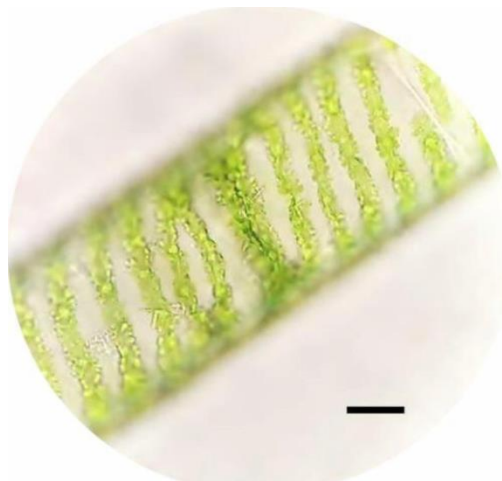
II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Spirogyra* sp.

2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi *Spirogyra* sp.

Klasifikasi *Spirogyra* sp. menurut Kasrina *et al.*, (2012) :

Divisi	: Chhlorophyta
Kelas	: Chlororophyceae
Ordo	: Zygnematales
Family	: Zygnematacaea
Genus	: <i>Spirogyra</i>
Species	: <i>Spirogyra</i> sp.



Gambar 1. *Spirogyra* sp. (Ramaraj *et al.*, 2016)

Spirogyra termasuk genus dari alga hijau dari ordo *Zygnematales*. *Spirogyra* berbentuk seperti pita yang disusun secara spiral. Alga ini ditandai dengan filament yang terdiri dari sel-sel berkloroplas, silinder dan memanjang. Kloroplas berbentuk pita yang membentuk spiral dan mengandung banyak pirenoid. Pada setiap sel terdapat lebih dari satu kloroplas. Setiap sel terdiri dari dinding sel yang membungkus protoplas. Dinding sel terdiri dari dua lapisan.

Bagian dalam adalah selulosa sedangkan bagian luar adalah lapisan pektosa yang dilapisi dengan selubung lendir (Eshaq *et al.*, 2010). Sel spiral yang terdapat pada *Spirogyra sp* berfungsi sebagai sel vegetatif. Bentuk sel vegetatif antar genus *Spirogyra* bervariasi berdasarkan bentuk dinding sel dan jumlah kloroplast d (Takano *et al.*, 2019). Alga ini memiliki panjang tubuh hingga 30,48 cm.

2.1.2 Habitat dan Perkembangbiakan

Spirogyra adalah produsen utama yang penting dalam lingkungan perairan. *Spirogyra* berperan sebagai produsen utama dalam banyak jaring makanan akuatik yaitu sebagai penyedia bahan organik dan oksigen bagi hewan-hewan air seperti serangga, siput, ikan dan udang (Stancheva *et al* , 2013). Hidup mengapung atau melayang bebas sebagai plankton di perairan. Habitatnya berada di air tawar dan payau.

Spirogyra tersebar secara luas di habitat air tawar. Perkembangbiakan dilakukan dengan dua cara yaitu aseksual dan seksual. Secara aseksual dengan fragmentasi (pemutusan talus) dan seksual melalui konjugasi (Apriadi *et al.*, 2014).

2.1.3 Kandungan *Spirogyra sp*.

Spirogyra sp berwarna hijau pekat, dengan aroma khas ganggang dan rasa yang asin. Warna hijau disebabkan oleh klorofil-a dan klorofil-b yang terkandung dalam alga ini. Kandungan klorofil-a dan b dalam alga berperan dalam proses

fotosintesis, biosintesis karbohidrat dan p roses *metabolismee* energi. (Van de Poel *et al.*, 2016).

Spirogyra sp. juga memiliki pigmen klorofil a dan klorofil b lebih dominan dibandingkan karotin dan xantofil. *Spirogyra* mengandung karbohidrat yang lebih tinggi daripada jenis alga yang lain. Alga ini mengandung 6-20% protein, 33-64% karbohidrat dan 11-21 % lemak (Becker, 2006).

2.1.4 Budidaya Alga *Spirogyra* sp.

Pada prinsipnya pertumbuhan alga membutuhkan CO₂ sebagai sumber utama karbon, nutrisi dan pencahayaan. Mikroalga dapat tumbuh optimal pada suhu 15-30°C. Media tumbuh yang digunakan juga harus mengandung nutrisi yang berfungsi dalam pembentukan sel alga. Secara umum, mikroalga dapat tumbuh pada beberapa kondisi yaitu autotropik, heterotroppik dan mixotropik. Pada kondisi pertumbuhan secara autotropik, mikroalga sangat bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Kultur mikroalga pada kondisi autotropik adalah sistem budidaya yang dilakukan di kolam buatan atau tangki terbuka berukuran besar. Dalam sistem ini kebutuhan CO₂ terpenuhi karena diperoleh langsung dari udara terbuka. Pada kondisi ini juga dilengkapi dengan paddle-wheel yang digunakan untuk sirkulasi dan pencampuran mikroalga dan nutrisi. Budidaya mikroalga dalam kondisi ini merupakan metode budidaya yang murah dan mudah perawatannya. Namun membutuhkan lahan yang luas dan potensi kontaminasi oleh bakteri atau mikroalga jenis lain lebih besar (Gultom, 2018).

Kondisi heterotropik, pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Salah satu substrat karbon organik yang umum digunakan adalah glukosa. Pada kondisi ini juga produksi biomassa mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi autotropik. Budidaya mikroalga dalam kondisi ini dilakukan dalam reaktor tertutup yang biasanya terbuat dari kaca/plastik bening. Sistem ini merupakan sistem yang dirancang untuk meminimalkan terjadinya kontaminasi. (Brenan dan Owens, 2010). Sistem ini menghasilkan lebih banyak biomassa dan mudah untuk mengontrol pertumbuhan mikroalga yang diinginkan. Namun, membutuhkan biaya perawatan yang tinggi. Kondisi mixotropik, merupakan kombinasi dari kondisi autotropik dan heterotropik. Pada kondisi mixotropik, alga menggunakan cahaya dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun bergantian (Gultom, 2018).

2.2 Bioetanol

Etanol merupakan zat cair, tidak berwarna, berbau spesifik, mudah terbakar dan menguap, dapat bercampur dalam air dengan segala perbandingan. Etanol merupakan senyawa organik yang terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen, sehingga dapat dilihat sebagai turunan senyawa hidrokarbon yang mempunyai gugus hidroksil dengan rumus C_2H_5OH (Endah *et al.*, 2007). Etanol dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain: 1) Bahan baku industri atau senyawa kimia, contoh: industri minuman beralkohol, industri asam asetat dan asetaldehid. 2) Pelarut dalam industri, contoh: industri farmasi, kosmetika dan

plastik. 3) Bahan desinfektan, contoh: peralatan kedokteran, rumah tangga dan peralatan di rumah sakit. 4) Bahan baku motor (Hanum *et al.*, 2013).

Etanol dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama yaitu 1) Etanol 95-96% v/v, disebut “etanol hidrat” yang dibagi dalam : *Technical/raw spit grade*, digunakan untuk bahan bakar spirtus, minuman, desinfektan dan pelarut; *Industrial grade*, digunakan untuk bahan baku industri pelarut; *Potabel grade*, untuk minuman berkualitas tinggi. 2) Etanol > 99.5% v/v, digunakan untuk bahan bakar. Jika dimurnikan lebih lanjut dapat digunakan untuk keperluan farmasi dan pelarut di laboratorium analisis. Etanol ini disebut *fuel grade thanol* (FGE) atau etanol anhidrat (etanol kering), yakni etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal (Hanum *et al.*, 2013).

Bioetanol merupakan cairan (etanol) hasil proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat (pati) dengan bantuan mikroorganisme. Produksi bioetanol dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi glukosa dari tanaman yang mengandung pati (Hapsari dan Alice, 2013). Bioetanol adalah bahan bakar alternatif yang berbasis bio terbarukan dan berpotensi untuk mengurangi emisi partikulat di kompresi dan penyalaan mesin. Bioetanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi, batasan yang mudah terbakar yang lebih luas, kecepatan nyala lebih tinggi dan penguapan panas yang tinggi daripada bensin. Kemampuan bioetanol tersebut memungkinkan untuk menciptakan rasio kompresi yang lebih tinggi, waktu pembakaran dengan yang lebih singkat sehingga menyebabkan keuntungan terhadap bensin dalam mesin pembakaran internal (Balat *et al.*, 2008).

Pemakaian bioetanol sebagai bahan bakar dapat dicampur dengan bensin dengan berbagai komposisi. Namun, dalam penggunaannya, bioetanol memiliki kekurangan dibandingkan bensin, yaitu : pada mesin dingin lebih sulit melakukan starter bila menggunakan bioetanol; bioetanol bereaksi dengan logam seperti magnesium dan aluminium (Setiawati *et al.*, 2013).

2.3 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul mejadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H_2O), yang bertujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana (Osvaldo *et al.*, 2012). Proses hidrolisis dapat dilakukan dengan bantuan katalis asam atau enzim. Proses hidrolisis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gula sederhana yang kemudian difermentasi oleh khamir untuk menghasilkan etanol (Wiratmaja *et al.*, 2011).

Andini *et al* (2015) juga melaporkan bahwa kadar etanol yang dihasilkan pada perlakuan dengan hidrolisis secara asam tidak berbeda nyata dengan hidrolisis enzimatis, namun apabila dilihat dari efisiensi waktu dapat dikatakan bahwa hidrolisis secara asam lebih tepat untuk digunakan dalam produksi bioetanol. Pada prinsipnya dalam keadaan asam menghasilkan pemecahan ikatan glikosida. Penggunaan asam encer lebih menguntungkan daripada penggunaan asam pekat, karena dapat menghindari terjadinya dekomposisi glukosa dan kebutuhan alkali untuk penetralan produk akhir lebih sedikit (Lisin *et al.*, 2015).

Keuntungan terbesar penggunaan asam encer yaitu tingkat reaksi yang cepat yang memfasilitasi proses terus menerus (Anggraeni, 2017).

Keuntungan utama dari proses asam pekat adalah potensi tinggi efisiensi perolehan gula. Hidrolisis asam pekat menghasilkan glukosa yang tinggi (90%) daripada hidrolisis asam encer sehingga dapat menghasilkan etanol yang lebih tinggi (Hamelinck *et al.*, 2005). Suhu rendah dan tekanan yang digunakan memungkinkan penggunaan bahan biaya yang relatif rendah seperti tangki *fiberglass* dan pipa. Suhu rendah dan tekanan juga meminimalkan degradasi gula (Dermibas, 2005). Beberapa asam yang umum digunakan untuk hidrolisis asam adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam peklorat dan HCl. Hampir semua jenis asam dapat digunakan, tetapi asam sulfat merupakan asam yang paling banyak diteliti dan dimanfaatkan untuk hidrolisis asam (Osvaldo *et al.*, 2012).

Enzim adalah biomolekul yang berupa protein dan berfungsi sebagai katalis. Enzim yang berperan dalam merubah karbohidrat kompleks adalah amilase dan selulase. Enzim amilase mempunyai kemampuan memecah molekul-molekul amilum menjadi glikogen (Yudoamijoyo *et al.*, 1992 dalam Sulfahri 2012). Amilum merupakan substansi yang harus diubah terlebih dahulu menjadi molekul lebih sederhana supaya dapat diserap oleh sel. Amilase mempunyai kemampuan untuk memecah molekul-molekul pati dan glikogen. Penambahan jumlah enzim α -amilase yang tepat dapat mempercepat fermentasi (Sulfahri *et al.*, 2011).

Hidrolisis secara enzimatis memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis, kondisi proses yang lebih rendah (suhu

rendah) berpotensi memberikan hasil yang tinggi dan biaya pemeliharaan peralatan relatif rendah karena tidak ada bahan yang korosif. Beberapa kelemahan dari hidrolisis enzimatis antara lain adalah membutuhkan waktu yang lebih lama dan kerja enzim dihambat oleh produk (Usmana *et al.*, 2012).

Enzim amilase dan selulase adalah enzim yang berperan dalam merubah karbohidrat kompleks. Enzim amilase mempunyai kemampuan memecah molekul amilum dan glikogen (Yudoamijoyo *et al.*, 1992). Enzim α -amilase adalah endoenzim yang memotong ikatan α -1,4 amilosa dan amilopektin dengan cepat pada larutan amilum kental yang telah mengalami gelatinisasi. Produk akhir yang dihasilkan dari aktivitas enzim adalah dekstrin, sejumlah kecil glukosa dan maltose. Enzim α -amilase akan menghidrolisis α -1,4 glikosida pada polisakarida dengan hasil degradasi secara acak di bagian tengah atau bagian dalam molekul (Forgaty, 1983 dalam Sulfahri, 2012). Enzim amilase termasuk enzim hidrolase yang kompleks. Enzim ini terdiri atas endoglukanase, eksoglukanase dan β -glukosidase. Endoglukanase memutus ikatan β -1,4-glikosidik internal selulosa. Eksoselulase memotong selulosa dari ujung rantai selulosa dan menghasilkan selobiosa. Kemudian enzim β -glukosidase memotong selobiosa menjadi glukosa yang siap untuk digunakan dalam produksi etanol (Anindyawati, 2009).

2.4 Fermentasi

Fermentasi alkohol adalah proses penguraian karbohidrat menjadi etanol dan CO₂ dalam keadaan anaerob yang dihasilkan oleh aktifitas suatu jenis mikroba yang disebut khamir (Prescott dan Dunn, 1959 dalam Osvaldo, 2012). Fermentasi ditujukan untuk mengubah gula pereduksi menjadi etanol. Pada awal

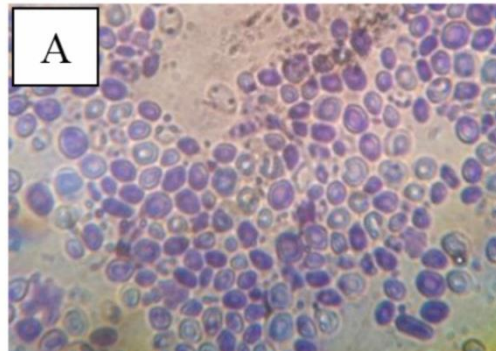
proses terjadinya penguraian glukosa yang ditandai dengan menurunnya kadar gula pereduksi sehingga total gula pereduksi yang hilang menjadi indikator kadar etanol yang diperoleh (Sari *et al.*, 2013).

Khamir memiliki kemampuan memfermentasikan gula seperti glukosa, galaktosa, sukrosa, maltose, laktosa dan polisakarida. Secara umum khamir tumbuh dan memproduksi etanol secara efisien pada suhu 28-35°C dan pH 3,5-6,0. Laju produksi etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* akan meningkat pada suhu lebih tinggi, namun produktivitas keseluruhan akan menurun akibat adanya pengaruh peningkatan etanol yang dihasilkan (Habibah, 2015). Pada fermentasi glukosa, ragi yang umum digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae* dan *Zymomonas mobilis* (Elveri *et al.*, 2006).

2.4.1 *Saccharomyces cerevisiae*

Klasifikasi *Saccharomyces cerevisiae* adalah sebagai berikut (Garrity, 2005):

Kingdom	: Eukariotik
Filum	: Fungi
kelas	: Saccharomycetes
Ordo	: Saccharomycetales
Family	: Saccharomycetaceae
Genus	: <i>Saccharomyces</i>
Species	: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>



Gambar 2. *Saccharomyces cerevisiae* (Febriyanti *et al.*, 2016)

Khamir merupakan mikroorganisme golongan fungi yang berbentuk uniseluler, bersifat eukariotik dan hidup sebagai saprofit atau parasit. Khamir atau *yeast* dapat ditemukan pada bunga, tanah, susu dan tempat-tempat lain yang mengandung glukosa. Kebanyakan fermentasi etanol skala komersial menggunakan khamir, salah satunya *Saccharomyces cerevisiae* yang menghasilkan etanol (Yudoamijoyo, 1992). *S. cerevisiae* dikenal sebagai ragi baker atau ragi brewer yang mampu merubah hampir 90% glukosa menjadi etanol (Pudjiastuti *et al.*, 1999). *S. cerevisiae* dapat menggunakan glukosa, fruktosa, maltose dan maltotriosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

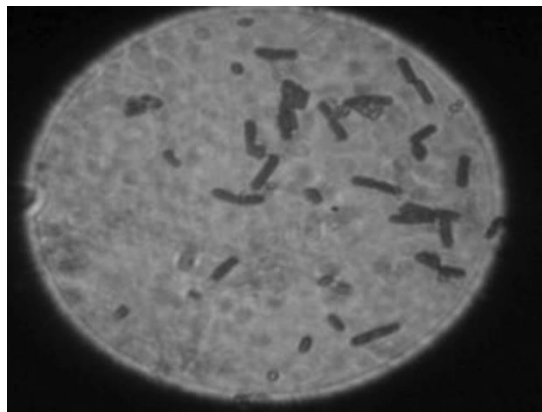
Sel *Saccharomyces* berbentuk bulat telur, dengan diameter 5-10 mikrometer. *Saccharomyces* memiliki kemampuan mengubah glukosa menjadi alkohol dan CO_2 . *Saccharomyces* merupakan mikroorganisme bersel satu, tidak berklorofil, termasuk kelompok Eumycetes. Tumbuh baik pada suhu 30 °C dan pH 4,8 (Bahri *et al.*, 2018). *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat memproduksi alkohol dalam jumlah besar dan mempunyai toleransi pada kadar alkohol yang tinggi (12-18 % abv), tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32 °C. *Saccharomyces cerevisiae*

bersifat stabil, tidak berbahaya atau menimbulkan racun, mudah di dapat dan mudah dalam pemeliharaan (Bahri *et al.*, 2018).

2.4.2 *Zymomonas mobilis*

Berikut merupakan klasifikasi *Zymomonas mobilis* Garrity (2005) :

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria
Kelas	: Alpha Protobacteria
Ordo	: Sphingomonadales
Family	: Sphingomonodaceae
Genus	: <i>Zymomonas</i>
Species	: <i>Zymomonas mobilis</i>



Gambar 3. *Zymomonas mobilis* (Ernes *et al.*, 2014)

Zymomonas mobilis merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang dan bersifat motil. Bakteri ini berukuran 2-6 μm , diameter 1,0-1,4 μm dan tumbuh optimum pada suhu 25-30°C. *Zymomonas mobilis* merupakan bakteri anaerob fakultatif. *Zymomonas mobilis* dapat ditemukan pada tumbuh-tumbuhan yang kaya gula (Ernes *et al.*, 2014).

Pemakaian *Zymomonas mobilis* untuk industri pembuatan etanol mempunyai beberapa keuntungan antara lain kemampuan untuk tumbuh secara anaerob, hasil produksi lebih tinggi (Albert *et al.*, 2015) 3-5 kali lipat dibandingkan khamir dengan hasil etanol mencapai 97% secara teori, toleran terhadap kadar gula tinggi, dan waktu fermentasi yang lebih cepat karena konsumsi gula yang lebih cepat dibandingkan *S. cerevisiae* (Ernes *et al.*, 2014).

Pada proses fermentasi *Zymomonas mobilis* akan menguraikan glukosa, fruktosa dan sukrosa (sumber karbon) melalui jalur *Entner-Doudroff* (ED). Jalur *metabolismee* ini menghasilkan 1 mol ATP tiap mol glukosa, sehingga *Zymomonas mobilis* menguraikan gula dengan kecepatan tinggi agar menghasilkan energi yang cukup untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, jumlah sel yang dihasilkan rendah karena sebagian besar karbon dari substrat digunakan untuk menghasilkan etanol (Yang *et al.*, 2009).

2.5 Distilasi

Distilasi adalah proses pemurnian untuk memisahkan bioetanol hasil fermentasi. Laju distilasi dalam produksi etanol berperan dalam laju produksi bioetanol itu sendiri (Bisowarno *et al.*, 2010). Dalam distilasi, hasil fermentasi dididihkan sehingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu (Jannah, 2010).

Laju distilasi etanol sendiri dipengaruhi oleh kadar etanol hasil fermentasi. Semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan maka semakin cepat laju distilasi.

Hal ini disebabkan karena proses distilasi dilakukan melalui proses penguapan dimana titik didih etanol telah mencapai suhu 78,32°C (Rosida *et al.*, 2017).

III KERANGKA KONSEPTUAL

3.1 Kerangka Konseptual

Bioetanol dikembangkan sebagai bahan bakar pengganti BBM dengan *fuel grade ethanol* $\geq 99,5\%$ untuk mengimbangi kelangkaan sumber minyak bumi (Karta *et al.*, 2015). Bioetanol dapat diproduksi dari tanaman berpati seperti singkong, kedelai ubi tebu dan jagung melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme. Namun, apabila pengembangan bioetanol terus menerus berpusat pada bahan pangan tersebut akan mengakibatkan terjadinya persaingan penyediaan pangan dan energi. Kondisi ini mendorong pencarian bahan non pangan sebagai bahan alternatif pembuatan bioetanol salah satunya alga *Spirogyra*.

Alga *Spirogyra* sp. memiliki kemampuan tumbuh dengan cepat dapat tumbuh di air tawar maupun air laut, dan tidak memerlukan lahan yang luas dalam budidaya alga. *Spirogyra* sp. memiliki kandungan karbohidrat dalam jumlah banyak yaitu mencapai 33-64% (Handayani dan Ariyanti, 2012), 6-20% protein dan 11-21% lemak (Becker, 2006).

Karbohidrat yang ada pada alga digunakan untuk memproduksi bioetanol. Namun, untuk memaksimalkan produksi bioetanol, perlu mengkombinasikan kandungan karbohidrat yang tinggi dengan kemampuan mikroalga untuk menghasilkan biomassa secara optimal. Kondisi budidaya dapat dikontrol untuk mendapatkan nilai karbohidrat yang lebih tinggi. Faktor utama yang mempengaruhi kandungan karbohidrat alga dan produksi biomassa adalah teknik

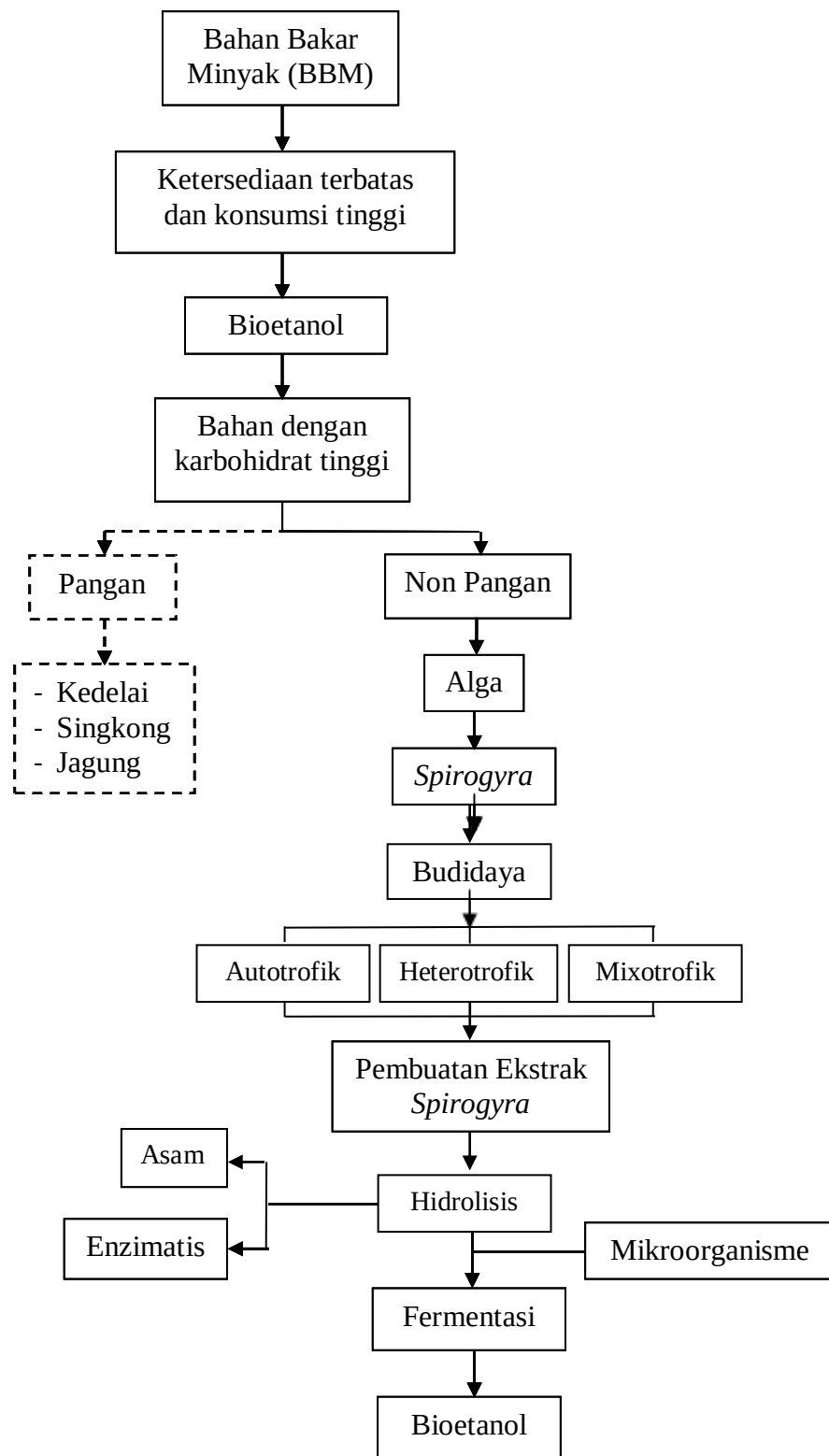
budidaya yaitu sistem autotropik, heterotropik dan mixotropik (Andreeva *et al.*, 2021).

Pada kondisi pertumbuhan secara autotropik, mikroalga sangat bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Dalam keadaan heterotropik, pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Salah satu substrat karbon organik yang umum digunakan adalah glukosa. Pada kondisi ini juga produksi biomassa mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi autotropik. Kondisi mixotropik, merupakan kombinasi dari kondisi autotropik dan heterotropik. Pada kondisi mixotropik, alga menggunakan cahaya dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun bergantian (Gultom, 2018).

Spirogyra dapat diproduksi menjadi bioetanol melalui proses hidrolisis dan fermentasi. Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul mejadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H₂O), yang bertujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana (Osvaldo *et al.*, 2012). Proses hidrolisis dapat dilakukan secara asam dan enzimatis. Proses ini untuk mendapatkan gula sederhana yang selanjutnya difermentasikan oleh khamir untuk menghasilkan etanol (Wiratmaja *et al.*, 2011).

Fermentasi adalah penguraian senyawa organik menjadi senyawa sederhana dengan bantuan mikroorganisme sehingga menghasilkan energi (Sulfahri *et al.*, 2011). Proses fermentasi dilakukan dengan menambahkan mikroorganisme. Faktor yang mempengaruhi fermentasi yaitu nutrisi dan waktu fermentasi (Sulfahri *et al* 2019) serta mikroorganisme yang digunakan.

Mikroorganisme yang sering digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae* dan *Zymomonas mobilis*.



Gambar 4. Kerangka Konseptual

IV METODE PENELITIAN

4.1 Rancangan Kerja

Rancangan kerja dari *review* artikel Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol menggunakan studi literatur dari data-data sekunder. Data sekunder adalah data yang telah tersedia dalam berbagai bentuk. Data sekunder umumnya berupa bukti, catatan atau laporan historis yang telah tersusun dalam data arsip yang dipublikasikan dan tidak dipublikasikan. Dalam *review* artikel ini data sekunder didapat dari berbagai sumber artikel atau jurnal yang ada pada situs web terpercaya yang sudah terakreditasi berstandar nasional dan internasional yang diakses melalui internet. Beberapa situs web yang digunakan adalah Google Scholar, Research Gate, Sciendirect, Pub Med, Web of Science dan Elsvier. Pengumpulan artikel ilmiah dengan merangkum data-data artikel ilmiah berupa informasi seperti judul, nama penulis, tahun terbit, topik penelitian, metode penelitian dan hasil penelitian.

Langkah awal untuk mendapat artikel atau jurnal yaitu dengan membuka situs web pada google Penelusuran artikel dengan memasukkan kata kunci seperti *Spirogyra* sp., teknik budidaya, bioetanol, alga hijau, fermentasi dan hidrolisis pada kolom pencarian yang tersedia dalam situs web tersebut dan tekan enter, maka akan ditampilkan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan kata kunci tersebut. berdasarkan hasil penelusuran diperoleh artikel sebanyak 1450. Kemudian dilakukan membaca cepat (*skimming*) terhadap artikel yang muncul. Artikel-artikel tersebut disaring dan dipilih berdasarkan kesesuaian dengan tema dan topik permasalahan. Selanjutnya, dilakukan proses *download* beberapa jurnal yang

dibutuhkan untuk penulisan *review* artikel Teknik Budidaya *Spirogyra* sp. dan Potensi Pemanfaatan sebagai Bahan Bioetanol.

Variabel yang diamati dalam *review* artikel ini adalah variabel bebas yang terdiri dari : *Spirogyra* sp., pH dan suhu media, waktu fermentasi dan variabel terikat yang terdiri dari : hasil kultur alga, mikroba, kadar gula reduksi dan kadar etanol.

4.2 Prosedur Kerja

Prosedur Kerja dalam *review* artikel ini adalah mengumpulkan artikel-artikel ilmiah yang didapatkan dari internet. Kemudian menyeleksi artikel sesuai dengan topik permasalahan yang diinginkan untuk digunakan sebagai referensi utama penulisan *review* artikel ini. Dari beberapa artikel didapatkan proses pembuatan bioetanol dari alga hijau *Spirogyra* sp. sebagai berikut :

A. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan bahan dilakukan dengan mencuci dan mengeringkan alga *Spirogyra* sp. menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 24 jam. *Spirogyra* yang telah kering dihaluskan Selanjutnya ekstrak *Spirogyra* akan digunakan untuk proses hidrolisis dan proses fermentasi.

B. Proses Hidrolisis

Pada penelitian Jaya *et al.*, (2018) serbuk *Spirogyra* sp. dihidrolisis secara asam dengan larutan H_2SO_4 . Kemudian campuran dipanaskan pada suhu 100°C selama 2 jam dan diaduk dengan kecepatan 60 rpm. Sedangkan pada Sulfahri *et al* (2011) dilakukan secara enzimatis dengan memanaskan ekstrak *Spirogyra*

selama ± 2 jam dengan suhu pemanasan $\pm 100^{\circ}\text{C}$, Didinginkan selama 3 jam sampai suhu mencapai $\pm 40^{\circ}\text{C}$. kemudian ditambahkan enzim α -amilase dan diinkubasi pada suhu kamar selama 60 menit. Sebelum dilakukan proses fermentasi, kadar gula pada hasil filtrat diukur menggunakan refraktometer sebagai kadar gula awal.

C. Proses Fermentasi

Fermentasi, dilakukan dengan menambahkan starter ke dalam Erlenmeyer yang berisi filtrat hasil hidrolisis. Kemudian ditambahkan yeast dengan variasi kadar. Selanjutnya urea dan NPK dicampurkan ke dalam erlenmeyer dan difermentasi selama 5 hari pada suhu 30°C dan pH 4,5 (Jaya *et al.*, 2018). Dalam Sulfahri *et al* (2011), proses fermentasi dengan starter ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi ekstrak *Spirogyra*, diinkubasi selama 10 hari pada suhu kamar. Jika kadar etanol masih mengalami peningkatan, maka fermentasi dilanjutkan. Proses fermentasi dihentikan jika kadar etanol telah mengalami penurunan

4.3 Parameter

Berdasarkan artikel-artikel yang *direview*, parameter pada *review* artikel ini adalah parameter utama dan parameter pendukung. Parameter utama terdiri dari hasil kultur alga, kadar etanol dan kadar gula pereduksi, sedangkan parameter pendukung terdiri dari biomassa sel dan nilai pH.

4.4 Analisis Data

Hasil kultur alga, kadar etanol, kadar gula pereduksi, nilai pH dan biomassa sel akan dianalisis dan *direview* secara deksriptif dimana data *review* akan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar. Metode dekriptif yaitu metode yang digunakan untuk membuat deskripsi atau gambaran secara sistematis dan faktual.

V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

5.1.1 Teknik Budidaya Alga *Spirogyra* sp.

Budidaya *Spirogyra* sp. dapat dilakukan pada beberapa kondisi yaitu autotropik, heterotropik dan mixotropik. Pada kondisi pertumbuhan secara autotropik, mikroalga sangat bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Dalam kondisi heterotropik, pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Salah satu substrat karbon organik yang umum digunakan adalah glukosa. Pada kondisi ini juga produksi biomassa mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi autotropik. Kondisi mixotropik, merupakan kombinasi dari kondisi autotropik dan heterotropik. Pada kondisi mixotropik, alga menggunakan cahaya dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun bergantian (Gultom, 2018). *Review* hasil produksi alga disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Produksi Alga *Spirogyra* sp.

Teknik Budidaya	Hasil Produksi	Refrensi
Kolam terbuka (Autotropik)	0,064 g/L	Wijaya (2014)
Fotobioreaktor (Mixotropik)	14,28 g/L	Vogel dan Bregmann (2017)
Erlenmeyer (Heterotropik)	12,03 g/L	Salim (2012)
Akuarium (Autotropik)	12 g/L	Apriadi (2014)

5.1.2 Hidrolisis Alga *Spirogyra* sp.

Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul mejadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H_2O), yang bertujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana (Osvaldo *et al.*, 2012). Hidrolisis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gula sederhana yang kemudian difermentasi oleh mikroba untuk menghasilkan etanol (Wiratmaja *et al.*, 2011). Proses hidrolisis dapat dilakukan dengan bantuan katalis asam atau enzim. Beberapa kadar gula hasil hidrolisis ditampilkan pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Kadar Gula Hasil Hidrolisis Alga *Spirogyra* sp.

Hidrolisis	Jumlah Substrat	Kondisi Hidrolisis	Kadar Gula	Refrensi
Enzimatis	130 g	100°C; 90 menit	12,60%	Sulfahriet <i>al.</i> , 2016
Asam	7 g	100°C; 120 menit	8,54%	Jaya, <i>et al</i> (2018)
Enzimatis	50 g	100°C; 120 menit		Sulfahri, <i>et al</i> (2011)
Asam	5 g	100°C;120 menit	2,09%	Wibowo, <i>et al</i> (2013)
Enzimatis	50 g	100°C;120 menit		Sulfahri <i>et al</i> (2011b)

5.1.3 Fermentasi Alga *Spirogyra* sp.

Review hasil fermentasi alga *Spirogyra* sp. ditampilkan pada tabel 5.3. Dari tabel tersebut dapat dilihat mikroba yang digunakan pada proses fermentasi adalah *Saccharomyces cerevisiae* dan *Zymomonas mobilis*. Proses fermentasi ditujukan untuk mengubah kadar gula pereduksi menjadi etanol.

Tabel 5. 3 Kadar Etanol dari Fermentasi Alga *Spirogyra* sp.

Jumlah Hidrolisat	Kondisi Fermentasi	Produksi Bioetanol	Mikroba Fermentasi	Refrensi
50 mL	T: 30°C ; pH: 5; t : 96 jam	10,77 %	<i>Z. mobilis</i>	Sulfahri, <i>et al</i> (2016)
20 mL	T: 30°C ; pH: 4,5; t: 120 jam	2,54 %	<i>S. cerevisiae</i>	Jaya, <i>et al</i> (2018)
70 mL	T: 30°C ; t: 240 jam	9,24%	<i>S. cerevisiae</i>	Sulfahri, <i>et al</i> (2011a)
50 mL	T: 30°C ; pH: 4.5; t: 168 jam	54,09%	<i>S. cerevisiae</i>	Wibowo, <i>et al</i> (2013)
50 mL	T: 30°C ; pH: 4,5; t: 120 jam	4,42 %	<i>S. cerevisiae</i>	Sulfahri, <i>et al</i> (2011b)
	T: 30°C; pH: 4,5; t: 120 jam	9,70%	<i>Z. mobilis</i>	

Keterangan: (T) Temperature, (t) waktu fermentasi

5.2 Pembahasan

Bioetanol dikembangkan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar minyak untuk mengimbangi kelangkaan sumber minyak bumi. Bioetanol merupakan bahan yang terbuat dari proses fermentasi tanaman berkarbohidrat dengan bantuan mikroorganisme (Idris dan Owofu, 2015). Bioetanol mengandung oksigen tinggi, mudah terturai dan sumbernya dapat diperbaharui. Kandungan oksigen yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh gas buangan seperti emisi hidrokarbon, karbon monoksida dan gas rumah kaca (Karta *et al.*, 2015).

Bahan baku produksi bioetanol harus dari bahan yang mengandung karbohidrat. Dalam hal ini digunakan alga *Spirogyra* sp. Alga dipilih karena memiliki kemampuan tumbuh dengan cepat, tidak memerlukan lahan yang luas dan dapat tumbuh di air laut dan air tawar. Selain itu, pemanfaatan alga *Spirogyra*

sebagai bahan bioetanol karena kandungan karbohidratnya yang tinggi mencapai 33-64 % (Becker, 2006).

Karbohidrat mikroalga digunakan untuk produksi bioetanol. Namun, untuk memaksimalkan produksi bioetanol, perlu untuk menggabungkan kandungan karbohidrat yang tinggi dengan kemampuan mikroalga untuk menghasilkan biomassa dalam jumlah yang optimal. Oleh karena itu, jika mikroalga memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi, kondisi budidaya dapat dikontrol untuk mendapatkan nilai karbohidrat yang lebih tinggi. Faktor utama yang mempengaruhi kandungan karbohidrat mikroalga dan produksi biomassa adalah teknik budidaya (autotropik, heterotropik, dan mixotropik) (Andreeva *et al.*, 2021).

5.2.1 Teknik Budidaya Alga *Spirogyra* sp.

Hasil kajian terhadap beberapa artikel menunjukkan bahwa teknik budidaya alga *Spirogyra* sp. mempengaruhi total produksi yang dihasilkan. Pada dasarnya pertumbuhan alga membutuhkan CO_2 sebagai sumber utama karbon, nutrisi dan penerangan. Hasil produksi tertinggi ditemukan pada penelitian Vogel dan Bregmann (2017) dimana kultur meningkat hingga 14,28 g/L. Ini adalah kepadatan sel tertinggi dalam kultur *Spirogyra* sp. Vogel dan Bregmann (2017) menggunakan sistem kultur dengan fotobioreaktor dalam penelitiannya. Fotobioreaktor adalah bioreaktor yang dikombinasikan dengan sumber cahaya tertentu untuk menghasilkan cahaya di dalam reaktor, fotobioreaktor adalah sistem kultur tertutup yang memungkinkan kontrol dan penyesuaian desain yang mudah ke lokasi instalasi, mencegah polusi dan tidak memerlukan area yang

luas. Fotobioreaktor dapat memastikan produktivitas biomassa yang tinggi dan lebih mudah mencegah kontaminasi.

Tingginya produktivitas saat menggunakan fotobioreaktor dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, antara lain waktu penyinaran selama proses budidaya. Lama penyinaran mempengaruhi suhu media kultur. Semakin lama paparan cahaya, semakin tinggi juga suhu pada media kultur. Hal ini dikarenakan cahaya dalam air berfungsi untuk memanaskan air, sehingga terjadi perubahan suhu dan densitas air (Wellset *al.*, 1999). Cahaya merupakan faktor utama yang menentukan laju fotosintesis (Bouterfas, *et al.* 2006). Semakin tinggi nilai laju pertumbuhan maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan biomassa untuk menggandakan sel (Santosa, 2010). Hal ini didukung oleh penelitian Febriawati (2015) yang menunjukkan bahwa peningkatan biomassa *Spirogyra* dapat mencapai 73% dengan penyinaran 24 jam, sedangkan penyinaran selama 12 jam mencapai 46% . Bouterfas *et al.* (2006) menyatakan bahwa semakin lama durasi penyinaran, semakin cepat pembelahan sel berlangsung, sehingga akan memaksimalkan pertumbuhan biomassa.

Salim (2012) melaporkan kepadatan sel 12,03 g/L setelah kultur *Spirogyra* sp. secara heterotropik. Kultur *Spirogyra* secara heterotropik dilakukan dengan menutup labu Erlenmeyer dengan kertas karbon dan menambahkan hidrolisat pati singkong. Tingginya produksi pada keadaan ini diduga karena tidak ada cahaya yang masuk ke dalam proses budidaya, sehingga *Spirogyra* mendapatkan energinya dari hidrolisat pati singkong dalam bentuk karbon organik berupa glukosa. Hal ini sejalan dengan pandangan Gultom (2018) bahwa dalam

kondisi heterotropik keberadaan sinar matahari tidak diperlukan, karena mikroalga dapat hidup dan tumbuh menggunakan karbon organik, atau glukosa, sebagai sumber energi. Glukosa dalam media kultur terakumulasi menjadi karbohidrat, yang mempercepat pertumbuhan sel. Mikroalga secara genetik mampu memetabolisme karbon organik untuk memperoleh energi dan sumber karbon (Chenet *al.*, 1996). Dalam kondisi heterotropik, mikroalga menyimpan karbon padat dalam bentuk polimer seperti pati, yang kemudian dipecah untuk digunakan dalam pertumbuhan biomassa dan pembelahan sel dalam kondisi heterotropik.

Budidaya *Spirogyra* secara heterotorofik menghasilkan hasil yang lebih tinggi daripada budidaya di autotrofik (terbuaka). Dalam metode ini, alga menggunakan hidrolisat pati singkong sebagai sumber karbon organik untuk pertumbuhan alga. Menurut Miao dan Wu (2011), alga dapat tumbuh secara heterotropik dengan menggunakan sumber karbon organik seperti gula atau asam organik untuk mengatasi keterbatasan penetrasi cahaya. Tingginya hasil kultur heterotropik menunjukkan bahwa stimulasi pertumbuhan hidrolisat pati singkong berpengaruh terhadap hasil kultur. Dalam kondisi gelap, alga tidak memiliki akses ke sumber cahaya dan adanya penambahan hidrolisat pati singkong digunakan untuk mengubah karbon organik yang tersedia untuk pertumbuhan.

Penambahan glukosa ke media kultur secara signifikan lebih murah daripada memasok cahaya untuk kultur mikroalga. Glukosa juga dapat menghasilkan biomassa dan meningkatkan pertumbuhan sel (Kong *et al* 2012). Selain itu, kultur heterotropik ini memungkinkan produksi metabolisme yang efisien, misalnya produksi minyak nabati tiga kali lebih tinggi oleh sel

heterotropik daripada oleh sel autotropik (Miao dan Wu, 2004). Anggraini (2020) dalam penelitiannya tentang produksi biomassa *Galdieria* sp. Dengan penambahan glukosa diperoleh nilai biomassa tertinggi sebesar 4,76 g/L pada kondisi heterotropik dan 0,73 g/L pada kondisi autotropik. Kondisi autotropik menggunakan proses fotosintesis hanya untuk pertumbuhan sel mikroalga. Dengan kondisi tersebut, proses fotosintesis mikroalga sangat bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi dan CO_2 sebagai sumber karbon.

5.2.2 Hidrolisis Alga *Spirogyra* sp.

Berdasarkan hasil pada tabel 5.2, dapat dilihat bahwa kadar gula yang dihasilkan berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses hidrolisis diantaranya kadar enzim atau asam yang digunakan, suhu, pH dan waktu proses hidrolisis. Kadar asam maupun enzim yang digunakan pada proses hidrolisis mempengaruhi nilai total gula yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan pendapat Fitroyah (2007) dan Susmiati (2011) bahwa semakin banyak enzim atau asam yang digunakan, akan semakin banyak gula yang dihasilkan dan semakin mempercepat reaksi hidrolisa. Tetapi, penambahan enzim yang tinggi tidak selalu menghasilkan produk yang paling tinggi. Hasil hidrolisis substrat akan konstan dengan naiknya kadar enzim, karena penambahan enzim sudah tidak efektif lagi (Reed, 1975).

Suhu dan pH sangat berpengaruh terhadap proses hidrolisis. Semakin tinggi suhu pada hidrolisis baik yang dikatalis enzim atau asam, akan semakin tinggi laju reaksi kimia. Suhu yang tinggi dapat mempercepat pemecahan bahan menjadi sederhana. Dalam Fuadi *et al* (2015) pH mempengaruhi aktivitas enzim

karena sifat ionik gugus karboksil dan asam amino mudah dipengaruhi pH. Hal ini mengakibatkan berubahnya fungsi katalik dan konformasi enzim sehingga enzim bisa terdenaturasi dan kehilangan aktivitasnya. Waktu hidrolisis adalah waktu yang diperlukan oleh enzim untuk merombak bahan menjadi lebih sederhana. Waktu hidrolisis ini juga dipengaruhi oleh kadar substrat, kadar enzim dan asam, serta suhu hidrolisis (Tjokroadikoesomo, 1986 dalam Fuadi, *et al* , 2015).

5.2.3 Fermentasi Alga *Spirogyra* sp.

Berdasarkan tabel 5.3, penelitian Wibowo, *et al* (2013) fermentasi alga *Spirogyra* sp dilakukan dengan teknik imobilisasi ca-alginat dengan kadar etanol yang dihasilkan yaitu 54,09%. Imobilisasi adalah suatu teknik untuk mempertahankan mikroba untuk tetap berada dalam matriks sehingga dapat meningkatkan efisiensi kerja mikroba agar diperoleh hasil yang diinginkan. Teknik imobilisasi sel dilakukan agar sel terjebak dalam suatu maktriks atau membran. Imobilisasi ini ditujukan untuk membuat sel menjadi tidak bergerak atau pergerakannya berkurang sehingga pertumbuhan sel menjadi terhambat dan sel hanya digunakan untuk menghasilkan produk (Azizah, 2014).

Keuntungan teknik ini yaitu sel terlindungi dari stress akibat agitasi dan aerasi (Pandey *et al.*, 2005), mengurangi resiko kontaminan, sel lebih stabil, dan lebih ekonomis (Singhet *et al.*, 2013), mereduksi fase adaptasi, konversi substart lebih tinggi, prosesnya lebih cepat (Duarte *et al.*, 2013) dan dapat mencegah terjadinya wash out pada aliran keluar produk (Goksungur dan Zorlu, 2001). Kadar etanol yang dihasilkan pada penelitian Wibowo, *et al* (2013) menunjukkan fermentasi dengan sel mikroba yang diimobilisasi memberikan hasil yang lebih

tinggi dibandingkan dengan fermentasi tanpa imobilisasi. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Behera *et al.*, (2010), yang menyatakan bahwa pada sel yg diimobilisasi terjadi peningkatan kadar etanol sebesar 10-20% dibandingkan dengan sel yang tidak terimobilisasi. Sel yang diimobilisasi kondisi fisiologisnya tetap stabil dan juga dapat tetap tumbuh pada meski telah digunakan selama 4 kali siklus fermentasi.

Menurut Galazzo, *et al* (1989), sel yang diimobilisasi memiliki kemampuan menyimpan glikogen dan menyerap glukosa lebih tinggi, sehingga produksi etanol lebih besar daripada sel yang tidak dilakukan imobilisasi. Imobilisasi sel juga mengakibatkan sel lebih toleransi terhadap kadar etanol yang tinggi. Ini disebabkan adanya ikatan kovalen yang meningkatkan jumlah fosfolipid dan sterol. Peningkatan tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan laju fermentasi dan toleransi terhadap etanol. Sedangkan, pada sel yang tidak terimobilisasi memproduksi asam oleat yang lebih tinggi sehingga memberikan efek *metabolisme* sel dapat berhenti (Kusumaningati, 2017).

Mikroba yang digunakan merupakan salah satu kunci berhasil atau tidaknya fermentasi.. Mikroba ini berperan dalam menguraikan karbohidrat dan glukosa menjadi etanol. Sehingga pemilihan mikroba yang akan digunakan pada proses fermentasi harus diperhatikan, agar proses fermentasi dapat berlangsung secara optimal. Terdapat beberapa mikroba yang digunakan dalam fermentasi bioetanol, seperti *S. cerevisiae* dan *Z. mobilis*, *S. cerevisiae* bersifat non patogenik dan non toksik (Sassner, 2008). *S. cerevisiae* adalah salah satu khamir yang mampu mengkonversi hampir 90% gula menjadi etanol (Pudjiastuti *et al.*, 1999).

Mikroba yang dikenal sebagai ragi baker ini menghasilkan produk metabolit utama yaitu etanol, CO_2 dan air, sedangkan produk lainnya dihasilkan dalam jumlah sedikit (Khodijah dan Abtokhi, 2015).

Berdasarkan tabel 5.2 kadar etanol yang dihasilkan *Z. mobilis* tanpa perlakuan penambahan nutrisi lebih besar dibandingkan *S. cerevisiae*. Hal ini menunjukkan jumlah gula yang digunakan pada proses fermentasi oleh *Z. mobilis* lebih banyak dibandingkan dengan *S. cerevisiae*. Bakteri ini berkembang biak lebih cepat daripada ragi, sehingga diduga *Z. mobilis* mencapai fase lag lebih dahulu dari *S. cerevisiae*. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Braide *et al* (2018) untuk mengetahui dalam produksi etanol manakah mikroba yang menghasilkan etanol lebih tinggi antara *Z. mobilis* dan *S. cerevisiae*. Dari hasil penelitian diperoleh *Z. mobilis* menghasilkan 78% etanol, *S. cerevisiae* menghasilkan etanol sebanyak 51%. Selain itu, *Z. mobilis* dalam proses fermentasinya mampu menghasilkan 9 mol etanol untuk 1 mol glukosa. Sedangkan *S. cerevisiae* hanya menghasilkan 2 mol etanol dari 2 mol glukosa (Hanidahet *al.*, 2016). Ming, *et al* (2013) melaporkan bahwa sebagian besar karbon diubah menjadi biomassa sebagai hasil jalur Entner-Doudoroff yang digunakan *Z. mobilis*. Tetapi, mikroba ini membentuk lebih sedikit biomassa dan sisanya digunakan untuk membentuk etanol. Oleh karena itu, produksi etanol lebih efisien daripada *S. cerevisiae* (Sotsuwan *et al.*, 2013).

Selain mikroba, terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi fermentasi diantaranya yaitu pH, suhu dan substrat. Substrat adalah bahan utama fermentasi yang mengandung nutrisi untuk digunakan oleh mikroba baik untuk tumbuh dan

untuk menghasilkan produk fermentasi. Substrat yang dimaksud adalah karbohidrat. Karbohidrat adalah sumber karbon yang berperan sebagai penghasil energi bagi mikroba (Azizahet *al.*, 2012). Substrat yang digunakan dalam *review* artikel ini adalah *Spirogyra* sp. *Spirogyra* sp. mengandung 33-64% karbohidrat.

Berdasarkan tabel 5.2 dapat dilihat rentang suhu fermentasi untuk membentuk bioetanol oleh alga *Spirogyra* sp. adalah 30°C. Suhu mempengaruhi laju pertumbuhan dan fungsi *metabolismee* mikroba ketika proses fermentasi berlangsung yang akan berpengaruh terhadap bioetanol yang dihasilkan. Apabila suhu yang digunakan adalah suhu optimal bagi pertumbuhan dan aktivitas mikroba, maka mikroba yang digunakan akan tumbuh dan melakukan aktivitasnya dengan baik selama proses fermentasi. Suhu optimal untuk *Z. mobilis* agar dapat tumbuh dan beraktivitas dengan baik yaitu 25-30°C (Ramdhani, 2015). Sedangkan pada suhu 30°C, *S. cerevisiae* dapat tumbuh dengan baik (Bahriet *al.*, 2018). Akan tetapi hal ini juga bergantung pada fungsi spesifik dari enzim yang terlibat dalam fermentasi tersebut. Ketika suhu berada di bawah suhu optimum pertumbuhan mikroba, aktivitas katalik enzim akan menurun. Sebaliknya, jika suhu di atas suhu optimal maka enzim akan terdenaturasi dan menyebabkan proses fermentasi terhambat (Romaui, *et al.* 2021).

Derajat keasaman (pH) adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi etanol. pH optimal pada fermentasi etanol berkisar antara 4,5-5. Pada pH dibawah 3 dapat menyebabkan laju fermentasi melambat. Berdasarkan literatur didapatkan, pH pertumbuhan *S. cerevisiae* berkisar antara 4,0-5,5 (Sassner, 2008). pH optimal yang digunakan *Zimomonas*

mobilis pada fermentasi yaitu 4,0-7,0 (Ramdhani, 2015). Hal ini mendukung bahwa rentang pH yang digunakan *S. cerevisiae* dan *Z. mobilis* pada fermentasi etanol berada pada kondisi yang optimal. Dempeipen dan Dewa (2015) dalam penelitiannya produksi bioetanol dari alga *Eucheuma cottoni* dengan perlakuan pH yang berbeda pada proses fermentasi, diperoleh pH terbaik adalah 4,5 yang menghasilkan kadar etanol sebesar 5,65%. Ketika pH yang digunakan pada proses fermentasi merupakan pH yang sesuai dengan pH lingkungan hidup dari mikroba, maka mikroba tersebut dapat tumbuh dan bekerja dengan baik dan optimal untuk memperoleh jumlah bioetanol yang tinggi (Romaui, *et al.*, 2021).

Kondisi waktu yang optimal dari masing-masing penelitian dapat dilihat pada tabel 5.2. Dari tabel tersebut dapat dilihat rentang waktu fermentasi alga *Spirogyra* untuk memproduksi bioetanol adalah 96-240 jam dengan kadar bioetanol yang dihasilkan yaitu 10,77-54,09%. Waktu fermentasi adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan. Semakin lama waktu fermentasi maka semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan. Tapi pada kenyataannya setelah mikroba mencapai waktu fermentasi yang optimal kadar bioetanol yang dihasilkan akan menurun (Rahmayuni *et al.*, 2014). Apabila fermentasi dilakukan dalam waktu terlalu singkat, maka fermentasi tidak akan mendapatkan kadar bioetanol yang optimal. Hal dikarenakan mikroba masih berada pada fase adaptasi sehingga komponen glukosa belum terkonversi sepenuhnya. Kadar etanol naik ketika mikroba berada pada fase eksponensial dimana mikroba mengalami pertumbuhan yang sangat cepat. Pada fase ini, mikroba mengonsumsi gula secara besar-besaran untuk pertumbuhan sel sehingga diperoleh jumlah sel

maksimal untuk produksi bioetanol. Ketika waktu optimal fermentasi tercapai, maka produksi bioetanol akan menurun karena berkurangnya nutrisi pada media fermentasi. Selain itu, hal ini juga dikarenakan terjadi akumulasi bioetanol yang tinggi akan bersifat racun bagi mikroba sehingga menghentikan pertumbuhannya secara perlahan (Romauli,*et al.*, 2021). Menurut Conway (1992) dalam Oktaviani (2013) kadar bioetanol juga mengalami penurunan karena adanya etanol yang terkonversi menjadi asam-asam organik dan bereaksi balik menjadi asetaldehid.

Pengaturan kondisi lingkungan adalah usaha untuk mengoptimalkan hasil proses fermentasi. Media yang digunakan dalam proses fermentasi juga mempengaruhi hasil fermentasi. Media yang akan digunakan pada fermentasi harus steril dan mengandung nutrisi seperti unsur C (faktor karbohidrat) dan unsur N dan P yang terdapat dalam pupuk, serta mineral dan vitamin lainnya. Dimana nutrisi ini nanti akan digunakan oleh mikroba untuk pertumbuhan dan aktivitas selama fermentasi (Saroso, 1998 dalam Restuti , 2014).

Pada penelitian Sulfahri, *et al* (2016) pengaturan kondisi lingkungan untuk pertumbuhan mikroba dilakukan dengan pemberian nutrisi fermentasi yaitu Gandasil D. Pemberian nutrisi Gandasil D pada media fermentasi dilakukan untuk memperkaya nutrisi pada media fermentasi hasil hidrolisis alga. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan penambahan nutrisi pada substrat fermentasi meningkatkan kadar etanol hingga 30,07%. Pada penelitian Taufan (2018) juga mendukung hal ini, yang menyatakan bahwa variasi penambahan nutrisi fermentasi berupa Gandasil D secara signifikan berpengaruh terhadap kadar gula yang dihasilkan. Ketersediaan nutrisi yang baik sangat penting untuk

pertumbuhan dan aktivitas mikroba pada proses fermentasi, agar diperoleh hasil yang baik juga. Gandasil D mengandung nitrogen (N) 20%, fosfor (P) 15%, kalium (K) 14%, magnesium (Mg) 1% dan dilengkapi unsur-unsur seperti mangan (Mn), boron (B), tembaga (Cu), kobal (Co), seng (Zn) (Palembaet *al.*, 2013). Oleh karena hal ini, diketahui bahwa pemberian nutrisi Gandasil D dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba dan laju fermentasi.

VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan *review* diatas, dapat diuraikan dan disimpulkan bahwa :

1. Budidaya alga *Spirogyra* sp. dengan sistem fotobioreaktor memberikan hasil yang terbaik dibandingkan dengan kultur secara heterotropik dan autotropik (kolam terbuka).
2. Alga *Spirogyra* berpotensi sebagai bahan bioetanol karena mengandung karbohidrat mencapai 64% yang merupakan bahan utama untu memproduksi bioetanol. Produksi bioetanol dari alga *Spirogyra* dapat dilakukan melalui proses hidrolisis dan fermentasi.
3. Penggunaan mikroba yang berbeda pada proses fermentasi berpengaruh terhadap kadar etanol yang dihasilkan. *Zymomonas mobilis* memberikan hasil yang lebih tinggi fermentasi etanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Namun, produksi etanol dari alga *Spirogyra* sp. dengan sel *Saccharomyces cerevisiae* yang diimobilisasi memberikan hasil terbaik dibandingkan dengan perlakuan lainnya

6.2 Saran

Saran dari penulisan literatur *review* ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bahan-bahan yang dapat meningkatkan kandungan karbohidrat pada alga *Spirogyra* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreeva, A., Ekaterina B., Olga B., Stanislav., Vyacheslav B., Phillipe M and Svetlana I. 2021. Influence of Carbohydrate Additives on the Growth Rate of Microalgae Biomass with an Increased Carbohydrate Content. *Marine Drugs*, 19: 381
- Albert, Nora I dan Rudyansyah. 2015. Pembuatan Bioetanol Menggunakan *Zymomonas mobilis* Dari Limbah Tongkol Jagung. *JKK*, 4(2) : 71-74
- Andini, S., Endang K dan Anto B. 2015. Produksi Bioetanol Dari Rumput Laut dan Limbah Agar *Gracilaria* sp. dengan Metode Sakarifikasi Yang Berbeda. *BIOMA*, 16 (2) : 65-75
- Anggraeni, L.Z. 2017. Perbedaan Hidrolisis Asam Sulfat (H₂SO₄) dan Asam Klorida (HCl) dalam Pembuatan Bioetanol Berbahan Baku Rumput Laut *Gracilaria* sp. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga. Surabaya. Hal 19.
- Anggraini, D. 2020. Modifikasi Kondisi Kultur Dengan Penambahan Glukosa Pada Media Untuk Peningkatan Biomassa *Galdieria* Sp. Sebagai Bahan Baku Pigmen Alami. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Anindyawati, T. 2009. Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa Untuk Produksi Bioetanol. Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPi: Cibinong, 44(1) : 49-51
- Apriadi, T. Pratiwi NTM dan Hariyadi S. 2014. Fitoremediasi limbah budidaya sidat menggunakan filamentous algae (*Spirogyra* sp.). *Depik*, 3(1):46-55
- Apriadi, T., Niken T.M.P dan Sigid H. Fitoremediasi limbah budidaya sidat menggunakan filamentous algae (*Spirogyra* sp.). *Depik*, 3(1): 46-55
- Azizah, N., A. N. Al-Barri dan S. Mulyani. 2012. Pengaruh lama Fermentasi terhadap kadar Alokohol, pH dan Produksi Gas pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 1 (2): 72-77
- Azizah, Rezita. 2014. *Kajian Penggunaan Tween 80TM Dan Sel Amobil Pada Proses Fermentasi Bioetanol Dari Djaprie, S.Ilmue dan Teknologi Bahan* (5th ed.). Jakarta: Erlangga
- Bahri, S., Amri A., dan Fadlina Y. 2018. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok dengan Cara Fermentasi menggunakan Ragi Roti. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(2): 85-100
- Balat, M., H. Balat and C. Oz. 2008. Progress in Bioetanol Processing. *Elsivier Ltd. Progress in Energy and Combustion Science*. 34 (5) : 551-573

- Becker, E. W. 2006. Microalgae as a source of protein. *Journal of Biotechnology Advances*, 25: 207-210.
- Behera, J. 2010. Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Bioelectrochemistry* 79: 228-223.
- Bisowarno, B.H., B. Girisuta., P. Wijaya dan A. Yunita. 2010. Simulasi Proses Produksi Etanol dengan Kolom Distilasi Azeotrop menggunakan Isooktan. *Prosiding Seminar Nasional teknik Kimia Kejuangan*. ISSN 1663-4393. Yogyakarta. Hal 1-6 .
- Bouterfas R., Belkoura M and Dauta A. 2006. The effects of irradiance and photoperiod on the growth rate of three freshwater green algae isolated from a eutrophic lake. *Limnetica* 25 (3): 647-656
- Braide, W., Udegbum L. I and Mike- Anosike. E.E. 2018. Production and Spectrophotometric Quantification of Bioethanol from Pineapple Fruit Skin. *Journal of Biotechnology*, 2018, 1 (2): 67-74
- Brennan L, Owende P. 2010. Biofuels from microalgae--A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.; 14:557-577.
- Chen F., Zhang Y and Guo S. 1996. Growth and phycocyanin formation of *Spirulina plantesis* in photoheterotrophic culture. *Biotechnology Letters* 18(5) : 603-608
- Costa, J. A. V and Michele G. M. 2011. The Role Biochemical Engineering in The Production of Biofuels from Microalgae. *Biosource Technology*, 102 : 2-9.
- Dermibas, A. 2005. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass, Taylor & Francis Inc. *Energy Sources* 27 (4): 327-337.
- Dompeipen, E. J dan R. P Dewa. 2015. Pengaruh Waktu dan PH Fermentasi dalam Produksi Bioethanol dari Rumpun Laut *Eucheuma cottonii* Menggunakan Asosiasi Mikroba (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus Niger* dan *Zymomonas mobilis*). *Majalah Biam*, 11 (2). 63-75.
- Duarte, J. C dan Augusto, R. R., Paulo J. S. M., Gustavo, P. V., and Jose, R. N. 2013. Effect of Immobilized Cells in Calcium Alginate Beads in Alcoholic Fermentation. *AMB Express*, a Springer Open Journal, 3: 31.
- Elevri, P.A., dan S.R. Putra. 2006. Produksi Etanol Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yang Dimobilisasi dengan Agar Batang. *Akta Kimia*, 1(2) : 105-114.

- Endah, R.D., Sperisa D., Adrian N., dan Paryanto. 2007. Pengaruh KOndisi Fermentasi terhadap Yield Etanol Pada Pembuatan Bioetanol dari Pati Garut. *Gema Teknik*, (2) : 83-88
- Ernes, A., Lia R. Agustin K. W dan Joni K. 2014. Optimasi Fermentasi Bagas Tebu Oleh *Zymomonas mobilis* CP4 (NRRLB-14023) Untuk Produksi Bioetanol. *Agritech*, 34 (3) : 247-255
- Eshaq F.S., Mir N.A., and Mazharuddin K.M. 2010. *Spirogyra* biomass a renewable source for biofuel (bioetanol) Production. *International Journal of Engineering Science and Technology* 2(12) : 7045-7053
- Febriawati, A. 2015. Kemampuan *Spirogyra* Sp. Dalam Memanfaatkan Nutrien Pada Media Yang Diperkaya Kalsium (Ca) Dengan Lama Penyinaran Yang Berbeda. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Febriyanti, A.E., Cut N.S dan Adisyahputra. 2016. Efektivitas Media Pertumbuhan Khmair Komersial *Saccharomyces cerevisiae* Untuk Fermentasi Bioetanol Dari Eceng Gondol *Eichhornia crassipes*. *BIOMA*, 12 (2) : 43-48
- Fitroyah, D. F. 2007. Pembuatan Sirup Fruktosa dari Umbi Gembili secara Hidrolisis Enzimatis. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknologi Industri. UPN “Veteran” Jawa Timur. Surabaya.
- Fuadi, A. M., K. Harsimah dan A. Setiawan. 2015. Hidrolisi Enzimatis Kertas Bekas dengan Variasi Pemanasan Awal. *University Research Colloquium*. ISSN 2407-9189: 1-8
- Galazzo, J. L and Bailey, J. E. 1989. In Vivo Nuclear Magnetic Resonance Analysis of Immobilization Effect on Glucose *Metabolisme* of Yeast *S. cerevisiae*. *Biotechnol. Bioeng*, 33 :1283-1289.
- Gallego I, Casas JJ, Fuentes-Rodríguez F, Juan M, Sánchez-Castillo P, Pérez-Martínez C. 2013. Culture of *Spirogyra africana* from farm ponds for long-term experiments and stock maintenance. *Biotechnol Agron Soc Environ* 17(3):423–430
- Garrity, M.G. 2005. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Department of Microbiology and Molecular Genetics, Machigan State University: USA
- Goksungur, Y. dan N. Zorlu, (2001), “Production of Ethanol From Beet Molasses by Ca-Alginate Immobilized Yeast Cells in a Packed-Bed Bioreactor”, *Turk J. Biol.*, 25, page 265-275. Turkey
- Gultom, S. O. 2018. Mikroalga: Sumber Energi Terbaru Masa Depan. *Jurnal Kelautan*, 11 (1): 95-103

- Habibah, F. 2015. Produksi Substrat Fermentasi Bioetanol dari Alga Merah *Gracilaria verrucosa* Melalui Hidrolisis Enzimatis dan Kimiawi. Skripsi. FMIPA Universitas Negeri Semarang. Semarang. Hal 14.
- Hamelinck, CN., Van Hooijdonk G., and Faaij APC. 2005. Prospects for ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performances as development progresses. Scientific report- NWS-E-2003-55. Urecht University, Utrecht, The Netherlands: Copernicus Insititute, Department of Science, Technology and Society. 384-410
- Handayani, N. A dan Ariyanti D. 2012. Potensi Mikroalga sebagai Sumber Biomassa dan Pengembangan Produk Turunannya. Jurnal Teknik, 33 (2): 62 hal.
- Hanidah, I. I., R. Safitri dan T. Subroto. 2016. *Alternatif Fermentasi Bio-Etanol dari Bagas Tebu oleh Z. mobilis*. Jurnal Penelitian Pangan Volume 1.1,
- Hanum, F., Nurhasmawaty P., Mulia R., Ratih P., dan Mei U. 2013. Pengaruh Massa Ragi dan Waktu Fermentasi terhadap Bioetanol Dari Biji Durian. Jurnal Teknik Kimia, 2 (4) : 49-53
- Hapsari, M. A., dan Alice P. 2013. Pembuatan Bioetanol dari Singkong Karet (*Manihot glaziovii*) untuk Bahan Bakar Kompur Rumah Tangga sebagai Upaya Mempercepat Konversi Minyak Tanah ke Bahan Bakar Nabati. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, 2 (2) : 240-245
- Idris, M. N and Owofu M. N. 2016. Experimental Studies on the Production of Biofuel (Bioethanol) from *Spirogyra* Biomass. Internatinal Journal of Engineering and Modern Technology 2 (1) : 16-43
- Jannah, A. M. 2010. Proses Fermentasi Hidrolisat Jerami Padi untuk Menghasilkan Bioetanol. Jurnal Teknik Kimia. Universitas Sriwijaya. Hal 9.
- Jaya, D., Rahayu S dan Sudiyono P. 2019. Pembuatan Bioetanol dari Alga Hijau *Spirogyra* sp. Eksergi, 15 (1) : 16-19.
- Karta, I. W., N. M. Puspawati dan Y. Ciawi. Pembuatan Bioetanol dari Alga *Codium geppiorum* Dan Pemanfaatan Batu Kapur Nusa Penida Teraktivasi Untuk Meningkatkan Kualitas Bioetanol. Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry), 3 (12): 23-31
- Kasrina., Sri I dan Wahyu E.J. 2012. Ragam Jenis Mikroalga di Air Rawa Kelurahan Bentiring Permai Kota Bengkulu sebagai Alternatif Sumber Belajar Biologi SMA. Jurnal Exacta 10 (1) : 36-43
- Khodijah, S dan A. Abotokhi. 2015. ANALISIS PENGARUH VARIASI PERSENTASE RAGI (*S. cerevisiae*) DAN WAKTU PADA PROSES

FERMENTASI DALAM PEMANFAATAN DUCKWEED (*Lemna minor*) SEBAGAI BIOETANOL. Jurnal Neutrino Vol. 7, No. 2

- Kong W. Yang H. Cao Y., Song H. Hua S and Xia C. 2012. Effect of Glycerol and Glucose on the Enhancement of Biomass Lipid and Soluble Carbohydrate Production by *Chlorella vulgaris* in Mixotrophic Culture. Food Technology and Biotechnology 51 (1).
- Kusumaningati, M.A., 2017. Imobilisasi Sel *Z. mobilis* Dan *S. cerevisiae* Untuk Meningkatkan Produksi Bioetanol dari Gula Hasil Hidrolisis Limbah Ampas Tebu. Thesis. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Lisin, N., G.S. Hutomo and S.K. Zain. 2014. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocelullose: Strucyure and Chemical Process. The Scientific World Journal, (6310313) : 1-20.
- Miao, X and Wu Q. 2004. High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*. Journal of Biotechnology, 110 (85)
- Ming, X. H., Bo, W., Han, Q., Zhi, Y. R., Fu, R. T., and Jing, L. W., 2014. "*Zymomonas mobilis* a novel platform for future biorefineries." *Biotechnology Biofuels*, vol. 7, p. 101
- Munir N, Imtiaz A, Sharif N, Naz S. 2015. Optimization of growth conditions of different algal strains and determination of their lipid contents. J Anim Plant Sci 25(2):546–553
- Ningrum, A. S. W., Vella L dan Arum R. W. Pengaruh Variasi Asam dalam Fermentasi Biomassa Berbahan Baku Alga *Spirogyra* sp. Terhadap Kadar Etanol. PELITA 11(2): 21-32
- Oktaviani, R. 2013. Produksi Etanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode Solid State Fermentation (SSF) Terhadap Variasi Waktu dan Variasi Ukuran Partikel Substrat. Laporan Penelitian, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Osvaldo, Z. S., Putra, S. P., dan Faizal, M. 2012. Pengaruh Konsentrasi Asam dan Waktu pada Proses Hidrolisis dan Fermentasi Pembuatan Bioetanol dari Alang-alang. Jurnal Teknik Kimia, 2(18) : 56-62
- Pacheco R, Ferreira AF, Pinto T, Nobre BP, Loureiro D, Moura P, Gouveia L, Silva CM. 2015. The production of pigments & hydrogen through a *Spirogyra* sp. biorefinery. Energy Convers Manag 89:789–797
- Palemba, T. Y., M.T Lasut., J. L. Kalangi dan A. Thomas. Aplikasi Pupuk Daun Gandasil D terhadap Pertumbuhan Bibit Jabon Merah (*Anthocephalus macrophyllus* Havil). Cocos 2 : 1-10

- Pandey, A., Soccol, C., Rodriguez-leon, J and Nigam, P. 2005. Solid-state Fermentation in Biotechnology Fundamentals and Application. Asiatech Publ. Inc., New delhi, pp 50-225.
- Permanasari, A. Y., F. Yulistiani., M. A. Tsaqila., D. Alami dan A. Wibowo. 2018. Pengaruh Konsentrasi Substrat dan Enzim terhadap produk Gula Reduksi Pada Pembuatan Gula Cair dari Tepung Sorgum Merah Secara Hidrolisis Enzimatis. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia : 1693-4393.
- Pudjiastuti, L., Suwarsono, N., dan Nurhatika, S. (1999). Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tepung Tapioka Menjadi Etanol dalam Usaha Minimasi Penemaran Lingkungan. Pusat Penelitian KLH, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pudjiastuti, L., Suwarsono, N., dan Nurhatika, S. 1999. Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tepung Tapioka Menjadi Etanol dalam Usaha Minimasi Penemaran Lingkungan. Pusat Penelitian KLH, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rahmayuni, D., Chairul dan Syelvia P.U. 2014. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas dengan Metode *Liquid State Fermentation* (LSF) dengan Variasi Waktu dan Kadar Inokulum. Jurnal Online Mahasiswa, 1 (2) : 1-5
- Ramaraj R, Unpaprom Y, Whangchai N, Dussadee N. 2015. Culture of macroalgae *Spirogyra ellipsospora* for long-term experiments, stock maintenance and biogas production. Emergent Life Sci Res 1(1):38–45
- Ramaraj, R., Yuwalee U., Niwooti W., and Natthawud D. Culture of Macroalgae *Spirogyra ellipsospora* for Long-Term Experiments, Stock Maintenance and Biogas Production. Emer Life Sci Res, 1(1): 38-45
- Ramdhani, P. 2015. Mikrobiologi Industri. Plantaxia. Yogyakarta.
- Reed, G. 1975. Enzymes in Food Processing. Academic Press. New Yorl. 212.
- Restuti, T. Y. 2014. Pengaruh Kadar H_2SO_4 Waktu Hidrolisis dan Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol Yang Dihasilkan Rumput Laut *Eucheuma cottonii*. Skripsi. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Rosida D. A. 2017. Pengaruh Konsentrasi Pada Proses Hidrolisis Asam Terhadap Kadar Gula Reduksi dan Kadar Etanol Limbah Padat Agar *Grcilaria* sp. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga. Surabaya. Hal 23.
- Salim, MA. 2012. Biomass and Lipid Content of Heterotrophic *Spirogyra* sp by Using Cassava Starch Hydrolysate. International Journal of Engineering Research and Development, 6(6): 21-26.

- Santosa A. 2010. Produksi *Spirulina* sp. yang dikultur dengan perlakuan manipulasi fotoperiod. Skripsi. Intitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sari, R. N., Sugiyono dan Luthfi A. 2013. Optimasi Waktu Proses Hidrolisis dan Fermentasi Dalam Produksi Bioetanol Dari Limbah Pengolahan Agar (*Gracilaria* sp.) Industri. JPB Perikanan, 8 (2) : 133-142
- Sassner, P., Martensson, C. G., Galbe, M and Zacchi, G. 2008. Steam Pretreatment of H_2SO_4 -impregnated Salix for The Production of Bioetanol. Biosource Technology 99 : 137-145
- Setiawati, D.R., Anastasia R.S dan Tri K.D. 2013. Proses Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang Kepok, Jurnal Teknik Kimia, Vol. 19 (1), 9-15.
- Singh, A., Punita S., Alok, K. S., Namita S., and Narasi R. B. 2013. Comparative study on ethanol production from preated sugarcane bagasse using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on various matrices . Renewable Energy 50: 488-493.
- Singh, D. P and Rakesh K. T. 2013. Production of Biofuel from Algae : An Economic and Eco-Friendly Resource. International Journal of science and Research, 2 (11) : 352-357
- Sootsuwan, K., Thanonkeo, P., Keeratrakha, N., Thanonkeo, S., Jaisil, P., and Yamada, M., 2013. "Sorbitol required for cell growth and ethanol production by *Zymomonas mobilis* under heat, ethanol and osmotic stress. Biotechnology for Biofuels, Vol 6: p. 180.
- Sulfahri, Siti M., Renia S U dan Eko S. 2011. Pemanfaatan *Spirogyra* sebagai bahan Baku Bioetanol dengan Penambahan Enzim α -Amilase. Jurnal Purifikasi, 12 (1) : 9-16
- Sulfahri. 2012. Optimalisasi Biokonversi Hasil Hidrolisis Alga *Spirogyra hyaline* Menjadi Etanol Menggunakan *Zymomonas moobilis* Dan *Saccharomyces cerevisiae*. Thesis. Departemen Biologi Fakultas Sainsa dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Sulfahri., D R Husain., Kasbawati., A C M Tassaka., Nurfadilah., D P Wulandari and W L Taufan. 2019. Bioethanol production from algae *Spirogyra peipingensis* using *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kudriavzevii* and *Kluyveromyces thermotolerans*. Journal of Physics, 1341 (2) : 1-7
- Sulfahri., M Amin., S B. Sumitro., dan M Saptasari. 2016. Bioetanol production from algae *Spirogyra hyaline* using *Zymomonas mobilis*. BIOFUELS, 7 (6) : 621-626
- Sulfahri., S. Muslihah., E. Sunarto., M. Y. Irvansyah., R. S. Utami dan S. Mangkoedihardji. 2011. Ethanol Production from Algae *Spirogyra* with

- Fermentation by *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae*. J. Basic. Appl. Sci. Res., 1(7)589-593
- Susmiati, Y., D. Setyaningsih dan TY. C. Sunarti. 2011. Rekayasa Proses Hidrolisis Pati dan Serat Ubi Kayu (*Manihot utilissima*) Untuk Produksi Bioetanol. AGRITECH, 31 (4): 384-390
- Takano, T., Sumio H., Hisato I, Ryo M., Masanobu K., Fumio T and Hisayoshi N. 2019. "Identification of 13 *Spirogyra* species (Zygnemataceae) by traits of sexual reproduction induced under laboratory culture conditions," Scientific Reports, 9(1), hal. 1–11.
- Taufan, W. L. 2018. Optimalisasi Produksi Biosugar Dari Alga Laut *Kappaphycus alvarezii* Melalui Proses Hidrolisis Secara Enzimatis dan Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* InaCC Y595. Skripsi. Universitas Makassar. Makassar.
- Usmana, A. S., Sapta R., dan Novia. 2012. Pengaruh Volume Enzim dan Waktu fermentasi Terhadap kadar Etanol (Bahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Pretreatment Alkali. Jurnal teknik Kimia, 2(18) : 9 hal.
- Van de Poel, B. 2016 "Transcriptome profiling of the green alga *Spirogyra pratensis* (Charophyta) suggests an ancestral..." Plant Physiology, hal. 705– 720.
- Vogel, V and Bregmann P.2017. Culture of *Spirogyra* sp. in a flat-panel airlift photobioreactor. Biotech. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1026-9>
- Wells, RDS., Hall JA., Clayton JS., Champion PD., Payne GW and Hofstra DE. 1999. The rise and fall of water net (*Hydrodictyon reticulum*) in New Zealand. J Aquat Plant Manage, 37: 49-55
- Wibowo, A. H., Lailatul M and Adhitasari S. 2013. The Fermentation of Green Algae (*Spirogyra majuscula* Kuetz) using immobilization technique of Ca-Alginate for *Saccharomyces cerevisiae* entrapment. Indo. J. Chem, 13 (1): 7-13.
- Wijaya, SH. 2014. Pertumbuhan biomassa *Spirogyra* sp. sebagai organism biofilter dalam sistem akuakultur resirkulasi. Jurnal Ilmu Perikanan Tropis, 20 (1): 16-24
- Wiratmaja, I.G. 2011. Proses Fermentasi Limbah Rumput Laut *Eucheuma cottoni* Sebagai tahap Awal Pembuatan Etanol Generasi Kedua. Thesis. Universitas Udayana. Denpasar. 132 hal.
- Yang, S., J. T. Timothy., L. E. Nancy., L. C. Sue., L. M. Stanton, H. D. Brian, V. P. Anthony, R. Miguel, and D. B. Steven. 2009. Transcriptomic and metabolomic profiling of *Zymomonas mobilis* during aerobic and

anaerobic fermentations. Journal of Biomedical Central Genomics, 10 (34) 1-16.

Yudoamijoyo, M., A. A. Darwis dan E. G. Sa'id. 1992. Teknologi Fermentasi. Penerbit Rajawali Press dengan Pusat ANtar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor. Jakarta.

Zelvi, M., A. Suryani dan D. Setyaningsih. 2017. Hidrolisis *Eucheumma cottonii* Dengan Enzim K-Karaganse Dalam Menghasilkan Gula Reduksi Untuk Produksi Bioetanol. Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 27 (1): 33-42.