



# Pengaruh Iradiasi Gamma pada Konversi Biomassa Lignoselulosa Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol

Harum Azizah Darojati\*, Sugili Putra, Fahril Putera Zulprasetya

Jurusan Teknokimia Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Jl. Babarsari PO BOX 6101 ykbb, Ngentak, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia

\*E-mail: harum.darojati@sttn-batan.ac.id

## ABSTRAK

Sabut kelapa adalah salah satu limbah lignoselulosa yang dapat dikonversikan menjadi bioetanol. Konversi bioetanol pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu proses *pre-treatment*, proses *Saccharification and Simultaneous Fermentation* (SSF), dan proses pemurnian. Proses *pre-treatment* sebagai proses pemecahan ikatan lignoselulosa menjadi poin utama dalam proses konversi biomassa lignoselulosa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh iradiasi gamma terhadap pemecahan ikatan lignoselulosa pada proses *pre-treatment* tersebut. Proses iradiasi gamma divariasikan pada dosis sebesar 0 kGy, 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy, 250 kGy dan dilanjutkan *pre-treatment* secara kimia menggunakan NaOH 4%. Kemudian dilanjutkan proses pemurnian setelah proses SSF selama 72 jam. Kadar bioetanol yang diperoleh setelah proses pemurnian diukur menggunakan metode refraktometri dan piknometri. Pada penelitian ini diperoleh kadar bioetanol tertinggi pada dosis iradiasi gamma 200 kGy, yaitu 35,15% untuk metode refraktometri, dan 36,77% untuk metode piknometri. Hasil tersebut jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar bioetanol tanpa iradiasi gamma yaitu 2,45% untuk metode refraktometri, dan 6,92% untuk metode piknometri. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode *pre-treatment* dengan iradiasi gamma dapat menghasilkan kadar bioetanol yang lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan iradiasi gamma.

**Kata kunci:** Sabut kelapa, lignoselulosa, bioetanol, iradiasi gamma, SSF.

## ABSTRACT

Coconut husk is one of lignocellulosic wastes that can be converted into bioethanol. Bioethanol conversion in this study was carried out through several stages, namely the pre-treatment process, the Saccharification and Simultaneous Fermentation (SSF) process, and the purification process. The pre-treatment process as the process of breaking lignocellulosic bonds becomes the main point in the process of lignocellulosic biomass conversion. This research was conducted to determine the effect of gamma irradiation to breaking lignocellulosic bonds on the pre-treatment process. Gamma irradiation process was varied in doses of 0 kGy, 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy, 250 kGy and continued with chemical pre-treatment using 4% NaOH. Then the purification process was continued after the SSF process for 6 days. Bioethanol levels obtained after the purification process were measured using refractometry and picnometry methods. In this study, the highest levels of bioethanol were obtained at a gamma irradiation dose of 200 kGy, namely 34.93% for the refractometry method, and 26.67% for the picnometry method, respectively. These results are much higher when compared to bioethanol levels without gamma irradiation, which is 2.25% for the refractometry method, and 5.49% for the picnometry method, respectively. This study shows that the pre-treatment method with gamma irradiation can produce higher levels of bioethanol than without using gamma irradiation.

**Keywords:** Coconut husk, lignocellulosic, bioethanol, gamma irradiation, SSF.

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu limbah lignoselulosa yang mempunyai nilai cukup potensial untuk menjadi sumber alternatif bahan baku

bioetanol adalah sabut kelapa. Menurut Costa, dkk. (2016), sabut kelapa merupakan bahan yang memiliki kandungan

lignoselulosa [1] diantaranya seperti pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Kandungan Sabut Kelapa [2-6].

Senyawa	Persentase
Selulosa	26,60% - 43,44%
Hemiselulosa	17,74% - 38,00%
Lignin	32,80% - 45,84%
Air	5,25%
Abu	2,22%

Kandungan selulosa yang terdapat di dalam sabut kelapa berpotensi dapat digunakan sebagai sumber gula pereduksi melalui proses kimiawi atau enzimatis. Larutan gula yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi beberapa produk seperti alkohol, aseton, butanol, dan produk yang mempunyai nilai ekonomi tinggi [7].

Pada penelitian ini, pembuatan bioetanol terdiri atas 3 tahapan proses, yaitu :

1. Tahap *pre-treatment*
2. Tahap sakarifikasi dan fermentasi (*SSF*)
3. Tahap pemurnian

Proses *pre-treatment* iradiasi gamma sabut kelapa dengan dosis tertentu dapat membantu mempercepat degradasi lignoselulosa pada sabut kelapa dan bertujuan untuk memecah rantai panjang selulosa menjadi rantai sederhana sehingga membentuk glukosa [8].

Iradiasi gamma adalah sebuah perlakuan efektif untuk mendekomposisi struktur biomassa lignoselulosa menjadi konformasi amorf dan mendukung konversi karbohidrat molekul rendah dari selulosa [9]. Keunggulan teknologi radiasi adalah tidak menimbulkan kebutuhan daur ulang, residu/limbah, polusi ke lingkungan, serta tidak membutuhkan waktu lama, bahkan hanya beberapa jam saja. Selain itu, teknologi radiasi ini dapat dikombinasikan dengan proses lain secara fisik, kimia maupun biologi [10].

Interaksi radiasi gamma dengan biomassa lignoselulosa menyebabkan penurunan konstituen dinding sel atau men-

depolimerisasi dan menghilangkan serat [11]. Efek iradiasi utama pada hemiselulosa dan selulosa menyebabkan degradasi dengan pemisahan ikatan glikosidik dengan pembentukan berikutnya kelompok pereduksi, seperti gula pereduksi (glukosa). Iradiasi gamma mengakibatkan degradasi selulosa dan meningkatkan degradabilitas konstituen dinding sel [12,13].

Delignifikasi sabut kelapa dengan larutan basa kuat NaOH akan mendegradasi kandungan lignin yang ada pada sabut kelapa. Lignin merupakan lapisan terluar dari struktur lignoselulosa yang dapat menghambat proses sakarifikasi dan fermentasi dalam pembuatan bioetanol [14]. Delignifikasi NaOH dilakukan setelah iradiasi gamma untuk mencegah selulosa dan hemiselulosa larut dalam NaOH karena efek pemanasan pada dosis radiasi tinggi [14], yang dapat menyebabkan glukosa yang dihasilkan lebih sedikit dan mengakibatkan hasil bioetanol yang diperoleh lebih rendah.

Pada proses delignifikasi, lignin bereaksi dengan larutan NaOH yang terdisosiasi menjadi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Ion  $\text{OH}^-$  bereaksi dengan gugus H pada lignin kemudian membentuk  $\text{H}_2\text{O}$ . Hal ini menyebabkan gugus O membentuk radikal bebas dan reaktif dengan C membentuk cincin epoksi (C-O-C), sehingga menyebabkan serangkaian gugus melepaskan ikatan pada gugus O. Reaksi menghasilkan dua cincin benzene yang terpisah, dimana masing-masing cincin memiliki gugus O yang reaktif. Gugus O reaktif ini bereaksi dengan  $\text{Na}^+$  dan ikut larut dalam larutan basa sehingga lignin hilang apabila dibilas dengan air [15].

Proses *SSF* dilakukan yang merupakan proses kombinasi hidrolisis selulosa dengan fermentasi gula yang berkelanjutan sehingga menghasilkan produk akhir berupa etanol. Sakarifikasi atau hidrolisis merupakan proses penguraian selulosa menjadi monomer gula sederhana seperti glukosa [14]. Proses fermentasi memanfaatkan mikroorganisme yang merupakan jamur *Saccharomyces cereviceae* dari ragi tape

instan. *S. cereviceae* mempunyai aktivitas optimum pada suhu (30-34°C) dan tidak aktif pada suhu lebih dari 40°C [16].

Proses pemurnian etanol dilakukan dengan distilasi. Namun, sebelum distilasi perlu dilakukan pemisahan padatan-cairan, untuk menghindari terjadinya *clogging* (penyumbatan) selama proses distilasi. Bioetanol hasil proses fermentasi dipisahkan dengan cara disaring, kemudian filtrat didistilasi sehingga bioetanol yang dihasilkan terbebas dari kontaminan atau pengotor yang terbentuk selama proses fermentasi [17]. Distilasi dilakukan pada suhu 78-80°C, sehingga pada suhu tersebut etanol akan menguap dan uap etanol ditampung atau disalurkan melalui kondensor. Fase uap hasil distilasi yang mengalir melalui kondensor berubah menjadi fase cair dan ditampung dalam penampung distilat [8].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Operasi Teknik Kimia (OTK), laboratorium Kimia Radiasi, laboratorium Kimia Analisis, laboratorium Instrumentasi Kimia dan Irradiator Gamma STTN-BATAN Yogyakarta. Irradiator Gamma STTN-BATAN merupakan iradiator kategori I bermerek Ob-servo Ignis dari Hungaria yang menggunakan sumber radioaktif Co-60 dengan aktivitas sebesar 12 kiloCurie. Intensitas sinar radiasi ini ditunjukkan oleh dosis yang menggunakan satuan kilogray (kGy).

Pada radiasi Cobalt-60, Co-60 dimasukkan ke dalam tabung tertutup dari logam campuran untuk menghindari kebocoran sinar. Radiasi kemudian segera dipindahkan dari sumber tertutup dan kemudian menyinari biomassa lignoselulosa. Selanjutnya, energi dari radiasi gamma berpindah ke komponen-komponen biomassa melalui tumbukan radiasi dengan atom-atomnya. Energi yang sama masuk ke dalam atom-atom karbon, hidrogen, dan oksigen pada polimer biomassa. Tumbukan-tumbukan tersebut menghasilkan kehilangan

elektron pada atom-atom yang menyebabkan ionisasi. Ionisasi pada sebuah material dan kemudian menginisiasi reaksi-reaksi kimia dan memutus ikatan kimianya. Perubahan struktur biomassa terjadi akibat *cross-linking* dan pemotongan rantai molekuler dalam polimer lignoselulosa [18].

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap seperti persiapan bahan baku, perlakuan awal, SSF, dan analisis yang dijelaskan lebih lengkap dibawah ini.

### 2.1. PERSIAPAN BAHAN BAKU

Sabut kelapa yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT Puspa Agro Mojokerto. Sabut kelapa tersebut digiling, lalu diayak sehingga diperoleh sabut kelapa dengan kehalusan 40 mesh, kemudian dicuci dan dikeringkan.

### 2.2. PERLAKUAN AWAL

Serbuk sabut kelapa dikemas dalam plastik kemudian diiradiasi sinar gamma Co-60 pada dosis 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy, dan 250 kGy. Sampel hasil iradiasi kemudian ditambahkan larutan NaOH 4%, setelah itu disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Sampel tersebut kemudian dicuci dengan air sehingga pH netral.

### 2.3. SAKARIFIKASI FERMENTASI SIMULTAN (SSF)

Proses ini melibatkan Jamur *S. cerevisiae* yang terdapat pada ragi tape instan, dan enzim selulase (*cellic-ctec2*) dengan aktivitas 80 FPU. Nutrien medium proses ini dibuat dari campuran Urea dan NPK. Pada proses SSF, ditimbang sabut kelapa sebanyak 50 gram, lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer fermentasi, ditambahkan larutan buffer sitrat pH 6 sebanyak 10 mL dan nutrien (Urea 1 gr ; NPK 0,25 gr ; Air : 10 ml ), kemudian disterilkan menggunakan autoklaf. Setelah dingin, ditambahkan enzim selulase 2,1 mL. Selanjutnya, campuran tersebut ditempatkan dalam ruangan yang

bersih dan tanpa udara pada suhu 30°C selama 72 jam.

## 2.4. PEMURNIAN

Larutan hasil SSF dipisahkan dengan cara disaring, kemudian filtrat didistilasi pada suhu 78-80°C sehingga bioetanol yang dihasilkan terbebas dari kontaminan atau pengotor yang terbentuk selama proses tersebut. Selanjutnya, produk yang dihasilkan setelah proses distilasi diukur kadar bioetanol menggunakan metode piknometri dan refraktometri.

## 2.5. ANALISIS

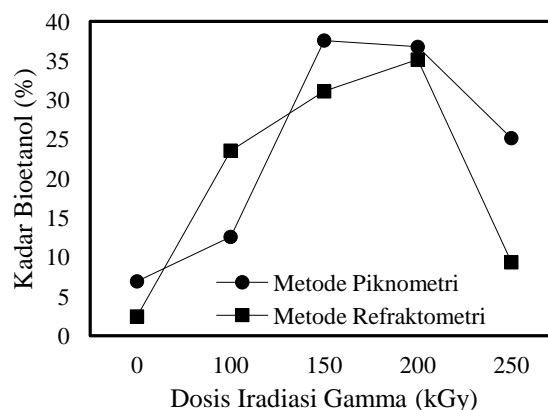
Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan untuk melihat perbedaan antara sabut kelapa dengan *pre-treatment* iradiasi gamma dan tanpa iradiasi gamma. FTIR merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Ukuran puncak (*peak*) data FTIR menggambarkan jumlah atau intensitas senyawa yang terdapat dalam sampel. FTIR menghasilkan data berupa grafik intensitas dan frekuensi. Intensitas menunjukkan tingkatan jumlah senyawa sedangkan frekuensi menunjukkan jenis senyawa yang terdapat dalam sebuah sampel.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh iradiasi gamma pada proses *pre-treatment* untuk pemecahan ikatan lignoselulosa sebagai langkah awal pembuatan bioetanol. Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dibagi dalam beberapa sub bab yang dijelaskan lebih lengkap dibawah ini.

### 3.1. PENGARUH DOSIS IRADIASI GAMMA TERHADAP KADAR BIOETANOL

Kadar bioetanol hasil penelitian ini diuji menggunakan metode refraktometri dan piknometri. Kadar bioetanol sesuai variasi dosis iradiasi ditunjukkan oleh Gambar 1.



**Gambar 1.** Pengaruh dosis iradiasi gamma terhadap kadar bioetanol.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar bioetanol tertinggi yang dihasilkan yaitu pada dosis iradiasi 200 kGy dengan kadar metode refraktometri dan piknometri berturut-turut yaitu 35,15% dan 36,77%. Iradiasi gamma pada selulosa menyebabkan degradasi dengan pemisahan ikatan glikosidik pada pembentukan gula pereduksi (glukosa). Degradasi tersebut terjadi karena iradiasi gamma melemahkan ikatan hidrogen intermolekul dan intramolekul pada tiap residu glukosa selulosa [13]. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pada pada dosis iradiasi 200 kGy selulosa terdegradasi dengan baik dan merubah selulosa dari awal struktur polisakarida terpecah menjadi monosakarida sehingga pada proses selanjutnya selulosa dapat terkonversi menjadi glukosa dan etanol.

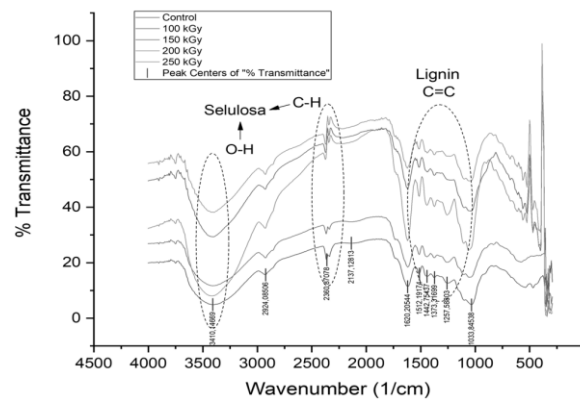
Namun pada dosis iradiasi 250 kGy kadar bioetanol mengalami penurunan menjadi 9,35% dan 25,15%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada dosis iradiasi 250 kGy kemungkinan selulosa mengalami kerusakan struktur sehingga pada proses selanjutnya selulosa tidak terkonversi menjadi glukosa dan etanol secara maksimal.

Sementara itu, bioetanol yang dihasilkan pada dosis 0 kGy (tanpa iradiasi gamma) memiliki kadar yang paling rendah yaitu 2,45% dan 6,92%, hal ini disebabkan karena tidak adanya *pre-treatment* iradiasi di awal

preparasi hanya *pre-treatment* secara kimia sehingga selulosa yang ada di dalam sabut kelapa tidak terpecah dan masih terikat kuat dengan lignin. Hal tersebut disebabkan sabut kelapa tanpa perlakuan awal masih belum mengalami degradasi dan mengandung hemiselulosa serta lignin yang menutupi selulosa, sehingga enzim sulit untuk mengakses dan menghidrolisis selulosa pada saat sakarifikasi dan fermentasi sehingga etanol yang dihasilkan tidak maksimal [11]. Namun pada dosis 100 kGy kadar bioetanol yang dihasilkan adalah 23,56% dan 12,58%, sehingga dalam hal ini proses iradiasi gamma dapat membantu memecah ikatan lignoselulosa dalam pembuatan bioetanol. Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa dosis iradiasi gamma berbanding lurus dengan kadar bioetanol yang diperoleh dari metode pengujian refraktometri. Grafik yang diperoleh menunjukkan semakin meningkatnya dosis iradiasi gamma semakin meningkat pula kadar bioetanol yang dihasilkan, akan tetapi dosis iradiasi gamma yang terlalu tinggi juga akan menurunkan kualitas dari sabut kelapa sebagai bahan baku sehingga kadar bioetanol yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Pengujian kadar bioetanol dengan metode piknometri maupun metode refraktometri dapat digunakan sebagai pengujian kadar bioetanol karena menunjukkan pola data yang sama hanya perbedaan sedikit angka yang tidak terlalu signifikan.

### 3.2. ANALISIS FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk melihat perbedaan antara *pre-treatment* dengan iradiasi gamma dan tanpa iradiasi gamma. Spektroskopi FTIR diperlukan untuk menunjang dalam pengevaluasian keberhasilan selulosa dengan memantau pengurangan intensitas gugus fungsi molekul lignin dan peningkatan intensitas molekul selulosa [19]. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Spectra FTIR *pre-treatment* iradiasi gamma dan *control* (tanpa iradiasi).

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan intensitas pada daerah serapan bilangan gelombang  $3410,14 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus hidroksil (O-H) dari selulosa menurut berbagai penelitian terdahulu dengan bahan yang sama yaitu biomassa lignoselulosa adanya gugus selulosa tersebut diperkuat dengan serapan yang terbaca berikutnya pada bilangan gelombang  $2924,08 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan ulur dari gugus C-H [19]. Gugus tersebut merupakan kerangka selulosa yang tampak pada bilangan gelombang  $2800 - 3000 \text{ cm}^{-1}$  [20]. Serapan tekuk gugus C-H yang terbaca pada bilangan gelombang  $2360,87 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya senyawa selulosa dan hemiselulosa.

Selulosa sendiri terdiri atas unit-unit glukosa. Bentuk dari glukosa merupakan gugus aromatik simetri C=C yang terbaca pada bilangan gelombang  $1620,20 \text{ cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang  $1257,58 \text{ cm}^{-1} - 1512,12 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan kehadiran gugus fungsi C= dari lignin [20,21]. Adanya gugus lignin diperkuat pada bilangan gelombang  $1033,84 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan area vibrasi C-O-C dimana gugus C-O-C merupakan struktur dari lignin yang menjadi penyusun kayu [20].

Berdasarkan hasil analisa spektrum FTIR dapat disimpulkan bahwa pada dosis 0 kGy dan 100 kGy tidak menunjukkan perubahan *peak* atau perbedaan *peak* yang muncul hanya bentuk *peak* yang sama dengan perbedaan intensitas. Hal ini berarti pada

dosis tersebut iradiasi gamma belum mencapai atau belum menembus kerangka selulosa untuk memecah ikatan selulosa, sedangkan pada dosis 150 kGy, 200 kGy dan 250 kGy menunjukkan adanya perbedaan peak yang muncul pada bilangan gelombang  $2360,86 \text{ cm}^{-1}$  dimana pada bilangan gelombang tersebut merupakan kerangka dari gugus fungsi selulosa (C-H). Hal ini berarti pada dosis tersebut iradiasi gamma telah berhasil menembus kerangka selulosa dan menyebabkan ikatan kuat dari selulosa melemah sehingga harapannya rantai panjang selulosa akan terputus dan membentuk rantai yang sederhana.

Berdasarkan hasil penelitian ini, teknologi perlakuan iradiasi gamma dapat membantu meningkatkan efisiensi proses *pre-treatment* untuk mencapai produk bioetanol yang lebih tinggi, jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa menggunakan bantuan iradiasi gamma.

Hasil penelitian ini juga dapat dibandingkan dengan penelitian yang sudah dilakukan dengan perlakuan sama (penambahan NaOH 4%) namun menggunakan teknologi iradiasi berkas elektron. Dalam penelitian oleh Sumarti dan Darsono (2014), proses *pre-treatment* tandan kosong kelapa sawit dengan teknologi iradiasi berkas elektron dengan variasi dosis 0 kGy, 100 kGy, dan 200 kGy [14]. Perbandingan penelitian tersebut dengan hasil pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan Kadar Bioetanol Iradiasi Berkas Elektron dan Iradiasi Gamma.

Dosis radiasi (kGy)	Kadar Bioetanol	
	Iradiasi Berkas Elektron [14]	Iradiasi Gamma (Penelitian ini)
0	0,19%	6,92%
100	0,22%	12,58%
200	0,19%	36,77%

Tabel 2 menunjukkan hasil kadar bioetanol tertinggi penelitian dengan iradiasi berkas

elektron didapatkan pada dosis 100 kGy dengan kadar 0,221%, sedangkan pada dosis 200 kGy kadar bioetanol yang didapatkan mengalami penurunan. Data tersebut menunjukkan iradiasi berkas elektron dosis tertentu memberikan dampak baik dalam proses awal pembuatan bioetanol dan menghasilkan kadar bioetanol yang cukup tinggi dibandingkan tanpa perlakuan iradiasi, sedangkan dosis iradiasi yang terlalu tinggi dapat merusak selulosa dan menurunkan kualitas produk bioetanol yang dihasilkan.

Selain itu, proses *pre-treatment* menggunakan iradiasi gamma menunjukkan kadar bioetanol yang lebih tinggi daripada iradiasi berkas elektron. Hal ini terjadi karena iradiasi gamma memiliki daya tembus yang lebih baik daripada iradiasi berkas elektron sehingga kekuatan dalam memecah ikatan lignoselulosa dan selulosa menjadi lebih baik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil penelitian menunjukkan kadar bioetanol yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi gamma. Kadar bioetanol tertinggi ditunjukkan pada dosis iradiasi 200 kGy, yaitu 35,15% untuk metode rrfaktometri dan 25,15% untuk metode piknometri. Namun pada dosis radiasi 250 kGy kadar bioetanol mengalami penurunan yaitu 9,35% dan 25,15%. Hal ini kemungkinan karena adanya degradasi selulosa pada dosis radiasi tinggi. Penelitian ini adalah penelitian pendahuluan, sehingga masih diperlukan banyak pengembangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Costa, I. Plazanet, Plant Cell Wall, A Challenge for Its Characterisation, *Biological Chemistry*, vol. 6, hal. 70–105, 2016.
- [2] S. Sukadarti, S. D. Kholisoh, H. Prasetyo, W. P. Santoso, T. Mursini, Produksi Gula Reduksi dari Sabut

- Kelapa Menggunakan Jamur *Trichoderma reesei*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”, Yogyakarta, Indonesia, 2010.
- [3] P. Vaithanomsat, W. Apiwatanapiwat, N. Chumchuent, W. Kongtud, S. Sundhrarajun, The Potential of Coconut Husk Utilization for Bioethanol Production, *Kasetsart Journal*, vol. 45, hal. 159–164, 2011.
- [4] D. A. Anggorowati, B. K. Dewi, Pembuatan Bioetanol dari Limbah Sabut Kelapa dengan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi dengan Menggunakan Ragi Tape, *Industri Inovatif*, vol. 3, no. 2, hal. 9-13, 2013.
- [5] A. M. Jannah, F. Asip, Bioethanol Production from Coconut Fiber using Alkaline Pretreatment and Acid Hydrolysis Method, *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 5, no. 5, hal. 320-322, 2015.
- [6] H. F. Sangian, A. Widjaja, The Effect of Alkaline Concentration on Coconut Husk Crystallinity and the Yield of Sugars Released, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 306, hal. 1-6, 2018.
- [7] A. A. Fajar, Biokonversi Lignoselulosa Limbah Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol Menggunakan *Trichoderma reesei*, *Zimomonas mobilis* dan *Pichia stipitis*, Skripsi, Departemen Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2014.
- [8] Z. Lei, H. Wang, R. Zhou, Z. Duan, Influence of Salt Added to Solvent on Extractive Distillation, *Chemical Engineering Journal*, vol. 43, no. 2, hal. 149-156, 2002.
- [9] Y. Xiang, Y. Xiang, L. Wang, Cobalt-60 gamma-ray irradiation pretreatment and sludge protein for enhancing enzymatic saccharification of hybrid poplar sawdust, *Bioresour. Technol.*, vol. 221, hal. 9–14, 2016.
- [10] S. Behera, R. Arora, N. Nandhagopal, S. Kumar, Importance of Chemical Pretreatment for Bioconversion of Lignocellulosic Biomass, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 36, hal. 91–106, 2014.
- [11] E.-H. Byun, J.-H. Kim, N.-Y. Sung, J.-i. Choi, S.-T. Lim, K.-H. Kim, H.-S. Yook, M.-W. Byun, J.-W. Lee, Effects of gamma irradiation on the physical and structural properties of  $\beta$ -glucan, *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 77, no. 6, hal. 781-786, 2008.
- [12] J.-i. Choi, H.-J. Kim, J.-H. Kim, M.-W. Byun, B. Soo Chun, D. Hyun Ahn, Y.-J. Hwang, D.-J. Kim, G. H. Kim, J.-W. Lee, Application of gamma irradiation for the enhanced physiological properties of polysaccharides from seaweeds, *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 67, no. 7, hal. 1277-1281, 2009.
- [13] R. S. Orozco, P. B. Hernandez, N. F. Ramirez, G. R. Morales, J. S. Luna, A. J. C. Montoya, Gamma Irradiation Induced Degradation of Orange Peels, *Energies*, vol. 5, hal. 3051-3063, 2012.
- [14] D. Darsono, M. Sumarti, Pembuatan Bioetanol dari Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Perlakuan Awal Iradiasi Berkas Elektron dan NaOH, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 36, no. 2, hal. 245–252, 2014.
- [15] Y. Sun, J. Cheng, Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 1, hal. 1-11, 2002.
- [17] P. Puligundla, D. Smogrovicova, V. S. R. Obulam, S. Ko, Very high gravity (VHG) ethanolic brewing and

- fermentation, *Journal of Industrial Microbiology*, vol. 38, hal. 1133-1144, 2011.
- [18] E. Betiku, T. V Ojumu, B. O. Solomon, A Comparative Study of The Hydrolysis of Gamma Irradiated Lignocelluloses, vol. 26, no. 2, hal. 251–255, 2009.
- [19] I. Mulyadi, Isolasi dan Karakterisasi Selulosa: Review, *Jurnal Saintika UNPAM*, vol. 1, No. 2, hal. 177-182, 2019.
- [20] J. R. Pangau, H. F. Sangian, B. M. Lumi, Karakterisasi Bahan Selulosa dengan Iradiasi *Pretreatment* Gelombang Mikro terhadap Serbuk Kayu Cempaka Wasian (*Elmerillia Ovalis*) di Sulawesi Utara, *Jurnal MIPA UNSRAT Online*, vol. 6, no. 1, hal. 53-58, 2017.
- [21] S. M. Nomanbhay, R. Hussain, K. Palanisamy, Microwave-Assisted Alkaline Pretreatment and Microwave Assisted Enzymatic Saccharification of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber for Enhanced Fermentable Sugar Yield, *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, vol. 3, hal. 7–17, 2013.