



**NERACA MASSA PADA PRA-RANCANG PABRIK
BIOETANOL DARI MIKROALGA (*Chlamydomonas reinhardtii*)
DENGAN PROSES *SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION
AND FERMENTATION* (SSF) KAPASITAS 8.800 KL/TAHUN**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

**Adityo Nurcahyo
5213415018**

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Adityo Nurcahyo

NIM : 5213415018

Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Judul TA : Neraca Massa Pada Pra-Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) Dengan Proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) Dengan Kapasitas 8.800 kL/Tahun

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 17 September 2019

Pembimbing,



Dr. Megawati, S.T., M.T.

NIP. 197211062006042001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Neraca Massa Pada Pra-Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) Dengan Proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) Dengan Kapasitas 8.800 kL/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 26 bulan 09 tahun 2019.

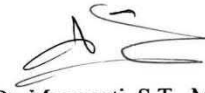
Oleh:

Nama : Adityo Nurcahyo
NIM : 5213415018
Program Studi : S-1 Teknik Kimia
Ketua Panitia

Sekretaris



Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.
NIP. 197309082006042001



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 19721106200604200

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Dr. Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 17 September 2019

Yang membuat pernyataan,



Adityo Nurcahyo

NIM. 5213415018

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Sesungguhnya Allah SWT tidak akan merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri” (Q.S.Ar-Ra’d : 11)

“Dan bahwasannya manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya“ (Q.S An-Najm : 39)

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT.
2. Kedua Orang Tua.
3. Dosen-dosenku.
4. Kawan-kawanku
5. Almamaterku.

ABSTRAK

Adityo Nurcahyo. 2019. Neraca Massa Pada Pra-Rancang Pabrik Bioetanol Dari Mikroalga Dengan Proses *Simultaneous Saccharification And Fermentation* (SSF) Kapasitas 8.800 Kl/Tahun. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Megawati, S.T., M.T.

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pra-rancangan pabrik bioetanol dari mikroalga dengan proses *Simultaneous Saccharification And Fermentation* (SSF) Kapasitas 8.800 Kl/Tahun ini dimaksudkan untuk alternatif bahan bakar minyak (BBM). Lokasi pendirian pabrik bioethanol ini direncanakan didirikan di Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Bahan baku berupa mikroalga yang merupakan bahan baku ideal karena mengandung biomassa yang tinggi dan penggunaan lahan yang lebih sedikit dibandingkan tanaman pertanian. Mikroalga yang digunakan yaitu *Chlamydomonas reinhardtii* yang diperoleh dengan kultivasi menggunakan *Open pond*. Pabrik direncanakan beroperasi 24 jam/hari dan 330 hari/tahun. Bentuk badan usaha pabrik bioetanol ini adalah Perseroan Terbatas (PT) yang berstruktur line and staff dengan kebutuhan karyawan sebanyak 178 orang. Pabrik ini beroperasi secara *semi batch*.

Proses pembuatan bioetanol dilakukan dengan 4 tahapan yaitu tahap perlakuan awal, hidrolisis enzimatis (likuifikasi, dan sakarifikasi), fermentasi, dan distilasi. Untuk mengurangi biaya produksi maka waktu reaksi dan waktu tinggal harus diminimalkan. Oleh karena itu, digunakan proses dengan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Pemurnian bioetanol ini dilakukan dengan proses distilasi, karena campuran etanol dan air membentuk titik azeotrop sehingga dilakukan pemurnian lanjut dengan menggunakan *membran pervaporasi*. Larutan bioetanol yang dihasilkan memiliki kadar 99,5%.

Kebutuhan unit pendukung proses atau utilitas yang diperlukan pada pendirian pabrik adalah air baku (*raw water*) sebanyak 152,218 m³/jam dari pengolahan air sungai. Kebutuhan *steam* sebanyak 12121,814 kg/jam dan kebutuhan bahan bakar sebesar 99,3899 L/jam. Kebutuhan listrik sebesar 689,1408 kW dan kebutuhan udara tekan sebanyak 75,183 kg/jam.

Dari analisis ekonomi diperoleh perhitungan:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= USD 594.532.798
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= USD 11.473.417
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 33,01 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 10,36 %
<i>Return On Investment after taxes</i>	(ROI)	= 32%
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT)	= 2,45 tahun.
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 34,45 %

Hasil studi kelayakan teknik dan ekonomi menyatakan bahwa pabrik bioetanol ini layak untuk dikaji lebih lanjut karena menguntungkan dan memiliki masa depan yang baik.

Kata Kunci : Neraca Massa, Mikroalga, SSF, Bioetanol.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Karena dengan rahmat dan hidayah-Nya serta partisipasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Neraca Massa Pada Pra-Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) dengan Proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) Kapasitas 8.800 kL/Tahun”. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Megawati S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir.
3. Dr. Astrilia Damayanti S.T., M.T., selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
4. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Kedua Orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
6. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2015

Penulis juga menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan tugas akhir ini.

Semarang, 26 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
PERSETUJUAN PEMIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mikroalga <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	6
2.2 Bioetanol	7
2.3 Proses Produksi Bioetanol.....	9
2.4 Neraca Massa.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.3 Prosedur Kerja.....	23
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Kapasitas Produksi	26
4.2 Bahan Baku dan Produk	26
4.3 Neraca Massa.....	27
4.4 <i>Process Flow Diagram</i>	42
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	43
V.1 Simpulan.....	43
V.1 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kandungan Pati Mikroalga Untuk Produksi Bioetanol.....	2
Tabel 2.1	Kandungan Mikroalga <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	7
Tabel 2.2	Kelebihan dan Kekurangan Metode Hidrolisis.....	13
Tabel 2.3	Kelebihan dan Kekurangan Metode SHF dan SSF.....	16
Tabel 2.4	Kelebihan dan Kekurangan Metode Dehidrasi	20
Tabel 4.1	Komponen Bahan Baku dan Produk.....	26
Tabel 4.2	Kandungan <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> Basis Kering.....	27
Tabel 4.3	Neraca Massa di Unit <i>Belt Filter</i>	28
Tabel 4.4	Neraca Massa di Unit <i>Dryer</i>	29
Tabel 4.5	Neraca Massa di Unit <i>Size Reduction</i>	30
Tabel 4.6	Neraca Massa di Unit <i>Screening</i>	31
Tabel 4.7	Neraca Massa di Unit Likuifikasi Primer.....	32
Tabel 4.8	Neraca Massa di Unit Likuifikasi Sekunder.....	33
Tabel 4.9	Neraca Massa di Unit Pemiakan <i>Yeast</i>	34
Tabel 4.10	Neraca Massa di Unit SSF	36
Tabel 4.11	Neraca Massa di Unit Filtrasi	37
Tabel 4.12	Neraca Massa di Unit Distilasi I	38
Tabel 4.13	Neraca Massa di Unit Distilasi II	39
Tabel 4.14	Neraca Massa di Unit Membran	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Neraca Massa	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Neraca Massa	25
Gambar 4.1	<i>Process Flow Diagram</i>	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi adalah salah satu parameter penting yang efektif dalam pembangunan sosial dan ekonomi suatu negara. Salah satunya berasal dari bahan bakar fosil yang menjadi bahan bakar utama untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Penggunaan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui secara konsumtif akan menyebabkan penipisan sumber daya alam dan lonjakan harga yang cukup mahal. Selain tidak dapat diperbaharui, bahan bakar fosil mengakibatkan dampak negatif pada ekosistem karena emisi gas polutan. Dengan demikian, diperlukan upaya pencarian energi alternatif terbarukan yang mampu memasok kebutuhan energi dalam negeri yang ramah lingkungan (Atmoko *et al.*, 2014).

Perkembangan energi terbarukan sangat diperlukan agar mampu memenuhi pasokan kebutuhan BBM. Salah satu cara adalah dalam pembuatan bioetanol sebagai bahan bakar nabati. Bioetanol adalah etanol yang berasal dari biomassa terutama yang mengandung glukosa dan selulosa (Matsuri *et al.*, 2017). Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar baik dalam bentuk murni maupun sebagai campuran premium (Prasetyo dan Patriayudha, 2009). Sebagai campuran premium, bioetanol memiliki beberapa keunggulan diantaranya berfungsi sebagai aditif yang dapat meningkatkan angka atau bilangan oktan yang berakibat pada peningkatan mutu bahan bakar, sehingga meningkatkan daya saing, memiliki kandungan oksigen yang tinggi yang dapat meningkatkan kinerja mesin kendaraan karena pembakaran yang terjadi lebih optimal, dan memiliki akselerasi dan tenaga

HP (*Horse Power*) yang lebih tinggi (Suarna, 2012). Mikroalga menjadi alternatif bahan baku pembuatan bioetanol setelah komoditas nira, singkong, atau sorgum yang lebih dahulu dikenal (Putnarubun *et al.*, 2018). Indonesia sebagai negara maritim yang beriklim tropis memiliki keragaman mikroalga dan potensi yang besar dalam perkembangbiakannya. Sehingga mikroalga adalah bahan baku yang ideal dalam pembuatan bioetanol.

Mikroalga merupakan bahan baku ideal karena menghasilkan biomassa yang tinggi dan tidak bersaing dengan tanaman pertanian untuk sumber daya lahan dan air. Banyak spesies mikroalga yang dapat tumbuh di air laut, air asin, dan bahkan air limbah kota (Perez *et al.*, 2018). Berikut merupakan kandungan pati berbagai jenis mikroalga,

Tabel 1.1. Kandungan Pati Mikroalga untuk Produksi Bioetanol

Jenis Alga	% Pati (g/berat kering)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	45
<i>Chlorella vulgaris</i>	37
<i>Chlorella sp.</i>	21,5
<i>Scenedesmus sp.</i>	20,4
<i>Nostoc sp.</i>	32,9
<i>Oscillatoria sp.</i>	19,3
<i>Synechococcus sp.</i>	15
<i>Chlorococcum sp.</i>	26
<i>N. marculiforme</i>	30,1
<i>Oscillatoria sp.</i>	19,3

(John *et al.*, 2011)

Penentuan mikroalga sebagai bahan baku pembuatan bioetanol harus melalui berbagai pertimbangan diantaranya kandungan pati, kecepatan

pertumbuhan, dan kemampuan beradaptasi mikroalga. Dari beberapa pertimbangan tersebut maka digunakan mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* sebagai bahan baku utama pembuatan bioetanol karena memiliki kandungan pati paling tinggi diantara jenis alga lain, dapat hidup di air tawar maupun air limbah dan memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi (Suyono, 2010).

Studi neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni: massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui. Pada penelitian ini akan dikaji lebih lanjut yang berkonsentrasi pada proses dan perhitungan neraca massa pada pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF).

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* merupakan jenis mikroalga yang memiliki kandungan berat kering (%) pati terbesar diantara jenis mikroalga lainnya. Sehingga sangat berpotensi sebagai bahan baku pembuatan bioetanol skala industri.

2. Dehidrasi etanol pada pabrik direncanakan menggunakan membrane pervaporasi yang dapat memurnikan konsentrasi dari 95% menjadi 99,5% (*Fuel Grade Ethanol*)
3. Perhitungan neraca massa sangat diperlukan dalam pra-rancang pabrik bioetanol.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian diperlukan pembatasan masalah agar permasalahan tidak meluas.

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bioetanol dibuat menggunakan bahan baku mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF).
2. Studi neraca massa pra-rancang pabrik saja yang akan dibahas pada penelitian ini.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF) ?
2. Bagaimana perhitungan neraca massa pada pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF)?

1.5. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan antara lain:

1. Mempelajari proses pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF).
2. Mempelajari perhitungan neraca massa pada pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF).

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi:

1. Lingkungan dan masyarakat
 - Memberikan wawasan proses pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF)
 - Memberikan wawasan perhitungan neraca massa pada pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF)
2. Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK)
 - Turut memberikan kontribusi pada perkembangan informasi mengenai proses pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii*

Mikroalga adalah organisme yang mampu menangkap dan memanfaatkan energi matahari, dan CO₂ untuk berfotosintesis (Ondrey, 2008). Mikroalga termasuk dalam organisme berukuran renik, baik bersel tunggal maupun koloni yang hidup diseluruh wilayah perairan air tawar dan laut, lazim disebut fitoplankton. Organisme ini dinilai ideal dan potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku produksi bioenergi. Dilihat dari sudut nutrisi, mikroalga merupakan sumber mikro nutrien, vitamin, minyak dan elemen mikro untuk komunitas perairan. Namun, sebagian mikroalga dapat mencemari dan menurunkan kualitas air. Hal ini dikarenakan mikroalga dapat menimbulkan rasa, bau yang tidak sedap, menurunkan pH, menyebabkan warna air menjadi kekeruhan (Kasrina *et al.*, 2012).

Bahan baku pabrik bioetanol yang akan dibangun adalah mikroalga jenis *Chlamydomonas reinhardtii* yang merupakan salah satu mikroalga jenis alga hijau, *Chlamydomonas reinhardtii* bersel tunggal dengan diameter 10 µm, memiliki dua flagela yang hidup dalam tanah, air yang tercemar dan air tawar. Kondisi optimum pertumbuhan *Chlamydomonas reinhardtii* yaitu pada suhu 28°C (Vitova *et al.*, 2011) dan pH 6,7 (Dhaliwal *et al.*, 2018).

Chlamydomonas reinhardtii merupakan mikroorganisme fotoautotrof, yaitu memiliki kemampuan membuat makanan dengan memanfaatkan cahaya matahari dan CO₂ kemudian menyimpan polisakarida terutama pati dalam dinding sel berlapis (Markina, 2014). Menurut penelitian yang dilakukan Choi *et al.*, (2010)

Chlamydomonas reinhardtii memiliki kandungan karbohidrat 59,7% dengan jumlah pati 45 % berat kering. Komposisi dari *Chlamydomonas reinhardtii* dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan *Chlamydomonas reinhardtii*

Komponen	Komposisi berat kering (% w/w)
Protein	9,2 ± 0,6
Total Karbohidrat	59,7 ± 0,5
Pati	43,6 ± 1,4
<i>D-Glucose</i>	44,7 ± 0,8
<i>L-Fucose</i>	0,4 ± 0,01
<i>L-Rhamnose</i>	0,9 ± 0,02
<i>D-Arabinose</i>	1,9 ± 0,04
<i>D-Galactose</i>	2,7 ± 0,04
<i>D-Mannose</i>	1,4 ± 0,03
<i>Others</i>	31,1

(Choi *et al.*, 2010; John *et al.*, 2011)

2.2 Bioetanol

Bioetanol adalah etanol atau etil alkohol (C₂H₅OH), berbentuk cair, bening tidak berwarna, *biodegradable*, dan tidak menyebabkan korosi, bioetanol dapat dibuat dengan proses termokimia (gasifikasi) dengan fermentasi gula menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Ragi *Saccharomyces cerevisiae* juga diketahui memiliki kemampuan melakukan fermentasi untuk memproduksi etanol (Mushlihah *et al.*, 2011). Secara teoritis, fermentasi glukosa akan menghasilkan etanol dan karbondioksida seperti pada persamaan reaksi berikut,



Secara umum bioetanol dapat digunakan sebagai bahan baku industri turunan alkohol dan campuran bahan bakar untuk kendaraan. *Grade* etanol yang dimanfaatkan harus disesuaikan dengan penggunaannya. Beberapa jenis etanol berdasarkan kandungan alkohol dan penggunaannya yang kita kenal yaitu:

1. Etanol untuk industri (90–94,9% v/v)
2. *Rectified etanol* (95–96,5% v/v)
3. Jenis etanol netral, aman untuk bahan minuman dan farmasi (96–99,5% v/v)
4. Etanol untuk bahan bakar (99,5–100% v/v)

(Nurdyastuti, 2006)

Berdasarkan penggunaan bahan baku, bioetanol diklasifikasikan menjadi 4 generasi, yaitu:

1. Generasi pertama, dari pati tanaman dan umbi-umbian
2. Generasi kedua, dari lignoselulosa limbah pertanian
3. Generasi ketiga, dari alga
4. Generasi keempat, dari biomassa yang telah mengalami modifikasi genetik

Penggunaan bahan baku generasi pertama untuk produksi bioetanol banyak dikaji ulang karena bersaing dengan kebutuhan pangan dan penggunaan lahan pertanian. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan menggunakan bahan baku generasi kedua yaitu lignoselulosa seperti limbah pertanian dan hutan (Aiman, 2014). Bahan baku generasi kedua memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan baku generasi pertama karena tidak bersaing dengan sumber makanan. Namun proses pemanenan, pemurnian dan berbagai kebutuhan pra-perlakuan membuat produksi kurang ekonomis. Alga yang merupakan generasi

ketiga untuk bioetanol dapat menjadi alternatif untuk bahan baku generasi pertama dan kedua karena kemampuan produktivitasnya tinggi, mudah dikultur dan waktu panen yang cepat. Sedangkan bioetanol generasi keempat masih dalam tahap penelitian (Özçimen dan Inan, 2015).

2.3 Proses Produksi Bioetanol

Produksi bioetanol dibuat dengan bahan baku yang mengandung pati, kemudian dilakukan proses konversi pati menjadi glukosa dan difermentasi menjadi alkohol (Nurdyastuti, 2006).

Secara umum terdapat ada 4 tahapan pembuatan bioetanol yaitu:

1. Tahap pra perlakuan (*pretreatment*)
2. Likuifikasi
3. Sakarifikasi dan Fermentasi
4. Tahap Pemurnian

Berikut merupakan tahapan pembuatan bioethanol dari mikroalga :

a. Tahap pra perlakuan (*pretreatment*)

Pretreatment bertujuan untuk membuka struktur pati agar lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah pati menjadi monomer gula. *Pretreatment* memudahkan akses untuk enzim untuk meningkatkan hasil glukosa. Secara umum, teknologi pemisahan air pada proses pemanenan mikroalga terjadi beberapa tahapan. Pertama endapan mikroalga masih mengandung banyak air yang berbentuk *algae slurry* (lumpur alga) harus dikurangi kadar airnya menggunakan proses filtrasi hingga membentuk *slurry* alga. Kedua, alga yang telah berbentuk *slurry* melewati proses lanjut seperti pengeringan dan *size reduction* (Hadiyanto *et al.*, 2012).

b. Likuifikasi

Pada tahap likuifikasi terjadi terjadi proses hidrolisis yang merupakan dekomposisi kimia dengan menggunakan air untuk memisahkan ikatan kimia dengan substansinya. Reaksi hidrolisis pati merupakan reaksi pemecahan pati menjadi struktur gula yang lebih sederhana. Reaksi hidrolisis berlangsung lambat sehingga untuk mempercepat reaksi perlu menggunakan katalisator. Pada proses hidrolisa pati, katalisator yang biasa dipakai adalah katalis asam dan katalis enzim (Hasiholan, 2015).

- *Hidrolisis dengan asam*

Hidrolisis asam biasanya menggunakan asam-asam organik, seperti H_2SO_4 , HCl , dan HNO_3 . Penambahan asam dalam proses hidrolisis bertujuan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pemutusan rantai polisakarida menjadi glukosa. Proses hidrolisis menggunakan air berlangsung lambat sehingga waktu yang sangat lama (Muin dan Febriansyah., 2015). Penambahan asam klorida (HCl) dalam proses hidrolisis asam akan menghasilkan pati dengan struktur yang renggang agar air lebih mudah menguap saat proses pengeringan, sehingga dapat meningkatkan konversi etanol yang dihasilkan. Pati dengan struktur yang rapat akan lebih banyak mengikat air. Prinsip dasar hidrolisis adalah untuk memotong ikatan -1,4-glukosida dan ikatan -1,6-glukosida dari amilopektin sehingga menghasilkan pati yang ukurannya lebih kecil (glukosa) (Assegaf, 2009). Hidrolisis dapat dikelompokkan menjadi hidrolisis asam pekat dan asam encer (Ye Sun dan Cheng, 2002).

Proses hidrolisis dengan asam encer memiliki keterbatasan pada efisiensi *recovery* gula, yaitu hanya sebesar 50%. Hal ini dikarenakan pada proses

degradasi gula terjadi pembentukan produk yang tidak diinginkan seperti furfural yang merupakan bahan kimia yang digunakan dalam industri plastik. Furfural ini dapat mematikan mikroorganisme yang melakukan proses fermentasi. Keuntungan utama penggunaan asam encer adalah reaksinya yang cepat sehingga mempercepat proses berikutnya (Badger, 2002).

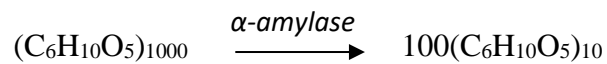
Proses hidrolisis asam pekat (*concentrated acid hydrolysis*) meliputi proses dekrystalisasi pati dengan asam pekat dan dilanjutkan dengan hidrolisis pati dengan asam encer. Tantangan utama dari teknologi ini adalah pemisahan gula dengan asam, *recovery* asam, dan rekonsentrasi asam (Scheper, 2010).

- *Hidrolisis dengan enzim*

Kerja enzim dapat mempercepat reaksi (katalis), enzim tidak diubah oleh reaksi yang dikatalisnya dan enzim tidak mengubah kedudukan normal dari keseimbangan kimia (Irawati, 2016). Dengan kata lain enzim dapat membantu mempercepat pembentukan produk, namun jumlah produk akhir tetap sama dengan produk yang diperoleh enzim. Kondisi yang mempengaruhi aktifitas enzim di antaranya konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, pH, dan suhu (Poedjiadi dan Supriyanti, 2006). *Alpha amylase* merupakan enzim yang berfungsi memecah pati atau glukogen. Senyawa *Alpha amylase* banyak terdapat pada tanaman dan hewan. *Amylase* dapat dikelompokkan menjadi 2 golongan enzim, yaitu:

- a. *α -amylase* (EA) yang memecahkan pati secara acak dari tengah atau dari bagian dalam molekul.
- b. *Glucoamylase* (EG) yang dapat memisahkan dekstroza dari terminal gula non pereduksi substrat pati (Winarno, 1995).

Hidrolisis enzim biasanya menggunakan bantuan enzim α -amylase dan enzim *glukoamylase* (*amyloglukosidase*). Enzim α -amylase digunakan pada proses likuifikasi, sedangkan *glukoamylase* digunakan pada proses sakarifikasi. Tujuan dari proses likuifikasi adalah untuk melarutkan pati secara sempurna, mencegah isomerisasi gugus pereduksi dari dekstrosa dan mempermudah kerja enzim α -amylase untuk menghidrolisis pati menjadi bentuk gula-gula sederhana (Judoamidjojo, 1992). Likuifikasi dilakukan pada suhu tinggi dengan pemanasan langsung umumnya 80-90° C (Batie *et al.*, 2008). Adapun reaksi likuifikasi sebagai berikut:



Hidrolisis enzim memberikan banyak keuntungan di antaranya yaitu menghasilkan konversi lebih besar dibandingkan dengan hidrolisis asam dan dapat mencegah adanya reaksi samping (Winarno, 1995). Kelebihan dan kekurangan hidrolisis kimiawi dan enzimatik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Hidrolisis

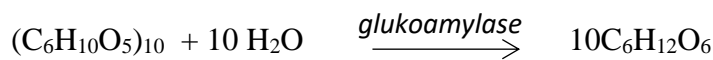
Metode Hidrolisis	Kelebihan	Kekurangan
Hidrolisis dengan asam	<ol style="list-style-type: none"> Harga bahan lebih murah Waktu hidrolisis lebih cepat 	<ol style="list-style-type: none"> Kemurnian produk rendah dan menghasilkan produk samping Membutuhkan Energi panas yang tinggi (75-135°C)
Hidrolisis Enzimatis	<ol style="list-style-type: none"> Reaksi selektif dan bekerja spesifik, sehingga kemurnian produk tinggi Ramah lingkungan 	<ol style="list-style-type: none"> Harga bahan lebih mahal Waktu hidrolisis lebih lambat

(Seftian *et al.*, 2012; Taherzadeh dan Karimi, 2008)

Dengan perbandingan tersebut, maka digunakan hidrolisis dengan enzim karena memiliki konversi yang lebih besar, tidak menyebabkan reaksi samping, bersifat spesifik, dan tidak bersifat korosi.

c. Sakarifikasi

Proses sakarifikasi merupakan proses hidrolisis dengan menggunakan enzim *Glukoamilase* untuk mengkonversi dekstrin menjadi glukosa, adapun reaksinya sebagai berikut:



Proses ini dilakukan dalam kondisi asam yang diatur dengan NaOH sebagai basa dan H₂SO₄ sebagai asam pada suhu 65° C (Hitz *et al.*, 2009)

d. Fermentasi

Fermentasi merupakan proses reaksi biokimia dimana gula dikonversi menjadi etanol dan karbondioksida sebagai produk samping. Fermentasi ini dilakukan oleh *Saccharomyces cerevisiae* karena memiliki daya konversi menjadi etanol yang tinggi, metabolismenya sudah diketahui, metabolit utama berupa etanol, karbondioksida, dan air dan sedikit menghasilkan metabolit lainnya (Fachry *et al.*, 2013). Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi sebagai berikut:



(Solikhin dan Bukhori, 2012)

Jenis-jenis Fermentasi

Terdapat 2 proses yang umum digunakan dalam produksi bioetanol diantaranya *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF) dan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) (Azhar *et al.*, 2017).

- *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF)

Hidrolisis dan fermentasi terpisah ini merupakan metode lama yang terdiri dari proses hidrolisis dan fermentasi selulosa yang dijalankan pada unit terpisah. Dengan SHF, dapat dihasilkan hidrolisis biomassa atau larutan gula setelah proses hidrolisisnya. Selanjutnya, larutan gula ini difermentasi pada tangki yang berbeda. Pada dasarnya, proses ini memungkinkan enzim beroperasi pada aktivitas optimal untuk menghasilkan lebih banyak substrat untuk fermentasi. Namun, SHF ini terdapat kelemahan yaitu glukosa yang dihasilkan dapat menghambat aktivitas α -*amylase* sehingga laju hidrolisis semakin berkurang (Balat *et al.*, 2008). Hal ini disebabkan karena kinerja α -*amylase* yang tidak optimal akibat terjadinya inhibisi enzim oleh akumulasi glukosa meskipun kandungan α -*amylase* dalam sistem cukup tinggi. Jika α -*amylase* terinhibisi maka proses likuifikasi akan terhenti meskipun belum semua pati yang tersedia diubah menjadi gula sederhana. Terjadinya inhibisi tersebut akan mempengaruhi jumlah bioetanol yang dihasilkan.

- *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF)

Proses SSF memiliki dasar yang sama dengan proses SHF namun pada metode SSF tahap hidrolisis dan tahap fermentasi berlangsung simultan dalam satu tangki. Metode ini dapat dijalankan dengan dua cara yaitu menggunakan campuran mikroorganisme biomassa sakarifikasi dan mikroorganisme fermentasi; menggunakan mikroorganisme yang telah direkayasa secara genetik yang dapat

melakukan kedua proses sakarifikasi dan fermentasi. Keuntungan dari proses SSF adalah polisakarida yang terkonversi menjadi monosakarida tidak kembali menjadi polisakarida karena monosakarida langsung difermentasi menjadi etanol (Samsuri *et al.*, 2007). Berikut perbandingan antara metode SSF dan SHF pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan Metode SHF dan SSF

Metode Fermentasi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Separated Hydrolysis and Fermentation (SHF)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiap proses dapat diproses pada kondisi optimal 2. Meminimalisasi interaksi tiap tahap 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Inhibitor</i> produk akhir menurunkan kadar etanol 2. Kemungkinan kontaminasi selama proses
<i>Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rendah Biaya 2. Hasil etanol tinggi karena penghilangan <i>inhibitor</i> proses sakarifikasi 3. Mengurangi jumlah reaktor yang digunakan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur optimum yang berbeda

(Deliana *et al.*, 2014)

Dari 2 jenis proses fermentasi pada pembuatan etanol, dipilih proses SSF dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Meningkatkan kecepatan hidrolisis dengan mengkonversi gula yang terbentuk dari hasil hidrolisis selulosa yang menghambat aktivitas enzim selulase.
- b. Mengurangi kebutuhan kondisi steril karena glukosa langsung dikonversi menjadi etanol.

- c. Volume reaktor lebih kecil karena hanya digunakan 1 reaktor.
- d. Mengurangi kebutuhan enzim.
- e. Meningkatkan rendemen produk.
- f. Waktu proses lebih singkat.

(Ye Sun dan Cheng, 2002)

e. Tahap Pemurnian

Pemurnian bioetanol dilakukan dengan memisahkan campuran etanol-air dengan proses distilasi. Istilah distilasi sederhana umumnya berkaitan dengan pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih cairan melalui pemanasan. Pemanasan dimaksudkan untuk menguapkan komponen-komponen yang lebih mudah menguap (titik didih lebih rendah). Uap yang diperoleh dikondensasi kembali menjadi cair dan kemudian ditampung dalam suatu bejana penerima. Pada tekanan 1 atm, etanol memiliki titik didih 78,29°C (Haynes, 2011) dan air 100°C sehingga dengan penguapan di atas 78,29°C etanol dapat dipisahkan dari campuran dengan kadar kemurnian maksimal sekitar 95% (Abdel-Rahman *et al.*, 2014; Griend, 2007)

Untuk memperoleh kandungan etanol dengan kadar >99% perlu dilakukan proses dehidrasi untuk menghilangkan kadar air dalam campuran, beberapa metode dehidrasi yang dapat digunakan yaitu:

1. *Azeotropic Distillation*

Distilasi azeotropik adalah proses distilasi dengan menambahkan komponen lain sebagai *entrainer* untuk mempengaruhi volatilitas komponen sehingga menghasilkan *azeotrope* baru. Beberapa *entrainer* dapat digunakan untuk proses

ini yaitu benzena, pentana, sikloheksana, heksana, heptana, isooktana, aseton, dan dietil eter (Kumar *et al.*, 2010).

Etanol dan air telah mencapai titik azeotrop, dengan etanol sebagai komponen utama, namun dengan kadar air 4-5%, penambahan benzena membentuk *ternary azeotrope* dengan etanol dan air yang memiliki titik didih lebih rendah sehingga air dapat dihilangkan, dan etanol murni diperoleh sebagai *bottom product* (Lee dan Wytcherley, 2000).

2. Adsorpsi *Molecular Sieve*

Adsorpsi merupakan peristiwa terkontakannya partikel padatan dan cairan pada kondisi tertentu sehingga sebagian cairan terjerap di permukaan padatan dan konsentrasi cairan yang tidak terjerap mengalami perubahan (Putro dan Ardhiany, 2010). *Molecular sieve* adalah material sintetis yang memiliki pori-pori dengan ukuran yang sama persis dan seragam yang digunakan sebagai adsorben gas dan cairan. *Molecular sieve* berbeda dengan penyaring secara umum yang digunakan untuk menyaring molekul pada tingkatan tertentu (Khaidir, 2012).

Jenis *sieve* yang biasa digunakan pada pemurnian etanol adalah tipe 3A, pemilihan *sieve* ini spesifik untuk pemisahan molekul air yang memiliki diameter sebesar 2,75Å, sedangkan jenis adsorben yang umum digunakan sebagai *molecular sieve* adalah zeolit. Pemilihan zeolit sebagai adsorben karena ketersediaan zeolit yang melimpah, harga zeolit alam yang murah, dan tidak menyebabkan kontaminasi terhadap etanol yang dihasilkan setelah proses dehidrasi (Saidi, 2014).

3. Membran Pervaporasi

Istilah pervaporasi pertama kali dikenalkan oleh Kober (1917). Kober menemukan bahwa cairan didalam kantong koloid akan terevaporasi walaupun kantong dalam kondisi tertutup. Melalui penelitian lebih lanjut, akhirnya disimpulkan bahwa yang dikeluarkan oleh membran adalah uap air dari larutan. Pertimbangan memilih membran disesuaikan pada aplikasi penggunaan dan mekanisme perpindahan komponen dalam membran. Salah satu membran yang digunakan pada pervaporasi yaitu membran hidrofilik berupa *hydrophilic zeolite membrane* (Jyoti dkk, 2015).

Prinsip pemisahan dalam membran pervaporasi dengan memisahkan campuran cair dengan penguapan parsial melalui membran (tidak berpori atau berpori). Menurut Shao dan Huang dalam Sari (2011) pervaporasi dapat diaplikasikan untuk dehidrasi pelarut organik (seperti alkohol, eter, ester dan asam) dan penghilangan komponen larutan organik dari air. Metode ini umumnya dilakukan pada proses pemisahan senyawa azeotrop yang mempunyai titik didih yang hampir berdekatan. Pada proses pervaporasi, larutan akan bersentuhan dengan membran dan salah satu zat yang berasal dari larutan tersebut akan melewati membran sebagai titik-titik uap. Uap komponen yang lebih mudah terserap akan didinginkan melalui kondensor dan digerakkan secara vakum (Sari, 2011).

Tabel 2.4 Kelebihan dan Kekurangan Metode Dehidrasi

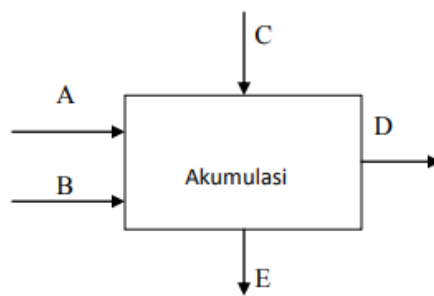
Metode Dehidrasi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Azeotropic Distillation</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memungkinkan pemisahan bahan kimia yang tidak bisa dipisahkan dengan distilasi konvensional 2. Meningkatkan nilai ekonomis dengan menghemat energi dan meningkatkan <i>recovery</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memerlukan diameter kolom yang lebih besar untuk kemungkinan peningkatan volume uap karena agen <i>azeotropic</i> 2. Sistem kontrol yang lebih kompleks
<i>Adsorpsi Molecular Sieve</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proses inert, karena tidak menggunakan bahan kimia tambahan yang memerlukan penanganan tertentu yang dapat membahayakan para pekerja 2. Memiliki umur simpan yang lama 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memerlukan regenerasi secara berkala biasanya dengan pemanasan pada kondisi vakum dan pembersihan
Membran Pervaporasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak diperlukannya unsur kimia tambahan dalam prosesnya 2. Material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan sesuai kebutuhan 3. Temperatur operasional dan konsumsi energi rendah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selektifitas berbanding terbalik dengan fluks, semakin tinggi selektivitas biasanya fluks akan menurun

(Lee dan Wytcherley, 2000).

Dari Tabel 2.4 yang membandingkan proses dehidrasi campuran etanol-air maka dipilih metode dehidrasi dengan membran pervaporasi yang ditimbang dari beberapa pertimbangan yaitu proses pemisahan yang dapat dilakukan secara kontinyu, teknologi yang steril sehingga tidak menimbulkan polusi, tidak diperlukannya unsur kimia tambahan dalam proses pervaporasi dan konsumsi energi yang rendah (Djana, 2017).

2.4 Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni: massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui. Persamaan neraca massa secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Diagram Neraca Massa

Persamaan neraca massa :

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}}$$

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, maka persamaan menjadi:

Massa masuk = massa yang keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E$$

Tahap-tahap menyelesaikan perhitungan neraca massa sebagai berikut:

1. Pilih atau tentukan basis perhitungan
2. Gambarkan diagram proses
3. Jika tidak terjadi reaksi kimia, penyelesaian perhitungan bukan didasarkan atas unsur yang ada tetapi atas dasar senyawa
4. Jika tidak melibatkan reaksi kimia, memakai satuan massa dan jika ada reaksi kimia memakai satuan mole.
5. Jika terjadi reaksi kimia dihitung atas dasar unsur
6. Jumlah persamaan neraca massa yang dibuat adalah jumlah besaran yang tidak diketahui tidak boleh melebihi jumlah persamaan neraca massa independen.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kapasitas produksi pada pra-rancang pabrik bioetanol dari mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* dengan proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF) sebesar 8.800 kL/tahun, waktu operasi 330 hari, kapasitas produksi setiap hari sebesar 111,111 L/jam dengan kebutuhan mikroalga sebanyak 4.592,282 kg/jam.
2. Spesifikasi bahan baku yang digunakan adalah mikroalga jenis *Chlamydomonas reinhardtii* (basis kering) dan air dengan spesifikasi produk yang akan dihasilkan adalah bioethanol dengan konsentrasi 99,5% (*fuel grade ethanol*) dan produk samping berupa DDGS..
3. Perhitungan neraca massa yang dilakukan meliputi unit *belt filter*, unit *dryer*, unit *size reduction*, unit *screening*, unit likuifikasi primer dan sekunder, unit pembiakan *yeast*, unit SSF, unit filtrasi, unit menara distilasi 1 dan 2, dan unit membran.

5.2 Saran

1. Diperlukan basis perhitungan yang relevan supaya hasil perhitungan yang dilakukan optimal.
2. Digram alir proses sangat diperlukan pada penelitian ini.
3. Ketelitian dalam melakukan perhitungan sangat diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Rahman, Z.A., A.M. Mahmood dan A.J. Ali. 2014. Ethanol-Water Separation by Pressure Swing Adsorption (PSA). *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*. 5(2): 1-7.
- Aiman, S. 2014. Perkembangan Teknologi dan Tantangan Dalam Riset Bioetanol di Indonesia. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*. ISSN 2527-7669.16(2): 108-117.
- Atmoko, W.P., D. Widjanarko dan Pramono. 2014. Pengaruh Temperatur pada Proses Transesterifikasi Terhadap Karakteristik Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Journal of Mechanical Engineering Learning*. 3(1)
- Assegaf, F. 2009. Prospek Produksi Bioetanol Bonggol Pisang (*Musa paradisiacal*) Mengguakan Metode Hidrolisis Asam dan Enzimatis. Skripsi. Universitas Jendral Soedirman: Purwokerto.
- Azhar, S.H.M.,R. Abdulla, S.A. Jambo, H. Marbawi, J.A. Gansau, A.A.M. Faik dan K.F. Rodrigues. 2017. Yeasts in Sustainable Bioethanol Production: A Review. *Biochemistry and Biophysics Reports*.
- Badger, P.C. 2002. *Etanol from cellulose: A general review*. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.). Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press. Alexandria. VA. 17-21.
- Balat, M., H. Balat dan C. Oz. 2008. Progress in Bioethanol Processing. *Progress Energy Combustion Science*. 34: 551-573.
- Batie, C.J., G. Crabb, G.W. Aux, E.S. Cates, J.A. Dinwiddie, A.L. Silverstone, R. Quadt dan C.A. Miller. 2008. Process for Starch Liquefaction and Fermentation. US Patent 0299256 A1
- Choi, S.P., M.T. Nguyen, S.J. Sim. 2010. Enzymatic Pretreatment of *Chlamydomonas reinhardtii* Biomass for Etanol Production. *Bioresource Technology*. 101: 5330-5336.
- Deliana, D., S.O. Tasum., E. Triwahyuni., M. Nurdin., dan H. Abimanyu. 2014. Comparison of SHF and SSF Processes Using Enzyme and Dry Yeast for Optimization of Bioethanol Production From Empty Fruit Bunch. *Energy Procedia* 68: 107-116.
- Derez, F.,J.W.G.C. Sadeleer, J. Ketsman dan L. Nataloni. 2014. Process for Starch Liquefaction. WO Patent 025872 A1
- Dhaliwal, G., T. Lee, D. Talwar, dan O. Wang. 2018. Effect of Varying pH Adjusted Media on the Growth Rate of *Chlamydomonas reinhardtii*. The Expedition. UBC.7.

- Emminger, F. 2015. Belt Dryer and Method for Dewatering Microalgae. EP Patent 3350525 A2
- Fachry, A.R., P. Astuti., dan T.G. Puspitasari. 2013. Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Tongkol Jagung Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida dan Waktu Fermentasi. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Fan, Q., dan L. I. Shiguang. 2009. Ethanol Sparation by a Mixed Matrix Membrane. US Patent 0236285 A1.
- Griend, D.L.V. 2007. Ethanol Distillation Process. US Patent 7297236 B1
- Hadiyanto, H., M.M.A. Nur dan G.D. Hartanto. 2012. Cultivation of Chlorella Sp as Biofuel Sources in Palm Oil Mill Effluent.(POME). *International Journal of Renewable Energy Development*. 1. (2): 45-49.
- Hasiholan, V, M. 2015. Hidrolisis Pati Enzimatis. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Haynes, W, M. 2011. *CRC Handbook of Chemistry and Physics (91st Edition)*. Boca Raton. FL:CRC Press Inc. Hlm 3-332.
- Hitz, D.W., T. Huang, A.K. Iverson, B.G. Lefebvre, C. Mitchinson. 2009. Process for Simultaneous Saccharification an Fermentation for Production of Ethanol. EP Patent 2516658 A2.
- Hoge, W. H., R. Tuccamirgan dan N. J. Flemington. 1982. Process for Making Ethanol and Fuel Product. US Patent 4.321.328.
- Irawati, R. 2006. Karakterisasi pH, Suhu, dan Konsentrasi Substrat pada Enzim Selulase Kasar yang Diproduksi oleh *Bacillus circulans*. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- James, F. S. 2012. Screening Theory and Practice. Minnesota: Triple/S Dynamics, Inc.
- John, R.P., G.S. Anisha, K.M. Nampoothiri dan A. Pandey. 2011. Micro and Macroalgae Biomass: A Renewable Source for Bioetanol. *Bioresource Technology*. 102: 186-193.
- Judoamidjojo. 1992. *Teknologi Fermentasi*. Edisi 1 cetakan 1. Jakarta: Rajawali Press.
- Kasrina., S. Irawati, dan W.E. Jayanti. 2012. Ragam Jenis Mikroalga di Air Rawa Kelurahan Bentiring Permai Kota Bengkulu Sebagai Alternatif Sumber Belajar Biologi SMA. *Jurnal Exacta*.10(1): 36-44.
- Khaidir. 2012. *Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi*. IPB Press. Jawa Barat.

- Kumar, S., N. Singh., dan R. Prasad. 2010. Anhydrous Ethanol: A Renewable Source of Energy. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14: 1830–1844.
- Lee, F, M dan R.W. Wytcherley. 2000. *Azeotropic Distillation*. GTC Technology Corporation. Houston, Texas, USA. Copyright : Academic Press.
- Markina, D. 2014. Effects of Culture Condition on The Photoautotrophic Growth and Biochemical Composition of *Clamydomonas reinhardtii*, as a Potential Source for Hydrogen Production. *Thesis*. Department of Plant Science. Faculty of Veterinary Medicine and Bioscience Norwegian University of Life Science. Norwegian
- Matsuri, A. Cristina, N. Istina, Sumarno dan P. Dwijayanti. 2017. Etanol Production from Fermentation of Arum Manis Mango Seeds (*Mangifera Indica L.*) Using *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 6(1): 56-60.
- Muin, R., I. Hakim., dan A. Febriansyah. 2015. Pengaruh Waktu Fementasi dan Konsentrasi Enzim Terhadap Kadar Bioetanol dalam Proses Fermentasi Nasi Aking sebagai Substrat Organik. Jurusan Kimia. Universitas Sriwijaya. Palembang. 21(3).
- Mushlihah, S., Sunarto, E., Irvansyah, M. Y., dan Utami, R. S. 2011. *Etanol Production from Algae Spirogyra with Fermentation by Zymomonas mobilis and Saccharomyces cerevisiae*. 1(7): 589–593.
- Nurdyastuti, I. 2006. Teknologi Proses Produksi Bioetanol . Prospek Pengembangan Biofuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak.
- Ondrey, G. 2008. Commercial production and debut of a new solid-acid catalyst for making biodiesel. *Chemical Engineering*. 1(2).
- Özçimen, D., dan İnan, B. 2015. An Overview of Bioetanol Production From Algae. *Biofuels*. Krzysztof Biernat. IntechOpen.
- Perez, C. M. T., I.G. Pajares, V.A. Alcantara, dan J.F. Simbahan. 2018. Bacterial Laminarinase for Application in Etanol Production From Brown Algae *Sargassum Sp.* Using Halotolerant Yeast. *Biofuel Research Journal*. 17: 792–797.
- Poedjiadi, A., dan Supriyanti, T.F.M. 2006. Dasar-Dasar Biokimia. Jakarta: UI-Press
- Prasetyo, D. B dan F. Patriayudha. 2009. Pemakaian Gasohol sebagai Bahan Bakar pada Kendaraan Bermotor. Teknik Kimia UNDIP. Semarang
- Putnarubun, C., W. Suratno, P. Adyaningsih dan H. Haerudin. 2018. Penelitian Pendahuluan Pembuatan Biodiesel dan Bioetanol dari *Chlorella sp.* secara

- Simultan. *Jurnal Sains MIPA*. 18(1): 1-6.
- Saidi, D. 2014. Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH Dengan Variasi. Fakultas Sains dan Teknologi. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri (UIN). Malang
- Samsuri, M., M. Gozan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijanarko, B. Prasetya dan M. Nasikin. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol melalui Sakarifikasi Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara, Teknologi*. 11 (1): 17-24.
- Sari, D.N., H. Setiyatwan dan Abun. 2016. Pengaruh Lama Fermentasi oleh *Bacillus licheniformis* Dilanjutkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* pada Limbah Udang Terhadap Kandungan Protein dan Glukosa Produk. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Seftian, D., F. Antonius dan M. Faizal. 2012. Pembuatan Etanol dari Kulit Pisang Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatik dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 18(1): 10-16.
- Suarna, E. 2012. Analisa Karakteristik Keunggulan Etanol sebagai Sumber Energi Alternatif pada Sektor Transportasi. Bidang Perencanaan Energi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta
- Suyono, E. A dan Mudasir. 2010. Potensi Algae sebagai Biofuel. Jurusan Kimia. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Taherzadeh, M.J., dan K. Karimi. 2008. Pretreatment of Lignocellulosic Waste to Improve Ethanol and Biogas Production : A Review. *International Journal of Molecular Science*. 9: 1621-1651.
- Vítová, M., K. Bišová., D. Umysová., M. Hlavová., S. Kawano., dan V. Zachleder. 2011. *Chlamydomonas reinhardtii*: Duration of Its Cell Cycle and Phases at Growth Rates Affected by Light Intensity. *Journal Planta*. 233: 75–86.
- Winarno, F.G. 1995. Enzim Pangan. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ye Sun., dan J. Cheng. 2002. Hydrolisis of Lignocellulosic Material Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technology*. 83: 1-11.