



SPEKIFIKASI REAKTOR *SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND FERMENTATION* (SSF) 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

**Erika Wijayanti
NIM. 5213415044**

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

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Erika Wijayanti

NIM : 5213415044

Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Judul TA : Spesifikasi Reaktor *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) pada Pra Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) dengan Proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) 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

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Spesifikasi Reaktor *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) pada Pra Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) dengan Proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) dengan Kapasitas 8.800 kL/Tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 24 bulan 09 tahun 2019.

Oleh:

Nama : Erika Wijayanti
NIM : 5213415044
Program Studi : S-1 Teknik Kimia
Ketua Panitia



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

Sekretaris



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

Penguji 1



Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 197603112000122001

Penguji 2



Rr. Dewi Artanti Putri, S.T., M.T.
NIP. 198711192014042002

Pembimbing



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

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



D. Nur Qudus, M.T. IPM.
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, 12 September 2019

Yang membuat pernyataan,

Erika Wijayanti



NIM. 5213415044

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Ojo rumongso biso, bisoho rumongso” Pepatah Jawa

PERSEMBAHAN

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

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 skripsi yang berjudul “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. Dewi Selvia Fardhyanti S.T., M.T., selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
4. Irene Nindita Pradnya, S.T., M.Sc., 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 pemulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan tugas akhir ini.

Semarang, 12 September 2019

Penulis

ABSTRAK

Wijayanti, Erika. 2019. berjudul “Spesifikasi Reaktor *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) pada Pra Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas reinhardtii*) dengan Proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) Kapasitas 8.800 kL/Tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
Dr. Megawati, S.T., M.T.

Bahan bakar minyak merupakan jenis bahan bakar yang tidak dapat diperbarui sehingga dalam beberapa tahun ke depan akan mengalami penurunan. Oleh karena itu perlu adanya sumber energi terbarukan, salah satunya adalah bahan bakar nabati (BBN) seperti bioetanol. Bioetanol adalah etanol yang berasal dari biomassa yang mengandung glukosa atau selulosa yang berfungsi meningkatkan nilai oktan apabila dicampur dengan premium. Bahan baku etanol berupa mikroalga karena mengandung pati yang tinggi sekitar 45% berat kering dan penggunaan lahan yang lebih sedikit dibandingkan tanaman pertanian. Mikroalga yang digunakan yaitu *Chlamydomonas reinhardtii* yang diperoleh dengan kultivasi menggunakan *Open pond*. Adapun proses dalam pembuatan bioetanol menggunakan proses *Saccharification And Fermentation* (SSF) dengan kapasitas 8.800 kl/tahun. *Saccharification And Fermentation* (SSF) merupakan proses hidrolisis dekstrin menjadi glukosa yang disebut proses sakarifikasi dan glukosa menjadi etanol atau disebut dengan proses fermentasi secara simultan pada satu tangki reaktor berpengaduk. Adapun kondisi operasi yang digunakan pada proses SSF adalah 40⁰C selama 63 jam. Proses sakarifikasi dilakukan dengan bantuan enzim glukamilase, sedangkan fermentasi menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Untuk mencapai kualitas etanol *fuel grade* harus melalui proses dehidrasi. Adapun rangkaian proses pembuatan etanol menggunakan proses SSF yaitu *pretreatment*, likuifikasi primer, likuifikasi sekunder, sakarifikasi dan fermentasi, distilasi, dan dehidrasi hingga dicapai kemurnian etanol 99,5% (*fuel grade*). Proses pembuatan bioetanol dihasilkan rancangan reaktor SSF yaitu reaktor memiliki volume 21,244 m³, tinggi 9,659 m, dan diameter 2,264 m. Sedangkan desain pengaduk yaitu memiliki 2 impeler; diameter impeler 0,762 m; jenis impeler *six-pithed blade turbine* 45^o; panjang agitator 9,405 m; dan memiliki *power* 5 HP.

Kata kunci: Bioetanol, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Simultaneous Saccharification and Fermentation*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Mikroalga (<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>)	6
2.2 Bioetanol	7
2.3 Pembuatan Bioetanol dengan Proses SSF	9
2.3.1 <i>Pretreatment</i>	9

2.3.2 Likuifikasi	9
2.3.3 Tahap <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>	10
2.3.4 Tahap Pemurnian dan Dehidrasi	11
2.4 Tinjauan Termodinamika	11
2.5 Tinjauan Kinetika.....	17
2.6 Metode <i>Runge-Kutta</i> Orde Empat	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Prosedur Kerja	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Perhitungan Kinetika Reaksi Reaktor SSF	21
4.2 Merancang Desain Reaktor dan Pengaduk	30
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Kandungan Chlamydomonas reinhardtii</i>	7
Tabel 2.2 Kontribusi Gugus Fungsi pada Pati $(C_6H_{10}O_5)_{1000}$	12
Tabel 2.3 Kontribusi Gugus Fungsi pada Dextrin $(C_6H_{10}O_5)_{10}$	12
Tabel 4.1 Komposisi <i>Feed</i> Masuk Reaktor.....	21
Tabel 4.2 Nilai Parameter dalam Penentuan Kinetika Reaksi Reaktor SSF....	23
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan <i>Runga-Kutta</i>	27
Tabel 4.4 Hasil Akhir Reaksi SSF	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Reaktor SSF	20
------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui secara konsumtif akan menyebabkan penipisan sumber daya alam dan lonjakan harga yang cukup mahal. Salah satu jenis bahan bakar fosil adalah premium/gasoline yang merupakan bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor, sehingga diperlukan upaya pencarian bahan bakar alternatif terbarukan yang ramah lingkungan (Atmoko *et al.*, 2014). Perkembangan bahan bakar terbarukan sangat diperlukan agar mampu memenuhi pasokan kebutuhan BBM. Salah satu bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat diaplikasikan untuk kendaraan bermotor adalah pembuatan bioetanol dari bahan nabati. Bioetanol adalah etanol yang berasal dari biomassa terutama yang mengandung glukosa dan selulosa (Matsuri *et al.*, 2017). 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). Selain sebagai bahan bakar alternatif, pembuatan bioetanol dari bahan nabati merupakan wujud dukungan terhadap upaya pemerintah dalam mencapai sasaran peningkatan

kapasitas Migas 2025 dengan target persentase kandungan bioetanol dalam BBM adalah 15% (Kementerian ESDM, 2010).

Bahan baku pembuatan bioetanol dapat berasal dari komoditas nira, singkong, sorgum dan jagung (Putnarubun *et al.*, 2018). Namun bahan baku tersebut bersaing dengan bahan pangan dan keberadaan lahan. Disamping itu Indonesia merupakan negara tropis yang cocok untuk keberlangsungan hidup mikroalga. Mikroalga merupakan bahan baku ideal karena menghasilkan biomassa yang tinggi dan tidak bersaing dengan bahan pangan, perluasan lahan untuk tanaman pertanian dan mudah dikultivasi karena mampu tumbuh pada perairan asin, tawar maupun air limbah (Perez *et al.*, 2018). Salah satu jenis mikroalga yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol *fuel grade* adalah jenis *Clamdomonas reinhardtii* karena memiliki kandungan pati paing tinggi yaitu 45% (w/w) dibanding dengan jenis lain, kecepatan pertumbuhan cepat yaitu 2 minggu, dan mudah beradaptasi pada media kultur air tawar maupun air limbah (Suyono, 2010; John *et al.*, 2011; Perez *et al.*, 2018). Adapun proses pengolahan mikroalga menjadi bioetanol yaitu dengan cara sakarifikasi dan fermentasi secara simultan atau metode SSF. Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) merupakan tahap hidrolisis polisakarida dengan bantuan enzim dan tahap fermentasi dengan bantuan yeast *Saccharomyces cerevisiae* yang berlangsung simultan dalam satu tangki reaktor, sehingga memiliki kinetika reaksi simultan yang dapat diselesaikan menggunakan metode perhitungan *Runge-Kutta* orde empat karena memiliki hasil yang lebih akurat dan efektif (Liu, 2013). Keuntungan

dari proses SSF adalah rendemen produk tinggi, kebutuhan enzim sedikit, lebih murah dan waktu proses singkat (Ye Sun dan Cheng, 2002; Samsuri *et al.*, 2007).

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian pra rancang pabrik bioetanol dengan judul “Pra-Rancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas Reinhardtii*) dengan Proses *Simultaneous Saccharification And Fermentation* (SSF) Kapasitas 8.800 kL/Tahun”.

1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui untuk mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil secara konsumtif dan lonjakan harga bahan bakar.
2. Reaktor SSF merupakan alat penting dalam proses pembuatan bioetanol untuk proses sakarifikasi dan fermentasi.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar permasalahan tidak meluas dan dapat dibahas secara mendalam pada penelitian ini, meliputi:

1. Bioetanol dibuat dari pati mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii*.
2. Proses hidrolisis dan fermentasi pada pembuatan bioetanol menggunakan metode SSF.

3. Kinetika reaksi dalam reaktor SSF diselesaikan menggunakan perhitungan *Runge-Kutta* orde empat.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dikemukakan rumusan masalah yang tepat sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan kinetika reaksi dalam reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun?
2. Bagaimana cara perancangan reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun?
3. Bagaimana cara perancangan sistem pengaduk reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perhitungan kinetika reaksi dalam reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun.
2. Mengetahui hasil perancangan reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun.
3. Mengetahui hasil perancangan sistem pengaduk reaktor SSF pada pabrik bioetanol kapasitas 8.800 kL/tahun.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

1. Bagi IPTEK

Memberikan kontribusi dan wawasan dibidang perancangan alat reaktor

SSF dalam industri kimia.

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 Pembuatan Bioetanol dengan Proses SSF

2.3.1. Pretreatment

Pemanenan mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii* yang telah dikultivasi dilakukan penyaringan menggunakan *horizontal belt vacuum filter* dan dikeringkan menggunakan *belt conveyor dryer* dengan bantuan *air heater* pada suhu 50°C (Emminger, 2015). Mikroalga kering yang siap digunakan akan melalui proses *size reduction* menggunakan *jet milling* dan *vibrating screen* yang akan menghasilkan bubuk mikroalga dengan ukuran kurang dari 10 µm (Coragliotti dan Franklin, 2010).

2.3.2. Likuifikasi

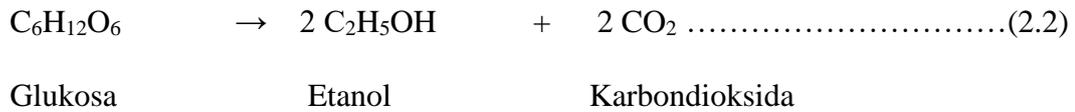
Proses likuifikasi bertujuan untuk memecah ikatan 1-4 glikosidik senyawa pati dalam mikroalga menjadi dekstrin dengan melibatkan enzim *α-amylase* (De Souza dan De Oliviera, 2010; Batie *et al.*, 2008). Proses likuifikasi terjadi dua tahap yaitu proses likuifikasi primer dan likuifikasi sekunder (Batie *et al.*, 2008). Tahap likuifikasi primer bertujuan untuk pemecahan pati dalam mikroalga menjadi dekstrin dengan tingkat DE (*dextrose equivalent*) = 5. Likuifikasi primer berlangsung pada suhu 80 °C selama 30 menit dengan pH 5,8 yang dikontrol menggunakan asam H₂SO₄ (Batie *et al.*, 2008; Derez *et al.*, 2014). Pada tahap likuifikasi primer, dibuat *slurry* mikroalga dengan konsentrasi 30-35% w/w dan ditambahkan enzim *thermostable acid α-amylase* 0,03% w/w (Derez *et al.*, 2014). Setelah proses likuifikasi primer selesai, campuran dialirkan ke *jet cooker* untuk

meningkatkan gelatinisasi dan viskositas *slurry*, dengan cara meningkatkan suhu secara cepat yaitu pada sekitar 115 °C agar *compatible* pada proses selanjutnya yaitu likuifikasi sekunder (Batie *et al.*, 2008; Derez *et al.*, 2014). Likuifikasi sekunder merupakan tahap lanjutan dari likuifikasi primer untuk mendapatkan DE sekitar 12 (Derez *et al.*, 2014). Konsentrasi *slurry* dipertahankan 30-35% dan penambahan enzim *α-amylase* 0,03% w/w untuk konversi etanol yang optimal (Batie *et al.*, 2008; Derez *et al.*, 2014). *Slurry* dipertahankan pada konsentrasi 30-35% w/w bertujuan agar *slurry* tidak terlalu kental (Batie *et al.*, 2008). Tangki likuifikasi sekunder beroperasi pada suhu 90°C selama 60 menit (Batie *et al.*, 2008).

2.3.3. Tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation*

Proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* memungkinkan terjadinya proses sakarifikasi dan fermentasi berlangsung secara simultan dalam satu tangki yang dilengkapi jaket pendingin dan agitator secara *batch* (Ahrens *et al.*, 2018). Proses SSF berlangsung hingga 120 jam pada suhu 40°C menggunakan enzim glukamilase dan ragi *Saccharomyces cerevisiae* (Pemberton *et al.*, 1978; Hitz *et al.*, 2009; Lantero *et al.*, 2011). Tingkat keasaman pada proses SSF dapat dipertahankan pada pH 4 dengan menambahkan H₂SO₄ (Batie *et al.*, 2008; Hitz *et al.*, 2009; Bharti dan Chauhan, 2016).

Pada tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation* konversi glukosa sebesar 90% (Batie *et al.*, 2008). Secara teoritis, glukosa yang diproduksi selama sakarifikasi akan dikonsumsi oleh bakteri *Saccharomyces cerevisiae* yang kemudian akan menghasilkan etanol dengan kadar 10-15% dan CO₂, sehingga pada proses fermentasi diperoleh persamaan reaksi sebagai berikut:



2.3.4. Tahap Pemurnian dan Dehidrasi

Distilasi merupakan proses pemisahan campuran etanol-air hingga diperoleh etanol dengan kadar 95%. Cairan hasil SSF yang telah difiltrasi masuk ke kolom distilasi pertama menghasilkan etanol dengan kemurnian 60%. Larutan etanol hasil *top column* distilasi tahap pertama dimurnikan pada kolom distilasi tahap dua kemurnian hingga kemurnian 95% dan dialirkan menuju tahap dehidrasi menggunakan membran pervaporasi pada suhu 75⁰C (Lee dan Wytcherley, 2000; Griend, 2007; Abdel-Rahman *et al.*, 2014). Membran yang digunakan adalah jenis *hydrophillic zeolite membrane* yang berperan sebagai kontaktor dan separator. Etanol yang mempunyai ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sebagai retentat dan air akan menembus membrane sebagai permeat (Mulder, 1991).

2.4 Tinjauan Termodinamika

Bahan baku utama yang akan digunakan memiliki rumus molekul panjang dan memiliki beberapa gugus fungsi, sehingga digunakan pendekatan rumus molekul yaitu dengan kontribusi gugus fungsi dengan Metode Joback pada Reid 1987. Perhitungan energi bebas gibbs (ΔG^0) standar dan panas reaksi pembentukan standar (ΔH^0_f) pati dan dextrin sebagai berikut:

Tabel 2.2. Kontribusi Gugus Fungsi pada Pati (C₆H₁₀O₅)₁₀₀₀

Gugus	ΔH^{0f}	ΔG^0	Jumlah gugus
-CH ₂ -	-26,8	-3,68	1.000
-CH-	8,67	40,99	5.000
-OH	-208,04	-189,2	3.002
-O- (ring)	-138,16	-98,22	1.000
-O- (non-ring)	-132,22	-105	999

(Reid, 1987)

$$\begin{aligned} \Delta G^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{1000} &= 53,88 + [(-3,68 \times 1.000) + (40,99 \times 5.000) + (-189,2 \times \\ &3.002) + (-98,22 \times 1.000) + (-105 \times 999)] \\ &= -569.770 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{0f} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{1000} &= 68,29 + [(-26,8 \times 1.000) + (8,67 \times 5.000) + (-208,04 \times \\ &3.002) + (-138,16 \times 1.000) + (-132,22 \times 999)] \\ &= -878.166 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Tabel 2.3. Kontribusi Gugus Fungsi pada Dextrin (C₆H₁₀O₅)₁₀

Gugus	ΔH^{0f}	ΔG^0	Jumlah gugus
-CH ₂ -	-26,8	-3,68	10
-CH-	8,67	40,99	50
-OH	-208,04	-189,2	32
-O- (ring)	-138,16	-98,22	10
-O- (non-ring)	-132,22	-105	9

(Sumber: Reid, C., Ed. 4th, 1987, hal. 155, Tabel 6.1)

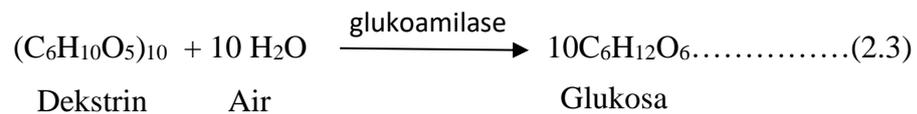
Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \Delta G^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} &= 53,88 + [(-3,68 \times 10) + (40,99 \times 50) + (-189,2 \times 32) + \\ &(-98,22 \times 10) + (-105 \times 9)] \\ &= -5.915,02 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{0f} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} &= 68,29 + [(-26,8 \times 10) + (8,67 \times 50) + (-208,04 \times 32) + \\ &(-138,16 \times 10) + (-132,22 \times 9)] \\ &= -8.995,07 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

1. Reaksi Sakarifikasi

Reaksi sakarifikasi berlangsung pada suhu 40°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi yaitu:



Dari pendekatan harga ΔG° untuk suatu senyawa pada $T = 298,15 \text{ K}$ dan $P = 1 \text{ atm}$ didapatkan:

$$\Delta G^\circ_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} = -5.915,02 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{298,15} (\text{H}_2\text{O}) = -237,14 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -910,56 \text{ kJ/mol}$$

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{\text{Sakarifikasi}} &= \Delta G^\circ_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - (\Delta G^\circ_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} + \Delta G^\circ_{298,15} \\
 &\quad (\text{H}_2\text{O})) \dots\dots\dots(2.4)
 \end{aligned}$$

$$= (10 \times -910,56) - (-5915,02 + (10 \times -237,14))$$

$$= -819,18 \text{ kJ/mol}$$

Dengan,

$$\Delta G^\circ = -819,18 \text{ kJ/mol}$$

Maka,

$$\ln K_{298,15} = \frac{-819,18}{-8,314 \times 298,15}$$

$$= 0,3305$$

$$K_{298,15} = 1,3916$$

Sehingga ΔG° pada suhu 40°C atau 313,15 K

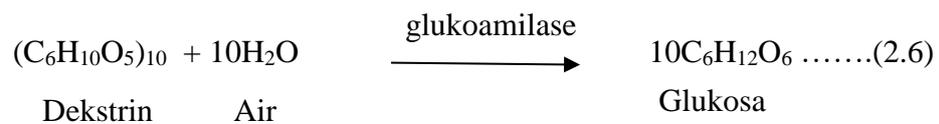
$$\Delta G^\circ_{338,15} = -R \times T \times \ln K \dots\dots\dots(2.5)$$

$$= -8,314 \text{ kJ/kmol K} \times 313,15 \text{ K} \times 0,3305$$

$$= -860,466 \text{ kJ/kmol}$$

Karena $\Delta G^{\circ}_{313,15}$ bernilai negatif maka reaksi dapat berlangsung.

Reaksi yang terjadi pada proses sakarifikasi adalah spontan:



Dari pendekatan harga ΔH_f untuk suatu senyawa pada $T = 298,15 \text{ K}$ dan $P = 1 \text{ atm}$ didapatkan:

$$\Delta H_{f,298,15} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} = -8.995,07 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{f,298,15} (\text{H}_2\text{O}) = -241,83 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{f,298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -1.271 \text{ kJ/mol}$$

(Perry, 1997)

Maka diperoleh nilai ΔH_f reaksi sakarifikasi:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f \text{ reaksi} &= \Delta H_{f,298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - (\Delta H_{f,298,15} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10}) + \Delta H_{f,298,15} \\
 &\quad (\text{H}_2\text{O}) \\
 &= (10 \times -1271) - (-8995,07 + (10 \times -241,83)) \\
 &= -1296,63 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Nilai ΔH_f reaksi sakarifikasi bernilai negatif sehingga dapat disimpulkan reaksi sakarifikasi ini merupakan reaksi eksotermis, Nilai K pada suhu reaksi 313,15 K dapat diperoleh dengan rumus:

$$\ln \frac{K}{K'} = \frac{\Delta H_{f,298,15}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan nilai K reaksi pada suhu 298,15 K sebesar 1,3916 maka,

Maka,

$$\ln K_{298,15} = \frac{-53,32}{-8,314 \times 298,15}$$

$$= 0,0215$$

$$K_{298,15} = 1,022$$

Sehingga ΔG° pada suhu 40°C atau 313,15 K:

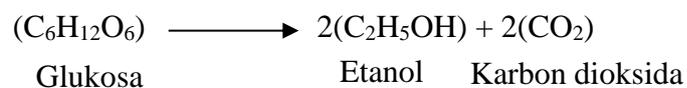
$$\Delta G^\circ_{313,15} = -R \times T \times \ln K$$

$$= -8,314 \text{ kJ/kmol K} \times 313,15 \text{ K} \times 0,0215$$

$$= -56,0384 \text{ kJ/kmol}$$

Karena $\Delta G^\circ_{313,15}$ bernilai negatif maka reaksi dapat berlangsung

Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi adalah:



Dari pendekatan harga ΔH_f untuk suatu senyawa pada $T = 298,15 \text{ K}$ dan P

$= 1 \text{ atm}$ didapatkan:

$$\Delta H_f_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -1.271 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f_{298,15} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = -277,6 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f_{298,15} (\text{CO}_2) = -393,51 \text{ kJ/mol}$$

(Perry, 1997)

Maka diperoleh nilai ΔH_f reaksi fermentasi:

$$\Delta H_f \text{ reaksi} = (\Delta H_f_{298,15} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + (\Delta H_f_{298,15} (\text{CO}_2))) - \Delta H_f_{298,15} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$$

$$= ((2 \times -277,6) + (2 \times -393,51)) - (-1271)$$

$$= -71,22 \text{ kJ/mol}$$

Nilai ΔH_f reaksi fermentasi bernilai negatif sehingga dapat disimpulkan reaksi fermentasi ini merupakan reaksi eksotermis.

Nilai K pada suhu reaksi 313,15 K dapat diperoleh dengan rumus:

$$\ln \frac{K}{K'} = \frac{\Delta H_f 298,15}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

Dengan nilai K reaksi pada suhu 298,15 K sebesar 1,022 maka,

$$\ln \frac{1,022}{K'} = \frac{-71,22}{8,314} \times \left(\frac{1}{298,15} - \frac{1}{313,15} \right)$$

$$K' = 1,023 \times 10^3$$

Diperoleh nilai K reaksi fermentasi pada suhu operasi 313,15 K sebesar $1,023 \times 10^3$. Nilai K pada reaksi fermentasi ini lebih besar dari 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi fermentasi ini bersifat *irreversible*.

2.5 Tinjauan Kinetika

Model kinetika reaksi untuk proses SSF pada pati mikroalga menjadi etanol menggunakan persamaan *Michalis-Menten* dan *Monod* dengan asumsi transfer massa *limit* dan variasi dalam struktur enzim diabaikan; etanol didapatkan sebagai produk utama, sedangkan produk samping lainnya tidak dipertimbangkan karena reaksi yang sangat kompleks; penghambatan substrat yang disebabkan oleh konsentrasi glukosa yang tinggi tidak dipertimbangkan. Sehingga dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

- Kecepatan reaksi degradasi dekstrin:

$$r_A = -\frac{dA}{dt} = V_m \frac{A}{k_M + A} \dots \dots \dots (2.10)$$

- Kecepatan pertumbuhan sel (*yeast*):

$$\frac{dY}{dt} = \mu_m \cdot \frac{C}{k_s + C} \cdot Y \dots \dots \dots (2.11)$$

- Kecepatan reaksi produksi etanol:

$$\frac{dE}{dt} = q_m \cdot \frac{C}{k_s + C} \cdot Y \dots \dots \dots (2.12)$$

- Kestimbangan glukosa:

$$\frac{dC}{dt} = r_{cf} - r_{cu} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$r_{cf} = 1,11$$

$$= 1,11 V_m \frac{A}{k_M + A}$$

$$r_{cu} = \frac{1}{Y_{p/s}} \cdot \frac{dE}{dt} + \frac{1}{Y_{Y/s}} \cdot \frac{dY}{dt} + m_s \cdot Y$$

2.6 Metode Runge-Kutta Orde Empat

Ada beberapa tipe metode *Runge-Kutta* yang tergantung pada nilai n yang digunakan. Untuk n = 4, yang disebut metode Runge Kutta orde empat. Rumus metode Runge-Kutta orde empat adalah seperti persamaan (2.14) berikut:

$$x_{i+1,j} = x_{ij} + \frac{1}{6} (b_{1j} + 2b_{2j} + 2b_{3j} + b_{4j}) + O(h^5), \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana :

$$b_{1j} = hf_j(t_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}), \dots \dots \dots (2.15)$$

$$b_{2j} = hf_j(t_i + \frac{h}{2}, x_{i1} + \frac{b_{11}}{2}, x_{i2} + \frac{b_{12}}{2}, \dots, x_{in} + \frac{b_{1n}}{2}), \dots \dots \dots (2.16)$$

$$b_{3j} = hf_j(t_i + \frac{h}{2}, x_{i1} + \frac{b_{21}}{2}, x_{i2} + \frac{b_{22}}{2}, \dots, x_{in} + \frac{b_{2n}}{2}), \dots \dots \dots (2.17)$$

$$b_{4j} = hf_j(t_i + h, x_{i1} + b_{31}, x_{i2} + b_{32}, \dots, x_{in} + b_{3n}) \dots \dots \dots (2.18)$$

(Liu , 2013)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perhitungan kinetika reaksi pembentukan etanol dalam reaktor SSF pada pabrik bioetanol terjadi selama 63 jam dan volume reaktor 21,244 m³.
2. Hasil perancangan reaktor SSF yaitu reaktor memiliki dimensi tinggi 9,659 m, dan diameter 2,264 m.
3. Hasil perancangan sistem pengaduk reaktor SSF yaitu memiliki 2 impeler; diameter impeler 0,762 m; jenis impeler *six-pithed blade turbine* 45°; panjang agitator 9,405 m; dan memiliki *power* 5 HP.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan variasi kondisi operasi untuk mengetahui hasil rancangan reaktor SSF.
2. Pastikan semua satuan sama dalam proses menghitung.

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.
- Ahrens, T., A. Crotteau, C. Maloney dan T. Viswanathan. 2018. Process and Method for Simultaneous Saccharification and Fermentation Using Microalgae. US Patent 0265900 A1.
- 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).
- 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
- Bhartie dan M. Chauca. 2016. Bioetanol Production Using *Saccharomyces cerevisiae* with Different Perspectives: Substrates, Growth Variables, Inhibitor Reduction and Immobilization. *Fermentation Technology*. 5: 2
- Brownell, Lloyd E, Young, Edwin H. 1959. *Process Equipment Design: Process Vessel Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Choi, S.P., M.T. Nguyen, S.J. Sim. 2010. Enzymatic Pretreatment of *Chlamydomonas reinhardtii* Biomass for Etanol Production. *Bioresource Technology*. 101: 5330-5336
- Coragliotti, A. dan S. Franklin. 2010. Microalgae Polysaccharide Compositions. WO Patent 111710 A1
- De Souza, P.M., dan P.M. De Oliveira. 2010. Application of Microbial *Alpha-Amylase* in Industry : A Review. *Brazilian Journal of Microbiology : Publication of Brazilian Society of Microbiology*.41: 850-861

- 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
- Geankopolis, C.J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. 3 rd ed, Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- Griend, D.L.V. 2007. Ethanol Distillation Process. US Patent 7297236 B1
- 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
- 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
- Joshi, M.V. 1976. Process Equipment Design. New Delhi.
- 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.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2010. *Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Tahun 2010-2014*. [https://www.esdm.go.id/assets /media/content/RENSTRA_KESDM_2010-2014_--_Final_280110.pdf](https://www.esdm.go.id/assets/media/content/RENSTRA_KESDM_2010-2014_--_Final_280110.pdf). 31 Oktober 2018 (10:33)
- Lantero, O.J., M. Li, Beloit, J.K. Shetty, P. Alto. 2011. Process for Conversion of Granular Starch to Etanol. US Patent 0223639.
- Lee, F, M dan R.W. Wytcherley. 2000. *Azeotropic Distillation*. GTC Technology Corporation. Houston, Texas, USA. Copyright : Academic Press.
- Liu, D., L. Xu, W. Xiong, H. T. Zhang, C.C. Lin, L. Jiang dan B. Xu. 2014. Fermentation Process Modeling with Levenberg-Marquardt Algorithm and Runge-Kutta Method on Ethanol Production by *Saccharomyces cerevisiae*.

- Mathematical Problems in Engineering. 2014: 1-10.
- 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.
- Mulder, M. 1996. Basic Principle of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- 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.
- 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.
- Pemberton, M. S., S. Kans, S. D. Crawford, I. Mo. 1978. Method Forethanol Fermentation. US Patent 4.224.410.
- Perry, Robert H. dan Dow W. Green. 2008. *Chemical Engineering HandBook*. 8th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- _____. 1997. “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”. 7 th ed. McGraw-Hill Book Co. New York.
- 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

- 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.
- Reid, R.C., J.M. Prausnitz dan B.E. Pouling. 1987. *The Properties of Gases and Liquids*. 4th Edition. McGraw-Hill. New York
- 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.
- Singh, S., I. Chakravarty, K. D. pandey dan S. Kundu. 2018. Development of A Process Model for Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) of Algal Starch to Third-Generation Bioethanol. *Biofuels*. 1-9.
- 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
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley dan Sons Inc.
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York
- Walas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York.
- Ye Sun., dan J. Cheng. 2002. Hydrolisis of Lignocellulosic Material Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technology*. 83: 1-11.