

# Pemanfaatan Limbah *Fiber Ex-Fibercyclone* dan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bioetanol dengan Menggunakan Bakteri *Zymomonas mobilis*

Indriana Lestari<sup>1</sup>; Debi Sendri<sup>2</sup>; Hanifah Nur Laili<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit

Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi – Bekasi

Email : <sup>1</sup>[indriana.lestari@cwe.ac.id](mailto:indriana.lestari@cwe.ac.id); <sup>2</sup>[debi.sendri@gmail.com](mailto:debi.sendri@gmail.com); <sup>3</sup>[hanifah.nl@gmail.com](mailto:hanifah.nl@gmail.com)

## Abstrak

Etanol berbahan biomassa berlignoselulosa merupakan salah satu teknologi produksi bahan bakar sebagai sumber EBT yang berkelanjutan, ramah lingkungan dan tidak bersaing dengan bahan pangan. *Fiber ex-fibercyclone* dan tandang kosong merupakan bahan berlignoselulosa yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit dalam jumlah yang tinggi. Penelitian mengenai pembuatan bioetanol dari *fiber ex-fibercyclone* dan tandang kosong kelapa sawit menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis* telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi limbah padat *fiber ex-fibercyclone* dan tandang kosong sebagai bahan baku etanol dan waktu fermentasi optimal untuk mendapatkan produksi etanol tertinggi. Sampel limbah melalui 3 tahapan proses, yaitu delignifikasi menggunakan NaOH 4%, dilanjutkan hidrolisis menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2% dan fermentasi hidrolisat menggunakan *Zymomonas mobilis* yang dilakukan selama 3, 4, 5 dan 6 hari. Hasil fermentasi dianalisis menggunakan refraktometer dan GC-FID. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah padat *fiber ex-fibercyclone* dan tandang kosong memiliki potensi untuk dijadikan bioetanol dengan menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis* dengan waktu fermentasi optimal selama 4 hari dan didapat *yield* etanol dari *fiber ex-fibercyclone* sebesar 60% (v/b) dan 82% (v/b) dari tandang kosong, sedangkan kadar etanol yang diukur dengan alat GC-FID masing-masing adalah 0,0346% dan 1,886%. Limbah tandang kosong menghasilkan etanol lebih besar dibandingkan dengan *fiber ex-fibercyclone*.

## Kata Kunci

Limbah padat kelapa sawit, Bioetanol, *Zymomonas mobilis*.

---

## Abstract

Ethanol made from berlignocellulose biomass is a technology for producing fuel as a new renewable energy source (NRE) that is sustainable, environmentally friendly and does not compete with foodstuffs. *Fiber ex-fibercyclone* and empty bunch is a lignocellulose material produced by palm oil mill with a large volume. Research on the manufacture of bioethanol from *ex-fibercyclone* and empty oil palm fiber using *Zymomonas mobilis* bacteria was carried out. The purpose of this study was to determine the potential of *fiber ex-fibercyclone* and empty bunch solid wastes as ethanol feedstock and optimal fermentation time to obtain the highest ethanol production. The waste samples went through 3 stages of the process, namely delignification using 4% NaOH, followed by hydrolysis using 2% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and hydrolyzate fermentation using *Zymomonas mobilis* which was carried out for 3, 4, 5 and 6 days. The fermentation result were analyzed using a refractometer and GC-FID. The results showed that *fiber ex-fibercyclone* and empty bunch solid waste had the potential to be made bioethanol using *Zymomonas mobilis* bacteria with optimal fermentation time for 4 days and obtained ethanol yield from *ex-fibercyclone* fiber by 60% (v/b) and 82% (v/b) of empty bunch, while ethanol level measured by GC-FID were 0.0346% and 1.886%, respectively. The empty bunch waste produces more ethanol than *ex-fibercyclone* fiber.

## Keywords

Solid waste palm oil, Bioethanol, *Zymomonas mobilis*.

## Pendahuluan

Lebih dari 90% kebutuhan energi Indonesia didominasi penggunaan energi berbahan fosil yang merupakan sumber daya alam tidak dapat diperbarui seperti, batu bara (24,5%), minyak bumi (49,7%) dan gas alam (20,1%) mengakibatkan kenaikan kontribusi emisi dari sektor energi, sehingga perlu diupayakan peningkatan kualitas lingkungan hidup dengan cara penggunaan energi bersih (Setjen DEN, 2014). Etanol dari biomassa/lignoselulosa merupakan salah satu teknologi (generasi kedua) untuk produksi bahan bakar sebagai sumber EBT berkelanjutan dan tidak menyaingi bahan pangan.

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan andalan pendapatan nasional dan devisa negara. Total luas lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia ditahun 2015 sebesar 11,3 juta ha dengan produksi CPO 31,1 juta ton per tahun (DITJENBUN, 2015). Tingginya aktivitas industri kelapa sawit menyebabkan naiknya jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah hasil pengolahan tandan buah segar kelapa sawit (TBS) dengan jumlah yang tinggi adalah tandan kosong dan *fiber ex-fibercyclone*, masing-masing sebesar 21% dan 13% terhadap TBS yang diolah. Tandan kosong dan *fiber ex-fibercyclone* mengandung bahan lignoselulosa, yang merupakan bahan utama produksi etanol. Lignoselulosa adalah komponen organik alam yang terdiri dari 3 polimer, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen bahan lignoselulosa bersifat kompleks, sehingga dalam penggunaannya sebagai substrat untuk produksi etanol, harus melalui beberapa tahapan, yaitu delignifikasi untuk melepas selulosa dan hemiselulosa dari ikatan kompleks lignin, hidrolisis atau depolimerisasi untuk mendapatkan gula bebas, dan fermentasi gula heksosa dan pentose menggunakan sel mikroorganisme untuk memproduksi bioetanol (Anindyawati, 2009).

Proses kimia menggunakan senyawa basa kuat merupakan metode delignifikasi yang paling umum digunakan, karena memiliki daya degradasi terhadap lignin yang kuat dan biaya yang rendah. Kelemahannya adalah terbentuknya garam saat proses, namun dapat diatasi dengan cara pencucian menggunakan air bersih. Senyawa basa kuat yang pada umumnya digunakan untuk delignifikasi adalah Natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi yang bervariasi pada suhu rendah dengan waktu delignifikasi yang lama (1 jam) (Muryanto *et al.*, 2016). Oleh karena itu pada penelitian ini akan digunakan NaOH 4% dengan suhu 121°C selama 30 menit. Depolimerisasi substrat hasil delignifikasi secara umum dilakukan menggunakan asam kuat, seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 2%. Penggunaan asam lebih ekonomis dibandingkan cara enzimatik.

Produksi etanol dari biomassa pada umumnya melalui proses fermentasi secara *batch* menggunakan sel mikroorganisme. *Zymomonas mobilis* adalah salah satu organisme yang digunakan untuk memproduksi etanol dalam skala yang besar, karena memiliki kelebihan, diantaranya tingginya kemampuan mengkonversi gula menjadi etanol, toleransi terhadap kadar etanol yang tinggi (120 g/L) dan tidak memerlukan

---

Indriana Lestari dkk

Pemanfaatan Limbah *Fiber Ex-Fibercyclone* dan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bioetanol dengan Menggunakan Bakteri *Zymomonas mobilis*

---

oksigen selama fermentasi (Nurhayati *et al.*, 2016). *Z. mobilis* memiliki produktivitas dan menghasilkan *yield* etanol lebih tinggi dibandingkan *Saccharomyces cerevisiae*, selain itu salah satu faktor yang menentukan keberhasilan produksi etanol adalah waktu fermentasi. Waktu yang singkat menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme tidak memadai, sehingga akhirnya fermentasi menjadi tidak efisien. Disisi lain, waktu fermentasi yang tinggi akan menyebabkan efek toksik pada pertumbuhan mikroba, karena tingginya konsentrasi etanol dalam sistem fermentasi (Zabed *et al.*, 2014).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui waktu fermentasi optimal limbah *fiber ex-fibercyclone* dan tandan kosong kelapa sawit menggunakan *Zymomonas mobilis* untuk dijadikan bioetanol. Selain itu jugsan untuk membandingkan perolehan hasil bioetanol dari *fiber ex-fibercyclone* dan tandan kosong kelapa sawit.

## Metodologi

Prosedur penelitian terdiri dari 3 tahap yaitu: *Pretreatment* limbah *fiber ex-fibercyclone* dan tandan kosong kelapa sawit berupa pengecilan ukuran dan proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH 4%, hidrolisis secara asam menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%, dan fermentasi. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif menggunakan 4 perlakuan dan 3 kali ulangan, sehingga terdapat 12 sampel. Parameter yang diamati adalah kadar etanol yang dihasilkan dari setiap perlakuan.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, *mesh* 100, timbangan analitik, erlenmeyer 250 ml, tutup erlenmeyer, *autoclave*, kertas saring, corong kaca, batang pengaduk, selang silikon 5 mm, *magnetic stirrer*, pH-meter, tabung reaksi, refraktometer, *syringe*. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan antara lain *fibre ex-fibrecyclone*, *aquadest*, NaOH 4%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%, dan *Zymomonas mobilis*.

Tahap pertama *pretreatment* : Sampel *fibre ex-fibrecyclone* dan janjang kosong dijemur selama 2 hari, kemudian di oven selama 48 jam pada suhu 75° C hingga persentase kandungan air ≤ 10%, setelah kering sampel digiling hingga berukuran 100 mesh. Masing-masing sampel secara terpisah ditimbang 10 g lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml dan ditambahkan sebanyak 60 ml larutan NaOH 4%. Mulut erlenmeyer ditutup rapat dengan karet sumbat lalu dipanaskan dalam *autoclave* bersuhu 121° C selama 60 menit, dan sampel didinginkan pada suhu kamar, kemudian sampel disaring untuk memisahkan lignin (filtrat) dan residu.

Tahap kedua hidrolisis: residu hasil *pretreatment* dihidrolisis menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 2% sebanyak 10 ml. Campuran selanjutnya dipanaskan dalam *autoclave* bersuhu 121°C selama 30 menit. Lalu sampel didinginkan pada suhu kamar.

Tahap ketiga fermentasi: Semua alat yang digunakan pada proses fermentasi disterilisasi dalam *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit agar tidak ada mikroba lain yang dapat mempengaruhi proses fermentasi. Sampel hasil hidrolisis (hidrolisat) diatur pH-nya hingga 5,

dengan cara menambahkan sedikit demi sedikit larutan NaOH 20%, karena pada kondisi ini *Zymomonas mobilis* dapat bekerja dengan baik. Selanjutnya tambahkan *Zymomonas mobilis* sebanyak 10% (v/v) dalam *laminal air flow*. Setelah itu tutup erlenmeyer 250 ml tersebut dengan sumbat karet yang bagian tengahnya diberi selang penghubung, dan sisi ujung selang yang lainnya di masukkan ke dalam air steril agar tidak terjadi kontak langsung dengan udara. Sampel difermentasikan selama 4, 5, 6 dan 7 hari dan diukur kadar etanol yang terbentuk menggunakan refraktrometer.

## Hasil dan Pembahasan

Kadar bioetanol yang diukur dengan menggunakan refraktrometer dan yield bioetanol yang dihasilkan dari fermentasi hidrat *fiber ex-fibercyclone* dan tandan kosong ditabulasi pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Kadar dan *Yield* Bioetanol yang Dihasilkan dari *Fiber Ex-fibercyclone*

Hari	No	Kadar Bioetanol (% v/v)			Rata-rata (%)	Yield (%v/w)
		1	2	3		
4	F.41	10	10	10	10	60
	F.42	11	11	11	11	66
	F.43	9	9	9	9	54
<b>Rata-rata</b>						<b>60</b>
5	F.51	9	9	9	9	54
	F.52	9	9	9	9	54
	F.53	8	8	8	8	48
<b>Rata-rata</b>						<b>52</b>
6	F.61	8,75	8,75	8,75	8,75	52,5
	F.62	8,75	8,75	8,75	8,75	52,5
	F.63	9,50	9,50	9,50	9,50	57
<b>Rata-rata</b>						<b>54</b>
7	F.71	8	8	8	8	48
	F.72	10	10	10	10	60
	F.73	10	10	10	10	60
<b>Rata-rata</b>						<b>56</b>

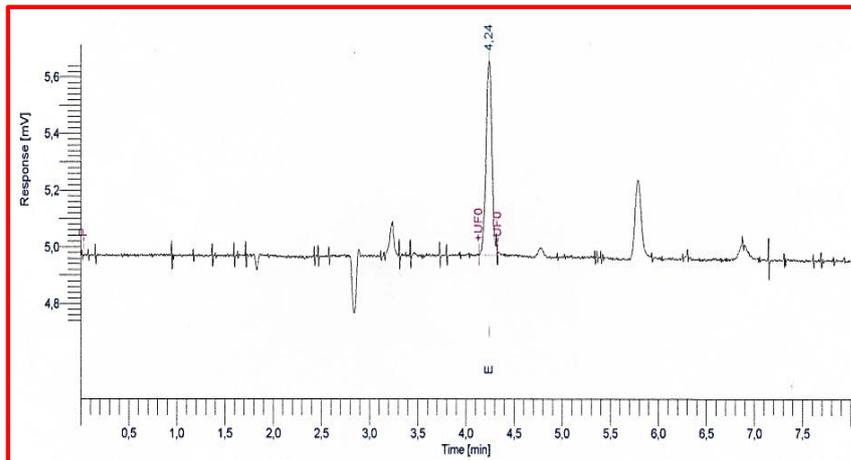
Tabel 2 Kadar dan *Yield* Bioetanol yang Dihasilkan dari Janjang Kosong

Hari	No	Kadar Bioetanol (% v/v)			Rata-rata (%)	Yield (%v/w)
		1	2	3		
4	J.41	16	16	16	16	96
	J.42	12	12	12	12	72
	J.43	13	13	13	13	78
<b>Rata-rata</b>						<b>82</b>
5	J.51	12,50	12,50	12,50	12,50	75
	J.52	11	11	11	11	66
	J.53	11,75	11,75	11,75	11,75	70,50
<b>Rata-rata</b>						<b>70,50</b>
6	J.61	12	12	12	12	72
	J.62	12,25	12,25	12,25	12,25	73,50
	J.63	12,75	12,75	12,75	12,75	76,50
<b>Rata-rata</b>						<b>74</b>
7	J.71	11	11	11	11	66
	J.72	12,50	12,50	12,50	12,50	75
	J.73	12,50	12,50	12,50	12,50	75
<b>Rata-rata</b>						<b>72</b>

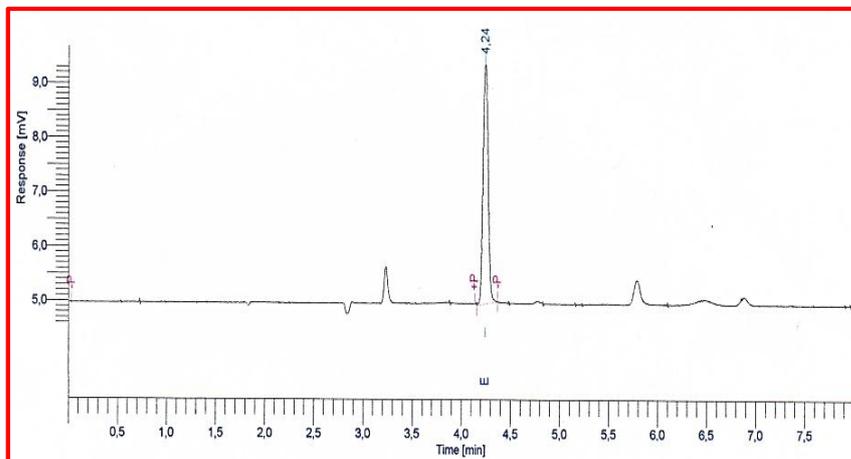
Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa baik *fiber ex-fibercyclone* maupun jangjang kosong, dapat dijadikan bahan baku bioetanol melalui proses fermentasi oleh bakteri *Zymomonas mobilis*. Kedua bahan tersebut mengandung selulosa dan hemiselulosa yang merupakan bahan utama fermentasi gula untuk memproduksi bioetanol. Melalui proses hidrolisis asam, selulosa dan hemiselulosa dikonversi menjadi gula (glukosa, fruktosa atau sukrosa), untuk selanjutnya difermentasi oleh *Zymomonas mobilis* menjadi bioetanol. Bakteri *Zymomonas mobilis* dapat menghasilkan etanol karena mampu menguraikan glukosa, fruktosa atau sukrosa sebagai sumber karbon melalui jalur metabolik *Entner Doudoroff* (Garrity, 2005) dalam Kusumaningati, *et al.* (2013).

Hasil tertinggi *yield* etanol baik berbahan baku *fiber ex-fibercyclone* maupun jangjang kosong dicapai pada fermentasi hari ke-4, dengan rata-rata *yield* bioetanol yang dihasilkan sebesar 60% terhadap massa *fiber ex-fibercyclone* dan 82% terhadap massa jangjang kosong. Hasil tertinggi diperoleh pada sampel F.42 dan J.41. Sedangkan hasil terendah diperoleh pada fermentasi hari ke-5 yaitu dengan perolehan rata-rata *yield* bioetanol sebesar 52% terhadap massa *fiber ex-fibercyclone* dan 70,5% terhadap massa jangjang kosong. Kedua hasil juga menunjukkan kadar etanol yang fluktuatif namun cenderung menurun setelah hari ke-4 fermentasi, hal ini diduga jumlah nutrisi dan substrat yang dibutuhkan untuk pembentukan etanol dalam media fermentasi telah berkurang. Selain itu setelah melewati titik optimumnya yakni pada hari ke-4, peningkatan kadar etanol yang naik seiring dengan waktu fermentasi yang semakin lama, diduga menghambat aktifitas *Zymomonas mobilis* untuk memproduksi etanol, sehingga kadar etanol menurun. Hal ini didukung pernyataan Maiti *et al.* (2011) bahwa berkurangnya produksi etanol setelah mencapai titik optimal produksi dapat disebabkan oleh berkurangnya substrat untuk memproduksi etanol dan adanya inhibisi fermentasi oleh etanol. Osman dan Ingram (1985) membuktikan bahwa penyebab inhibisi/penghambat dalam produksi etanol, diakibatkan dari mekanisme tindakan tidak langsung etanol pada proses fermentasi, dengan cara meningkatkan kebocoran membran plasma mikroorganisme, yang memungkinkan hilangnya kofaktor dan koenzim. Etanol diduga menurunkan efektivitas membrane plasma dapat melalui 3 cara yaitu mengubah sifat koligatif lingkungan, berinteraksi langsung dengan membran, atau mengubah sifat dielektrik lingkungan.

Jangjang kosong kelapa sawit menghasilkan bioetanol lebih besar dari *fiber ex-fibercyclone*, hal ini dikarenakan kandungan selulosa dan hemiselulosa pada jangjang kosong lebih besar dibandingkan dengan *fiber ex-fibercyclone*. Jangjang kosong mengandung 24-65% selulosa dan 21-34% hemiselulosa (Chang, 2014), sedangkan *fiber ex-fibercyclone* mengandung 28,2% selulosa dan 32,7% hemiselulosa (Megashah, *et al.*, 2018). Kadar bioetanol juga diukur dengan menggunakan GC-FID untuk memperkuat hasil, bahwa di dalam hasil fermentasi terdapat etanol. Hasil pengukuran ini dipresentasikan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Grafik Hasil Analisis GC-FID Kadar Bioetanol pada Sampel *Fiber Ex-fibercyclone*



Gambar 2 Grafik Hasil Analisis GC-FID Kadar Bioetanol pada Sampel Janjang Kosong

Gambar 1 menunjukkan kadar etanol pada sampel hasil fermentasi hidrolisat *fiber ex-fibercyclone* sebesar 0,0346% (v/v), sedangkan sampel hasil fermentasi hidrolisat janjang kosong menunjukkan angka yang jauh lebih besar yaitu 0,1886% (v/v). Perbedaan hasil yang cukup signifikan dibandingkan dengan Tabel 1 dan 2, dikarenakan waktu analisis yang berbeda. Saat pengujian dengan GC-FID fermentasi telah memasuki hari ke-17, dikarenakan gangguan teknis. Secara garis besar terjadi penurunan kadar etanol jauh dari titik optimalnya, hal ini selain berkurangnya nutrisi dan akumulasi etanol, juga dapat disebabkan karena etanol terdegradasi menjadi senyawa lain. Pernyataan ini diperkuat oleh Herawati, *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa, reaksi fermentasi selain membentuk bioetanol juga membentuk Asam asetat. Asam asetat merupakan asam karboksilat yang dapat bereaksi dengan alkohol membentuk senyawa ester, yang disebut esterifikasi fischer. Reaksi ini adalah reaksi reversibel, peningkatan kadar etanol akan menggeser reaksi ke kanan yaitu pembentukan ester, menyebabkan berkurangnya etanol dalam sistem.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa *Zymomonas mobilis* dapat memfermentasi substrat dari limbah padat pabrik kelapa sawit berupa janjang kosong dan *fiber ex-fibercyclone* menjadi bioetanol. Janjang kosong menghasilkan bioetanol lebih banyak dibandingkan dengan *fiber ex-fibercyclone*, karena memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang lebih tinggi. Semakin lama waktu fermentasi, kandungan bioetanol akan semakin berkurang yang diakibatkan adanya inhibisi oleh akumulasi etanol dalam sistem, yang berpotensi meningkatkan kebocoran membran plasma dan peningkatan etanol dalam sistem akan menggeser reaksi esterifikasi *fischer* ke arah kanan, sehingga jumlah etanol menurun.

## Daftar Pustaka

- Anindyawati, T. (2009). Prospek enzim dan limbah lignoselulosa untuk produksi bioetanol. *Jurnal Selulosa*, 44(1), 49-56.
- Chang, S.H. (2014). An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass & Bioenergy*, 62(1), 174-181.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2015). *Statistik Perkebunan Indonesia 2015 – 2016*. Jakarta: DITJENBUN.
- Herawati, D.A., Kusumawardhani, E., & Puspawati, N. (2016). Pemanfaatan limbah ampas pati aren menjadi bioetanol secara enzimatik metode konvensional dan SSF. *Simposium Nasional RAPI XV*, 37-45.
- Kusumaningati, M.A., Nurhatika, S., & Muhibuddin, A. (2013). Pengaruh konsentrasi inokulum bakteri *Zymomonas mobilis* dan lama fermentasi pada produksi etanol dari sampah sayur dan buah pasar wonokromo Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2), 218-223.
- Maiti, B., Rathore, A., Srivasta, S., Shekhawat, M., & Srivasta, P. (2011). Optimization of process parameter for ethanol production from sugar cane molasses by *Zymomonas mobilis* using response surface methodology and genetic algorithm. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(1), 385-395.
- Megashah, L.N., Ariffin, H., Zakaria, M.R., & Ando, Y. (2017). Characteristics of cellulose from oil palm mesocarp fibres extracted by multy-step pretreatment methods. *The wood an biofiber international conference : Materials science and engineering*, 368(1), 1-10.
- Muryanto, Sudiyan, Y., & Abimanyu, H. (2016). Optimasi proses perlakuan awal NaOH tandan kosong kelapa sawit untuk menjadi bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(1), 27-35.
- Nurhayati, Cheng, C.L., Nagarajan, D., & Chang, J.S. (2016). Immobilization of *zymomonas mobilis* with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-modified polyvinyl alcohol for continuous ethanol fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 114(1), 298-306.
- Osman, Y.A., & Ingram, L.O. 1985. Mechanism of ethanol inhibition of fermentation in *zymomonas mobilis* cp4. *Journal of Bacteriology*, 164(1), 173-180.

Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. (2014). *Laporan Dewan Energi Nasional 2014*. Jakarta: Setjen DEN.

Zabed, H., Faruq, G., Sahu, J. N., Azirun, M. S., Hashim, R., & Boyce, A. N. (2014). Bioethanol production from fermentable sugar juice. *The scientific world journal*, 1-11.

---

Indriana Lestari dkk

Pemanfaatan Limbah *Fiber Ex-Fibercyclone* dan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bioetanol dengan Menggunakan Bakteri *Zymomonas mobilis*

---