



ENERGI TERBARUKAN
Bidang bahasan : Implementasi dan
Efisiensi Energi Terbarukan

Sinergi Pango
dan Energi T

Karakterisasi Fenotip *Saccharomyces cerevisiae* Strain ATCC 9763 dan FNCC 3210 untuk Produksi Bioetanol pada Media Molases Tebu

Jayus^{1,2)}, Bambang Piluharto^{2,3)}, Nurhayati^{1,2)}, Rizky Qoriatul W¹⁾

¹⁾Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

²⁾Center for Development of Advanced Science and Technology, Jember University

³⁾Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Jln. Kalimantan 37, Kampus Tegal Boto, Jember 68121 email: jayus.ftp@unej.ac.id

Abstrak - Salah satu alternatif untuk meningkatkan produksi bioetanol pada media molases tebu adalah dengan mengeksplorasi strain yeast *Saccharomyces cerevisiae*, diantaranya strain ATCC 9763 dan FNCC 3210. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat morfologi dan fisiologi serta mengetahui pengaruh pH terhadap perubahan kadar gula total, lama fermentasi, populasi mikroba, dan untuk mengetahui kadar etanol tertinggi dari variasi media molases dan glukosa menggunakan ketiga strain tersebut. pH media untuk produksi etanol ditetapkan melalui uji coba menggunakan glukosa yang diatur pada serajad brix 14 % dan variasi pH 4.0; 4.5; 5.0; dan 5.5, yang telah ditambahkan sumber mineral, nitrogen dan fosfat (NPK pupuk dan HPO₄) difermentasi dengan *S. cerevisiae* pada suhu ruang tanpa ada perlakuan aerasi. Profil pertumbuhan mikroba serta bioetanol diamati setiap 4 jam selama 24 jam. Selama fermentasi, terjadi peningkatan populasi mikroba, dan penurunan kadar gula. Karakterisasi fenotip dari ketiga strain dilakukan terhadap sifat morfologi dan fisiologinya, termasuk pengukuran besar ukuran sel. Rata-rata ukuran sel dari ketiga jenis strain adalah 5-9 µm setelah 24-48 jam fermentasi. Strain ATCC 9763 dan FNCC 3210 mampu menghasilkan kadar bioetanol yang relative sama yakni ± 4 %, lebih besar dari strain BATAN yang hanya memproduksi etanol sebesar 2,5%, tetapi produksi bioetanol oleh kedua strain pertama lebih rendah dibanding kemampuan ragi komersial yang mampu menghasilkan kadar bioetanol 7%. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh sumber N dan P yang dipakai pada pengujian ragi komersial adalah ammonium posfat. Kedua strain ATCC 9763 dan FNCC3210 memiliki potensi untuk produksi etanol secara fermentasi aerob, teknik produksi bioetanol yang akhir-akhir ini dikembangkan oleh beberapa produsen.

Kata kunci: *Saccharomyces cerevisiae*, fisiologi, morfologi, molases, bioetanol

Abstract - One alternative way to increase the production of bioethanol in sugarcane molasses media is to explore *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains, including ATCC 9763 and FNCC 3210 strains. The purpose of this study was to determine the morphology and physiology as well as determine the effect of pH on the change in the total sugar content, fermentation time, microbial populations, and to determine the highest ethanol content from a variety of medium molasses and glucose using all three strains. pH medium for ethanol production established through the use of glucose testing, which was set at 14% of degree Brix and pH variation at 4.0; 4.5; 5.0; and 5.5, and was added with several sources of minerals such as nitrogen and phosphate (NPK fertilizer and HPO₄) and fermented with *S. cerevisiae* at room temperature without aeration treatment. Microbial growth profile and bioethanol production were observed every 4 hour interval for 24 hours. It was observed that during fermentation, there was an increase in the microbial population and decreased of the levels of sugar. Phenotype characterization of the three strains conducted on morphology and physiology, including large measurement cell size. The average size of the cells of the three strains was 5-9 µm after 24-48 hours of fermentation. The capability of ATCC 9763 and FNCC 3210 strains of producing bioethanol was relatively at the similar level and ±4% larger than that of BATAN strain which was only producing ethanol by 2.5%, however the production of bioethanol by both of the ATCC 9763 and FNCC 3210 strains were lower than the ability of commercial yeast that was produced around 7% of bioethanol. This difference was likely due to the source of N and P used in the testing of commercial yeast which was ammonium phosphate. Both of ATCC 9763 and FNCC3210 strains had the potential for ethanol production in aerobic fermentation, a bioethanol production technique that recently was developed by several manufacturers.

Kata kunci: *Saccharomyces cerevisiae*, fisiologi, morfologi, molases, bioethanol

1. PENDAHULUAN

Pengembangan produksi bioetanol di Indonesia mempunyai prospek yang cerah karena melimpahnya bahan baku, seperti limbah cair proses pengolahan gula tebu, molasses. Pemanfaatan molasses sebagai bahan baku produksi bioetanol sudah dikembangkan menggunakan berbagai strain *S. cerevisiae* sebagai starter. Walau demikian, rendemen bioetanol yang dihasilkan masih relatif rendah antara 2 – 13 [1,2,3,4,5,6,7], yang secara ekonomis masih perlu ditingkatkan produktivitasnya. Rendahnya produktivitas ini ditengarai akibat beberapa hal diantaranya adalah keterbatasan kemampuan strain yeast yang digunakan dalam proses produksi dan belum didapatkannya teknologi produksi yang optimal untuk menghasilkan rendemen bioetanol yang tinggi. Untuk mengatasi rendahnya rendemen produksi bioetanol, alternatif yang dapat ditawarkan adalah eksplorasi strain yeast, dan optimasi proses sehingga didapatkan kondisi dan teknologi produksi yang optimal. Hal ini perlu dilakukan karena beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap strain yang diujicobakan memiliki kondisi optimum produksi yang berbeda-beda untuk setiap jenis strain [1,2,3,4]. Beberapa strain *S. cerevisiae* sudah diuji coba kapasitasnya untuk memproduksi etanol pada beberapa jenis media termasuk *S. cerevisiae* NCYC 431, *S. cerevisiae* NCYC 975 Dan *S. diastaticus* NCYC 994 pada media molasses gula beet dan jus beet. *S. cerevisiae* NCYC 975 memiliki toleransi terhadap konsentrasi gula 20,8 % dan mampu memproduksi etanol sebesar 10 % dalam waktu fermentasi 28 jam. Kondisi pH optimum produksi adalah 4,5 dengan laju aliran udara 0,125 L/L substrate/menit [3]. Temuan ini menandakan bahwa produksi etanol oleh strain *Saccharomyces* tidak harus dalam kondisi anaerob. Mikroba lain yang diketahui aktif untuk menghasilkan bioetanol adalah *Kluyveromyces marxianus* imb3 yang bersifat *thermotolerant* dan mampu memproduksi etanol sebanyak lebih dari 50 g/L atau 5% dalam kultur immobil [11]. Salah satu upaya yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk meningkatkan produksi bioetanol pada media molasses tebu adalah dengan mengeksplorasi strain yeast *Saccharomyces cerevisiae*, diantaranya strain ATCC 9763, BATAN, dan FNCC 3210.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Produksi Bioetanol Menggunakan Starter Terformulasi dengan Media Molasses

Persiapan media pertumbuhan

Media molasses (diperoleh dari PG Jatiroto, Jawa Timur) dipersiapkan melalui proses sakarifikasi menggunakan H_2SO_4 yang juga dapat

membantu memisahkan bahan-bahan tidak larut dalam molasses melalui proses pengendapan. Kadar gula awal diatur melalui pengenceran untuk mendapatkan kadar gula total 14 %.

2.2 Proses Optimasi

S. cerevisiae strain ATCC 9763, FNCC 3210 dan BATAN, diperoleh dari PTPN XI. Kultur starter masing-masing strain ditumbuhkan secara *batch culture* pada media molasses 800 mL dalam botol volume 1 L pada suhu ruang. Kondisi lingkungan pertumbuhan yang akan dioptimasi dalam skala botol ini adalah pH dan konsentrasi padatan terlarut [gula sebagai sumber karbon, dengan tambahan sumber nitrogen (urea), dan pupuk NPK]. Parameter produktivitas yang akan diamati adalah: rendemen etanol, kadar total gula, dan pertumbuhan mikroba serta laju spesifik produksi etanol.

2.3 Analisis Kadar Etanol

Analisis etanol menggunakan metode *Conway chamber* membutuhkan tiga larutan, yaitu larutan A, B, dan C. Larutan A merupakan Na_2CO_3 jenuh yang diperoleh dengan melarutkan 10 g Na_2CO_3 dalam 50 ml aquades. Larutan B dibuat dengan melarutkan 0,74 g $K_2Cr_2O_7$ dalam 30 ml aquades dan ditambah 56 ml H_2SO_4 pekat secara perlahan lahan disertai pengadukan, selanjutnya diencerkan hingga 100 ml. Larutan C merupakan larutan stok etanol standar yang dibuat dari 1 ml etanol (pa) yang diencerkan dengan aquades hingga 250 ml. Produktivitas etanol ($Y_{P/s}$, g/g) dihitung dari berat etanol aktual yang diproduksi per gram total gula yang digunakan selama produksi.

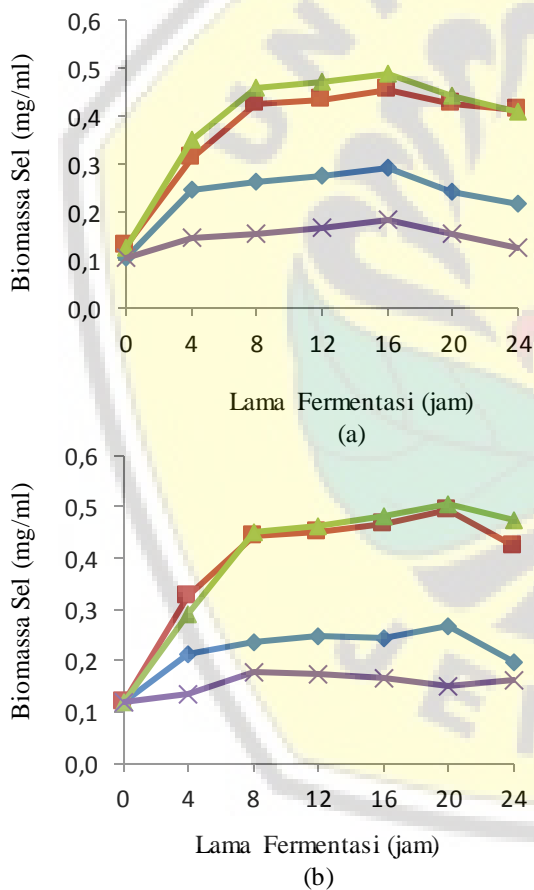
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pertumbuhan *S. cerevisiae* ATCC 9763 dan FNCC 9763 dalam Media Glukosa pada pH yang berbeda

S. cerevisiae ATCC 9763 tumbuh meningkat dengan indikasi peningkatan berat kering sel dari awal inkubasi hingga jam ke 16 pada semua pH yang dicobakan (pH 4; 4,5; 5 dan 5,5). Setelah masa pertumbuhan jam ke-20, jumlah biomassa yang dihasilkan relatif konstan untuk semua pH seperti terlihat pada Gambar 1a dan 1b. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua strain yeast mampu tumbuh lebih baik dalam media glukosa pada pH 4,5 dan 5,0. Pertumbuhan yang lebih lambat terjadi pada pH 4,0 dan 5,5. Oleh karena itu pH pertumbuhan yang digunakan untuk produksi bioetanol dengan substrat molasses adalah pH 4,5 dan 5,0. Lebih tingginya biomassa strain ATCC 9763 maupun FNCC 3210 diduga terjadi sejak pada pembuatan inokulum, mengingat biomassa awal pada pH 4,5 dan 5,0 lebih tinggi dibanding biomassa pada pH 4,0 dan 5,5. Peningkatan biomassa sel pada pH 4,5 maupun 5,0 hanya

berkisar 0,05 mg/ml. Peningkatan biomassa yang kecil ini menandakan bahwa sel tidak tumbuh dengan baik yang kemungkinan disebabkan kurangnya jumlah sumber mineral atau sumber N yang disediakan dalam media. Selain itu juga mungkin disebabkan jenis N yang ditambahkan tidak cocok untuk pertumbuhan *S. cerevisiae* FNCC 3210 dan ATCC 9763. Jumlah dan jenis sumber N dapat mempengaruhi pertumbuhan *S. cerevisiae* seperti yang dilaporkan oleh Taillandier [1]. Pada jumlah N yang cukup dan jenisnya yang cocok dalam produksi etanol, jumlah yeast rata-rata meningkat 1 - 2 log selama pertumbuhannya. *S. cerevisiae* strain A, B, C dan D meningkat rata-rata 1 log selama produksi etanol [1] dengan penggunaan yeast ekstrak sebagai sumber N dan vitamin sebesar 10 g/L. Sementara itu *S. cerevisiae* NP01 yang ditumbuhkan menggunakan sumber N yeast extract 9 g/L meningkat sebesar rata-rata 1,5 log selama pertumbuhannya [2].

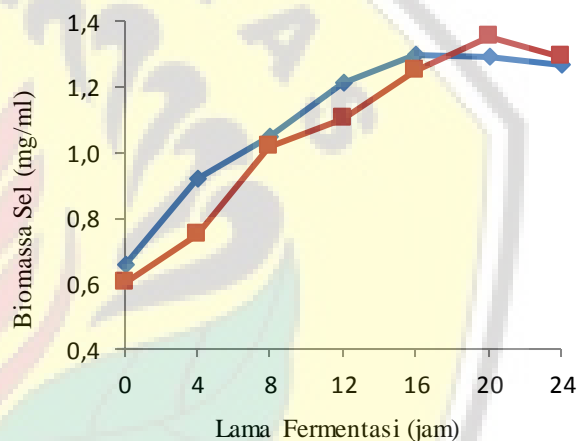
FNCC 3210 baik pada pH pertumbuhan 4,5 maupun pH 5,0. Pada pH 4,5 *growth rate* strain ATCC 9763 adalah 0,039 per jam, dan FNCC 3210 adalah 0,038. Pada pH 5,0 *growth rate* strain ATCC 9763 adalah 0,033 per jam, dan FNCC 3210 kecepatan tumbuhnya adalah 0,042. Biomassa strain ATCC 9763 pada kedua pH pertumbuhan tersebut mencapai maksimum 4 jam lebih awal daripada strain FNCC 3210. Biomassa maksimum *S. cerevisiae* ATCC 9763 tercapai pada masa inkubasi 16 jam, sedangkan biomassa maksimum strain FNCC 3210 baru tercapai pada 20 jam masa inkubasi, seperti terlihat pada Gambar 2 dan 3. Meskipun demikian, jumlah biomassa maksimum dari kedua strain tersebut relatif sama yakni $1,27 \pm 0,19$ mg/mL pada pH pertumbuhan 4,5. Pada pH pertumbuhan 5,0 strain FNCC 3210 cenderung lebih tinggi dibanding. Ini menandakan strain ATCC 9763 cenderung tumbuh lebih baik pada pH 4,5 dibanding pH 5,0.



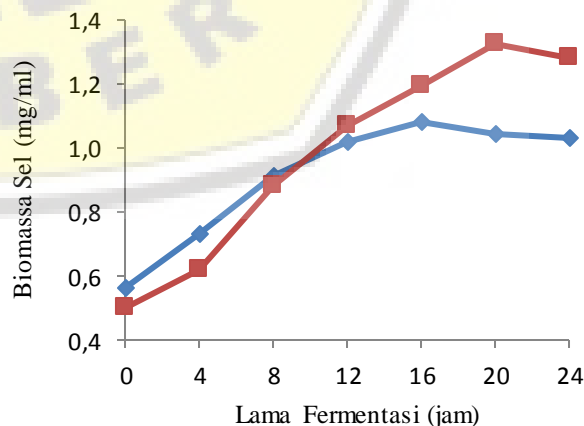
Gambar 1. Pertumbuhan (a) *S. cerevisiae* ATCC 9763 dan (b) *S. cerevisiae* FNCC 3210 dalam media glukosa pada pH 4 (---◆---); 4,5 (---■---); 5 (---▲---); dan pH 5,5 (---x---).

3.2 Pertumbuhan *S.cerevisiae* ATCC 3210 dan FNCC 9763 dalam Media Molases pada pH 4,5 dan 5,0

Kecepatan pertumbuhan *S. cerevisiae* ATCC 9763 cenderung relatif sama dibanding strain



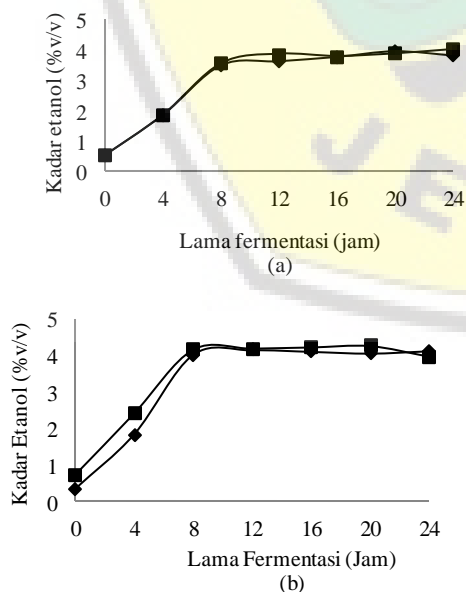
Gambar 2. Pertumbuhan *S. cerevisiae* ATCC 3210 (---◆---) dan FNCC 9763 (---■---) pada pH 4,5



Gambar 3. Pertumbuhan *S. cerevisiae* ATCC 3210 (---◆---) dan FNCC 9763 (---■---) pada pH 5,0

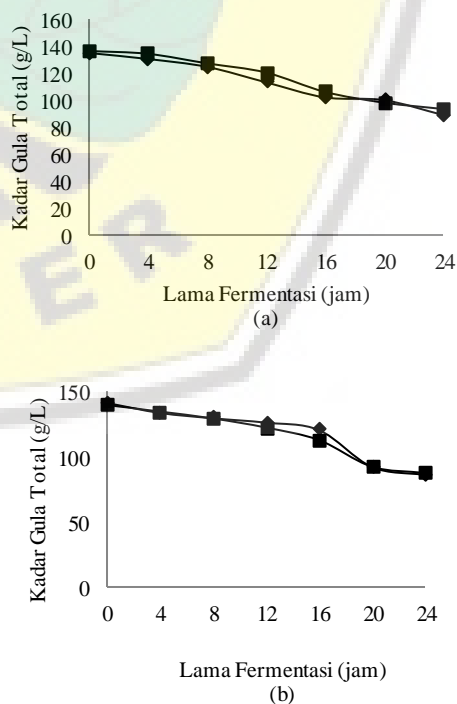
3.3 Produksi Bioetanol oleh *S.cerevisiae* ATCC 3210 dan FNCC 9763 dalam Media Molases pada pH 4,5 dan 5,0

Etanol yang dihasilkan oleh *S. cerevisiae* ATCC 9763 dan FNCC 3210 teramati sejak awal masa fermentasi. Produksi etanol pada pH 4,5 terlihat sedikit lebih rendah (rata-rata $3,76 \pm 0,1$ % v/v) dibanding dengan produksi pada pH 5,0 (rata-rata $4,15 \pm 0,01$ % v/v). Selain itu, kadar etanol tertinggi pada pH 5,0 tercapai pada lama fermentasi 8 jam, sedangkan pada pH 4,5 tercapai pada masa inkubasi 12 jam, seperti terlihat pada Gambar 4. Kadar etanol yang dihasilkan oleh kedua strain ini tidak lebih tinggi dibanding ragi komersial sebesar 7,8 % v/v yang ditumbuhkan menggunakan sumber N da P, ammonium fosfat (hasil penelitian belum dipublikasi). Produksi etanol pada kultur an-aerob oleh beberapa strain *S. cerevisiae* berkisar antara 2 – 13 % (b/v) [5,6,7,9]. Variasi kadar etanol yang dihasilkan oleh berbagai strain *S. cerevisiae* ini menandakan diversitas sifat fisiologi yang sangat tinggi yang masing-masing strain dapat memproduksi etanol dengan jumlah tertentu pada kondisi pertumbuhan dan teknik yang bervariasi pula. Teknik produksi SSF (*simultaneous saccharification and fermentation*) menggunakan *S. cerevisiae* strain komersial (Fleischmann) dilaporkan dapat menghasilkan etanol sebanyak 2,8 % [7]. Strategi untuk meningkatkan produksi etanol sangat beragam termasuk proses aerasi dan agitasi maupun proses fermentasi *fed batch* [8]. Oleh karena itu, tidak menutup kemungkinan strain FNCC 9763 dan ATCC 3210 dapat memproduksi etanol dengan kadar yang lebih tinggi jika ditumbuhkan pada kondisi dan teknik yang berbeda.



Gambar 4. Produksi bioetanol oleh *S. cerevisiae* FNCC 9763 (◆) dan ATCC 3210 (■) pada (a) pH 4,5 dan (b) pH 5,0

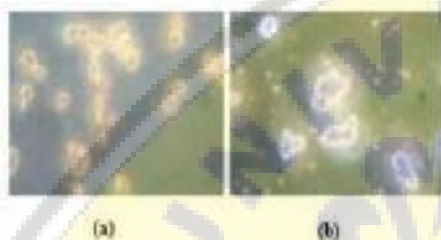
Kadar gula total dalam media molases selama proses fermentasi oleh kedua strain ATCC 3210 dan FNCC 9763 pada pH 4,5 dan pH 5,0 mengalami penurunan yang tidak drastis. Hal ini berarti tingkat konsumsi sumber karbon oleh kedua strain rendah. Penurunan kadar gula total masih tetap terjadi meskipun sudah melewati titik puncak masa produksi biomassa maupun etanol (Gambar 5). Dengan demikian, *yield* etanol ($Y_{P/s}$, g/g) yang dihasilkan oleh *S. cerevisiae* strain ATCC 3210 dan FNCC 9763 adalah sama pada pH pertumbuhan yang sama, masing-masing bernilai 0,2 pada pH 4,5 dan 0,4 pada pH 5,0. Perbedaan ini diakibatkan oleh perbedaan tingkat konsumsi substrat oleh kedua strain tersebut yang terjadi pada titik maksimum produksi etanol. *Yield* etanol oleh kedua strain pada pH 5,0 lebih tinggi dari *S. cerevisiae* strain lain (Fleischmann) pada konsentrasi inokulum tinggi yang hanya menghasilkan *yield* etanol sebesar 0,015 [7], tetapi lebih rendah dari strain NP 01 yang menghasilkan etanol sebesar 5,0 [9] meskipun kadar etanolnya lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa strain ATCC 3210 dan FNCC 9763 masih berpeluang untuk ditingkatkan produktivitasnya dengan mencari kondisi pertumbuhan yang lebih cocok. Alternatif pengembangan teknik produksi aerob melalui proses aerasi dan agitasi dan VHG (*very high gravity*) system sangat mungkin untuk diterapkan pada kedua strain dimaksud seperti yang pernah dilaporkan pada *S. cerevisiae* strain PE-2 [10].



Gambar 5. Kadar gula *S. cerevisiae* FNCC 9763 (◆) dan ATCC 3210 (■) pada (a) pH 4,5 dan (b) pH 5,0

3.4 Morfologi *S. cerevisiae* strain ATCC 9763, FNCC 3210.

Ukuran sel dari kedua strain ini relatif sama, berukuran kecil baik strain ATCC 9763 maupun FNCC 3210. Masing-masing strain memiliki bentuk morfologi yang juga relatif sama membentuk *budding* selama pertumbuhannya (Gambar 6). Pada kondisi pertumbuhan yang sama strain ATCC 9763, FNCC 3210 tumbuh dengan kecepatan yang relatif sama. Oleh karena itu, pengujian aktivitas produksi etanol pada media molases dilakukan hanya pada strain ATCC 9763 dan FNCC 3210. Meskipun demikian, tidak menutup kemungkinan kedua strain *S. cerevisiae* ini bisa tumbuh lebih baik pada kondisi pertumbuhan yang berbeda.



Gambar 6. Morfologi *S. cerevisiae* strain (a) ATCC 9763 dan (b) FNCC 3210

4. KESIMPULAN

S. cerevisiae ATCC 3210 tumbuh lebih cepat dibandingkan strain FNCC 9763 jika ditumbuhkan dalam media molases kadar brix 14 % baik pada pH 4,5 maupun pH 5,0. Produktivitas etanol kedua strain lebih tinggi (0,4 g/g) pada pH 5,0 dibanding dengan pH 4,5 (0,2 g/g). Upaya peningkatan produktivitas etanol oleh kedua strain tersebut dapat dilakukan melalui optimasi kondisi lingkungan dan teknik produksinya, sebelum diimplementasikan dalam skala industri.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Taillandier, P., Portugal F. R., Fuster, A. dan Strehaiano P. 2007. Effect of ammonium concentration on alcoholic fermentation kinetics by wine yeasts for high sugar content. *Food Microbiology*, 24: 95–100.
 - [2] Khongsay, N., Laopaiboon, L., Jaisil, P. dan Laopaiboon, P. 2012, Optimization of Agitation and Aeration for Very High Gravity Ethanol Fermentation from Sweet Sorghum Juice by *Saccharomyces cerevisiae* Using an Orthogonal Array Design. *Energies* 5:561-576.
 - [3] Zayed G.Z.A dan Foley J. 1987. The Influence of Fermentation Conditions on Ethanol Yields from Sugar Beet Molasses and Fodder Beet Juice Using *Saccharomyces cerevisiae* Strains. *Irish Journal of Food Science and Technology* 11:119-133
 - [4] Xiros, C. dan Christakopoulos, P. 2009. Enhanced ethanol production from brewer's spent grain by a *Fusarium oxysporum* consolidated system. *Biotechnology for Biofuels*. 2:4
 - [5] Izmirioglu, G. dan Demirci A. 2012. Ethanol Production from Waste Potato Mash by Using *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Science*. 2, 738-753.
 - [6] Yingling, B., Zongcheng, Y. Honglin, W. dan Li, C. 2011. Optimization of bioethanol production during simultaneous saccharification and fermentation in very high-gravity cassava mash. *Antonie van Leeuwenhoek* 99:329–339.
 - [7] Silva, N. L. C. Betancur G.V. Vasquez M.P. Gomes E.B. dan Pereira Jr. N. 2011. Ethanol Production from Residual Wood Chips of Cellulose Industry: Acid Pretreatment Investigation, Hemicellulosic Hydrolysate Fermentation, and Remaining Solid Fraction Fermentation by SSF Process. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 163:928–936.
 - [8] Alfenore S., Cameleyre X., Benbadis L., Bideaux C., Uribelarrea J.L., Goma G, Molina-Jouve C., dan Guillouet S. E. 2004. Aeration Strategy: A Need for Very High Ethanol Performance in *Saccharomyces cerevisiae* Fed-Batch Process. *Applied Microbiology Biotechnology* 63:537–542
 - [9] Khongsay, N., Laopaiboon, L., Jaisil P. dan Laopaiboon P. 2012. Optimization of Agitation and Aeration for Very High Gravity Ethanol Fermentation from Sweet Sorghum Juice by *Saccharomyces cerevisiae* Using an Orthogonal Array Design. *Energies*, 5, 561-576.
 - [10] Pereira F. B., Gomes D.G., Guimaraes P.M. R., Teixeira J. A. dan Domingues L. 2012. Cell recycling during repeated very high gravity bio-ethanol fermentations using the industrial *Saccharomyces cerevisiae* strain PE-2. *Biotechnology Letters* 34:45–53.
 - [11] Gough, S., Brady, D., Nigam P., Marchant, R. dan McHale. A.P. 1997. Production of Ethanol from Molasses at 45°C using alginate-immobilized *Kluyveromyces marxianus* imb3. *Bioprocess Engineering* 16:389-392.
- Tanya: Produksi biomassa *Saccharomyces cerevisiae*, perbandingan uji strain hasil bagaimana? (Suprihatin)
 - Jawab: Strain diuji dengan ragi yang dipakai di industri atau dengan ragi yang ada di pasaran lokal. Pertumbuhan sel bias lebih cepat karena adanya oksigen, tidak semua strain tidak tumbuh lebih baik dengan adanya oksigen. Pengukuran biomassa dengan mengukur berat kering secara keseluruhan.



ENERGI TERBARUKAN

ENERGI TERBARUKAN
Bidang bahasan : Teknologi Konversi dan
Aplikasi Energi Terbarukan

Sinergi Pango
dan Energi T

Kajian Awal Instalasi Pembangkit Listrik Biogas Berbahan Baku Tinja Manusia dari WC Komunal di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Sukorejo Situbondo

Arini Wresta¹⁾, Aep Saepudin¹⁾, Dian Andriani¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik
 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
 Kompleks LIPI Gd. 20, Jl Sangkuriang, Bandung 40135
 Email: awresta@gmail.com, arini.wresta@lipi.go.id

Abstrak

Penelitian ini merupakan kajian awal potensi pemanfaatan tinja manusia di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Situbondo untuk digunakan sebagai bahan baku sistem pembangkit listrik biogas. Potensi biogas dihitung menggunakan Persamaan Buswell berdasarkan komposisi senyawa organik di dalam tinja. Kemudian potensi daya listrik dihitung berdasarkan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan setiap waktu dari produksi biogas dan panas pembakaran metana dalam biogas dengan efisiensi Gen-Set 25%. Dari 15.000 santri di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Situbondo, diperoleh potensi biogas sebesar 504,6 m³/hari atau potensi daya listrik sebesar 26,6 kW. Pemanfaatan seluruh potensi tinja manusia untuk pembangkit listrik biogas diperkirakan akan menghemat biaya pembelian listrik pesantren sebesar Rp 315,5 juta per tahun, dan memberikan nilai tambah dari potensi nilai jual kompos sebesar Rp. 63,8 juta per tahun serta memberikan keuntungan bagi negara berupa penghematan anggaran subsidi listrik sebesar Rp. 92,4 juta per tahun dan penghematan pemakaian sumber energi fosil. Setelah proses peruraian anaerobik konsentrasi E. coli diperkirakan akan menurun sebesar 61,8% dari konsentrasi E. coli dalam tinja yang tidak diolah menjadi biogas.

Kata kunci: pembangkit listrik biogas, tinja, Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah

Abstract

This research is a preliminary study on potency of utilization of human feces in Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Situbondo as raw material for biogas power system. The biogas potency is calculated based on the organic compound composition in the feces using Buswell Equation, and the potency of power that can be generated is calculated based on potency of electrical energy in a period of time according to biogas production and methane heat combustion with Gen-Set efficiency 25%. Based on the number of students in the pesantren as many as 15,000 people, the potency of biogas will be 504.6 m³/day and the potency of power is 26.6 kW. It is also estimated that the installation will give economic advantage, it is predicted that the utilization of overall potency will save electricity cost in the pesantren as much as IDR 315,500,000,- per year, give economic advantage from the sale value of compost as much as IDR 63,800,000,- per year, and save the budgets of electricity subsidies as much as IDR 92.400,- per year. It also would reduce the utilization of fossil fuel as energy source. Environmentally advantage will be obtained from the reduction of pathogenic E coli during the process, that the reduction is predicted approximately of 61.8% from the initial concentration of E-coli in the fresh feces.

Key words: biogas power system, human feces, Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah

1. PENDAHULUAN

Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Situbondo merupakan salah satu pondok pesantren terbesar di Jawa Timur, dengan jumlah santri mencapai 15.000 orang [1]. Sebagai daerah dengan penduduk terkonsentrasi, pondok pesantren ini berpotensi menghasilkan tinja sebesar 3,75 ton setiap harinya. Tinja yang dibiarkan di dalam septik tank, dalam waktu yang lama akan terdegradasi dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk yang menguntungkan.

Dewasa ini, pemerintah Indonesia mulai mengembangkan pemanfaatan tinja manusia untuk digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas [2,3,4]. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah dari pemanfaatan tinja, dimana selain dapat diolah menjadi kompos, tinja dapat memiliki nilai ganda dengan diolah menjadi biogas dan sludge hasil peruraian dimanfaatkan sebagai pupuk. Pemanfaatan tinja untuk menghasilkan biogas juga merupakan upaya perbaikan sistem sanitasi menghasilkan sanitasi yang lebih bersih, ramah lingkungan dan dapat memberikan nilai ekonomis.

Dari segi pelestarian lingkungan, pengolahan tinja menjadi biogas mencegah emisi metana yang merupakan gas rumah kaca secara bebas ke udara.

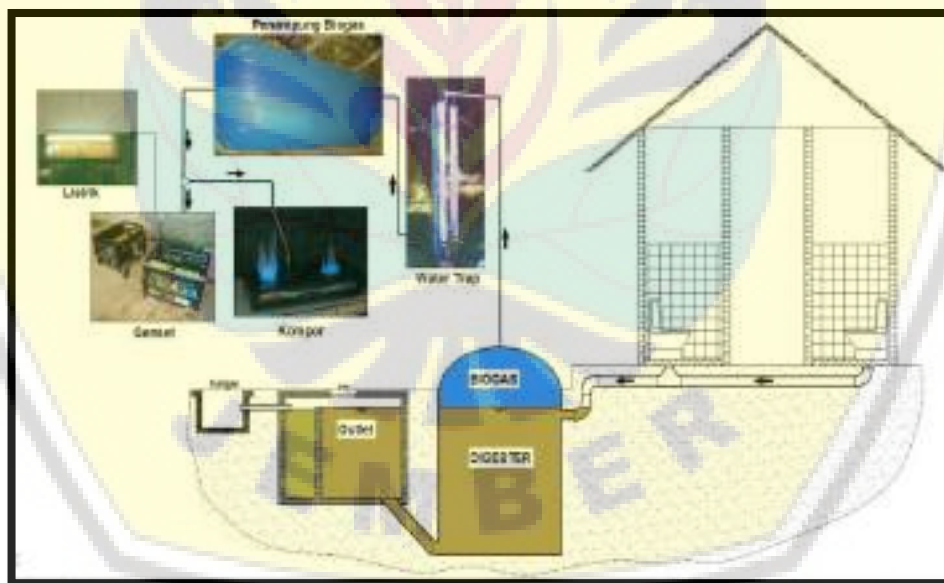
Potensi tinja yang besar akan menghasilkan biogas yang besar pula sehingga sangat potensial untuk digunakan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik. Penelitian kali ini merupakan kajian awal, pemanfaatan tinja manusia sebagai bahan baku sistem pembangkit listrik biogas di Pondok Pesantren tersebut di atas, sebagai salah satu upaya Puslit Telimek LIPI dalam mendukung program pemerintah dalam pengembangan sumber energi terbarukan berbasis biomassa [5]. Tujuan utama dari penelitian ini adalah memanfaatkan tinja di pondok pesantren yang berjumlah melimpah sehingga dapat menghasilkan nilai tambah yang bernilai ekonomis baik berupa energi listrik maupun pupuk organik.

Tinja manusia memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan kotoran ternak yang merupakan bahan baku utama pada pembuatan biogas. Seperti halnya kotoran ternak yang berasal dari degradasi anaerobik di dalam saluran pencernaan hewan, tinja manusia berasal dari degradasi anaerobik dalam saluran pencernaan manusia, sehingga tinja ini dimungkinkan memiliki kandungan bakteri-bakteri

anaerobik yang tinggi. Keberadaan bakteri-bakteri anaerobik ini menyebabkan pembuatan biogas dari tinja dapat terjadi tanpa penambahan bibit mikroba secara kontinyu.

Tinja lebih banyak mengandung lemak mencapai 20% padatan kering [6], menyebabkan potensi biogas yang lebih besar dibanding dari kotoran ternak yang lebih banyak mengandung senyawa berbasis selulosa dan hemiselulosa [7]. Kadar metana dalam biogas berbahan baku tinja manusia dapat mencapai 70% [6] dari keseluruhan gas yang dihasilkan, lebih tinggi dari kadar metana dalam biogas berbahan baku kotoran sapi sebesar sekitar 50% [8, 9]. Melihat potensi ini, tinja manusia dapat digunakan sebagai salah satu alternatif bahan baku terbaik untuk pembuatan biogas setelah kotoran ternak.

Untuk digunakan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik, biogas yang dihasilkan dari digester kemudian dialirkan ke penampung gas sebelum akhirnya dialirkan ke Gen-Set untuk membangkitkan energi listrik. Listrik dihasilkan dari pembakaran metana yang terkandung dalam biogas. Skema Pembangkit Listrik Biogas dari tinja manusia yang dilakukan oleh Puslit Telimek LIPI dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pembangkit Listrik Biogas dari Tinja Manusia [10]

Penelitian-penelitian pemanfaatan tinja manusia sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas telah dilakukan oleh Issah [11], Niwagaba [12], Estoppey [13], Meegoda et al. [14], dan Febrianto dan Priyono [6]. Perkiraan produksi biogas dari tinja manusia secara sederhana sudah dilakukan oleh Meegoda et al. [14], dan untuk sumber substrat lain perkiraan produksi biogas secara lebih rinci menggunakan Persamaan Busswell telah dilakukan oleh Ward [15] untuk substrat kotoran sapi, dan campuran kotoran sapi dan *stearin*, dan Wresta dan

Sudiby [9] untuk substrat kotoran sapi. Sebelumnya penggunaan Persamaan Busswell untuk memperkirakan produksi biogas dari suatu jenis senyawa organik telah banyak dilakukan untuk protein, lemak, karbohidrat [15, 16, 17], acetat, propionate dan etanol [16]. Di sisi lain, sejauh penelusuran pustaka yang dilakukan penggunaan Persamaan Busswell untuk memperkirakan potensi biogas dari tinja manusia belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan dilakukan kajian potensi

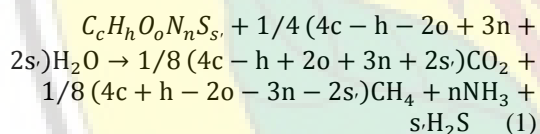
biogas dari tinja manusia berdasarkan Persamaan Buswell, dimana hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan untuk memperkirakan potensi energi dan daya listrik, potensi kompos, potensi penghematan anggaran subsidi listrik pemerintah, potensi penghematan pengeluaran untuk pembelian listrik di pesantren, dan perkiraan volume digester yang diperlukan. Hasil kajian ini digunakan untuk menentukan jumlah daya yang akan diinstal dan memperkirakan potensi ekonomi dari instalasi yang dilakukan.

2. BAHAN DAN METODE

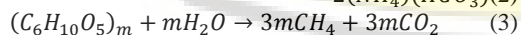
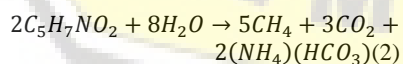
Untuk kajian awal instalasi pembangkit listrik biogas di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah, dilakukan perhitungan potensi daya listrik, potensi kompos, potensi penghematan anggaran subsidi listrik pemerintah, potensi penghematan pengeluaran untuk pembelian listrik di pesantren, dan perkiraan volume digester yang diperlukan.

1. Menghitung potensi biogas dan daya listrik

Bila banyaknya tinja yang akan diolah setiap harinya menjadi biogas dan komposisi senyawa organik di dalam tinja tersebut diketahui, banyaknya metana dan CO₂ yang dihasilkan dari peruraian senyawa organik di dalam tinja dapat diperkirakan menggunakan Persamaan Buswell [16, 18, 19], sebagai berikut:



Tinja manusia, mengandung komponen senyawa organik berupa protein, serat, dan lemak. Komponen utama dalam serat dianggap sebagai selulosa sehingga Persamaan Buswell kemudian dijabarkan masing-masing untuk protein, selulosa, dan lemak [15], sebagai berikut:



Bila banyaknya protein yang diumpangkan adalah b gmol/hari, serat c gmol/hari, dan lemak d gmol/hari, maka banyaknya metana yang dihasilkan dapat dihitung dengan menjumlahkan hasil metana dari peruraian masing-masing senyawa organik berdasarkan penjabaran persamaan-persamaan stoikiometris di atas dan kemudian mengalikan hasil penjumlahan tersebut dengan faktor konversi, sebagai berikut:

$$M_t = f \left(\frac{5}{2} b + \frac{3m}{1} c + \frac{40}{1} d \right) \quad (5)$$

Dengan M_t adalah total metana yang dihasilkan (gmol/hari) dan f adalah faktor konversi, maka banyaknya CO₂ yang dihasilkan dihitung dengan cara yang sama dengan perhitungan banyaknya metana yang dihasilkan, sebagai berikut:

$$C_t = f \left(\frac{3}{2} b + \frac{3m}{1} c + \frac{17}{1} d \right) \quad (6)$$

Dengan C_t adalah total CO₂ yang dihasilkan (gmol/hari). Banyaknya energi listrik yang dapat dibangkitkan dihitung dengan mengalikan banyaknya metana yang dihasilkan dengan panas pembakaran metana dan efisiensi Gen-Set, sebagai berikut:

$$E = \eta (M_t \cdot \Delta H) \quad (7)$$

dengan E adalah besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan setiap satuan waktu (joule/hari), η adalah efisiensi Gen-Set, dan ΔH adalah panas pembakaran metana (802620 joule/gmol [20]). Bila potensi energi listrik per hari itu dibagi dengan waktu satu hari yang dikonversi ke dalam detik (86400 detik), diperoleh peluang daya listrik terpasang sebagai berikut:

$$P = \frac{\eta (M_t \Delta H)}{86400} \quad (8)$$

dengan P adalah perkiraan daya yang dapat dipasang (watt).

2. Menghitung senyawa organik dalam tinja

Banyaknya senyawa organik dalam tinja dapat dihitung dengan pengetahuan tentang kandungan air dalam tinja dan kandungan masing-masing jenis senyawa organik dalam tinja (berbasis bahan kering). Bila kandungan air dalam tinja disebut dengan M_c (%), kandungan padatan kering dalam tinja, TS (%), dapat dihitung sebagai berikut:

$$TS = 100 - M_c \quad (9)$$

Selanjutnya kandungan protein dalam tinja disebut dengan B (% TS), kandungan serat disebut dengan C (% TS), dan kandungan lemak disebut dengan D (% TS). Bila banyaknya tinja yang diumpangkan ke dalam digester adalah A gram/hari, banyaknya protein, serat, dan lemak yang diumpangkan per hari yaitu b, c, dan d (gmol per hari) dapat dihitung dengan membagi berat per hari masing-masing senyawa organik masuk digester dengan berat molekul masing-masing senyawa organik, untuk protein, serat, dan lemak, sebagai berikut:

$$b = \frac{\left(\frac{B}{100}\right)\left(\frac{TS}{100}\right)A}{113} \quad (10)$$

$$c = \frac{\left(\frac{C}{100}\right)\left(\frac{TS}{100}\right)A}{162m} \quad (11)$$

$$d = \frac{\left(\frac{D}{100}\right)\left(\frac{TS}{100}\right)A}{884} \quad (12)$$

3. Memperkirakan banyaknya kompos yang dihasilkan

Banyaknya kompos yang dihasilkan dihitung berdasarkan sisa padatan dalam tinja yang tidak terdegradasi, sebagai berikut:

$$SF = (1 - f \cdot \frac{VS}{100}) \times \frac{TS}{100} \times A \quad (13)$$

dengan SF adalah banyaknya kompos yang dihasilkan (g/hari).

4. Memperkirakan volume digester

Bila perbandingan berat air dan tinja yang digunakan dalam campuran *slurry* masuk digester adalah $w : a$, maka kecepatan umpan masuk digester (g/hari), dituliskan sebagai berikut:

$$F_w = \left(\frac{w+a}{a}\right)A \quad (14)$$

dengan F_w adalah kecepatan berat umpan masuk digester (g/hari). Nilai F_w diubah dalam kecepatan volumetrik sebagai berikut:

$$F_v = \frac{\left[\left(\frac{w+a}{a}\right)A\right]}{\rho} \times 10^{-6} \quad (15)$$

dengan F_v adalah kecepatan volumetrik umpan masuk digester (m^3 /hari), dan ρ adalah massa jenis umpan (g/cm^3).

Volume digester dihitung dengan mengalikan kecepatan volumetrik umpan dengan waktu tinggal minimum *slurry* dalam digester, dan faktor keamanan, sebagai berikut:

$$V = (1 + a') \left[\tau \left\{ \frac{\left(\frac{w+a}{a}\right)A}{\rho} \times 10^{-6} \right\} \right] \quad (16)$$

dengan V adalah volume digester (m^3), a' adalah faktor keamanan, dan τ adalah waktu tinggal (hari).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi biogas, kompos, daya listrik, dan volume digester

Kandungan air dalam tinja manusia adalah sebesar 78% [21] sehingga kandungan padatan kering dalam tinja adalah sebesar 22%. Menurut Suparman dan Suparmin [22], kandungan VS dalam tinja berkisar antara 88 dan 97% berat

kering, sedangkan menurut Febrianto dan Priyono [6] kandungan VS dalam tinja adalah 96% berat kering, sehingga dalam perhitungan digunakan kandungan VS 96% berat kering, terdiri dari protein 1% berat kering, lemak 20% berat kering, dan serat 75% berat kering [6]. Dengan jumlah santri sebanyak 15000 orang [1], dan produksi feses sebesar 250 g/orang/hari [6], maka potensi tinja yang dihasilkan dapat mencapai 3750000 g/hari. Berdasarkan persamaan 9-12, diperoleh potensi senyawa organik yang dihasilkan dari tinja manusia di Pondok Pesantren berupa protein sebesar 73,0 gmol/hari, serat sebesar 3819,4 gmol/hari, dan lemak sebesar 186,6 gmol/hari. Perhitungan banyaknya metana yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan persamaan 1-5, dengan faktor konversi 60% (derajat degradasi untuk feses berkisar 30-60% [15]), diperoleh potensi metana yang dihasilkan sebesar 11464,1 gmol/hari dan konversi menggunakan Persamaan Gas Ideal pada tekanan 1 atm dan suhu 30°C menghasilkan potensi metana sebesar 284,8 m^3 /hari. Bila Genset yang digunakan memiliki efisiensi 25% (efisiensi yang paling baik untuk konversi biogas ke listrik adalah sebesar 40% [23]), energi listrik yang dapat dihasilkan adalah sebesar 2300 juta joule/hari atau potensi daya 26,6 kW.

Di sisi lain, karena input bahan baku yang fluktuatif setiap harinya (ditentukan oleh kondisi metabolisme masing-masing warga pesantren), instalasi yang akan dilakukan sebaiknya dibuat lebih rendah dari peluang daya terhitung. Hasil perhitungan potensi listrik, potensi kompos dan volume digester yang diperlukan untuk mengolah seluruh potensi tinja di Pondok Pesantren Salafiyah Syaifi'iyah Situbondo selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi biogas, kompos, daya listrik, dan volume digester

Parameter	Kuantitas
Potesi biogas (f=60%)	504,6 m^3 /hari
Kadar metana	56,4 %
Potensi kompos	349,8 kg/hari
Potensi listrik ($\eta=25\%$)	P = 26,6 kW
Volume digester (a=50%)	168,75 m^3

B. Potensi ekonomi.

Instalasi pembangkit listrik biogas dari tinja manusia di Pondok Pesantren ini merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan listrik pesantren secara mandiri. Dari segi investasi perlu dilakukan analisis ekonomi apakah investasi ini layak dilakukan. Potensi pendapatan diperoleh dari nilai jual pupuk organik yang dihasilkan dan potensi penghematan bila listrik tidak dibeli dari PLN. Analisis kelayakan juga mempertimbangkan nilai investasi dan pengeluaran-pengeluaran rutin agar proses produksi

terus berjalan. Kajian awal pada penelitian ini menghitung potensi penghematan anggaran pembelian listrik dari PLN oleh pesantren, dan potensi nilai jual kompos yang dihasilkan. Tarif tenaga listrik untuk keperluan RT dengan batas daya di atas 6.600 VA adalah Rp. 1.352,- per kWh [24]. Dengan potensi energi listrik per tahun seperti tersebut di atas, maka potensi nilai jual listrik yang dihasilkan atau potensi penghematan biaya pembelian listrik oleh pesantren dapat mencapai Rp. 315,5 juta per tahun atau Rp. 26.2 juta per bulan.

Sebagai hasil samping dari pengolahan tinja menjadi biogas, diperkirakan akan dihasilkan kompos sebesar 127764.5 kg/tahun. Harga kompos diasumsikan sebesar Rp. 500,- per kg, sehingga potensi nilai jual kompos tersebut adalah sebesar Rp. 63,8 juta per tahun. Nilai jual kompos per bulan adalah sebesar Rp. 5,3 juta.

Instalasi pembangkit listrik biogas ini juga merupakan upaya untuk mendukung program pemerintah dalam penghematan pemakaian sumber energi fosil. Pemenuhan kebutuhan listrik secara mandiri akan mengurangi subsidi listrik dari pemerintah yang diberikan melalui penjualan listrik oleh PLN. Nilai subsidi listrik pemerintah pada tahun 2010 adalah Rp. 396,- per kWh [25]. Bila suplai listrik dari PLN dapat dikurangi sejumlah energi yang dapat dibangkitkan, maka instalasi ini berpotensi menghemat anggaran subsidi listrik sebanyak Rp. 92,4 juta per tahun atau Rp. 7,7 juta per bulan. Investasi ini juga memiliki nilai ekonomis dari penghematan pemakaian sumber energi fosil yang digunakan PLN untuk membangkitkan listrik. Ringkasan hasil perhitungan potensi penghematan biaya pembelian listrik oleh PLN, nilai jual kompos, dan potensi penghematan anggaran subsidi listrik selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensi ekonomi

Parameter potensi	Kuantitas
Penghematan biaya pembelian listrik	Rp. 315,5 juta per tahun
Nilai jual kompos	
Penghematan anggaran subsidi listrik	Rp. 63,8 juta per tahun
	Rp. 92,4 juta per tahun

C. Aspek lingkungan

Pengolahan tinja menjadi biogas juga dapat mengurangi berkembangnya mikroba-mikroba patogen seperti E. coli, fecal coliform, salmonella, Bovine enterovirus, enterovirus, dan cristosporidium [26]. Di bawah kondisi mesophilik pengurangan 95% patogen dalam kotoran hewan dapat tercapai dengan waktu tinggal 20 hari [26]. Inaktivasi E coli pada peruraian anaerobik pada

berbagai suhu telah dipelajari pada skala laboratorium oleh Pandey and Soupir [27], dan diperoleh persamaan untuk mengetahui persen survival E. coli setelah mengalami proses peruraian anaerobik sebagai berikut:

$$s=100 \cdot \exp(-a) \cdot \exp(-10217/T) \quad (17)$$

dimana s adalah survival (%), a adalah konstanta ($= 2.83 \times 10^{13}$), t adalah waktu inkubasi (hari), dan T adalah suhu (K). Berdasarkan waktu tinggal 15 hari, dan suhu operasi 30°C, diperoleh survival E coli untuk peruraian anaerobik feses sebesar 38,2% atau pengurangan E coli dari proses sebesar 61,8%. Konsentrasi E coli pada kotoran manusia adalah sebesar 10^7 - 10^9 cfu/g sehingga konsentrasi E coli pada sludge keluaran digester diperkirakan sebesar $3,8 \times 10^6 - 3,8 \times 10^8$ cfu/g. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa konsentrasi E coli dalam tinja dan dalam tangki septic adalah sebesar 10^6 per 100 ml [11] sehingga konsentrasi E coli dalam sludge dimungkinkan sebesar $3,8 \times 10^3$ per ml. Pengurangan E coli dalam jumlah yang lebih besar dapat terjadi bila proses peruraian dilakukan pada suhu thermophilik [28].

4. KESIMPULAN

Dari 15.000 santri di Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Situbondo, berpotensi dihasilkan biogas sebanyak 504,6 m³/hari atau potensi daya listrik 26,6 kW. Pemanfaatan seluruh potensi tinja manusia untuk pembangkit listrik diperkirakan akan menghemat biaya pembelian listrik pesantren sebesar Rp. 315,5 juta per tahun, dan memberikan nilai tambah dari potensi nilai jual kompos sebesar Rp. 63,8 juta per tahun, penghematan anggaran subsidi listrik Negara sebesar Rp. 92,4 juta per tahun dan penghematan pemakaian sumber energi fosil untuk pembangkit listrik. Penurunan E. coli dari proses yang akan dijalankan diperkirakan mencapai 61,8% dari konsentrasi E. coli dalam tinja yang tidak diolah menjadi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PP Salafiyah Syafi'iyah, "Wisata Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah," Situs Resmi Pemerintah Kabupaten Situbondo, <http://situbondokab.go.id>, tanggal akses Senin 14 Juli 2014.
- [2] Harian Kompas, "Biogas Kotoran Manusia Terus Dikembangkan", Minggu 1 November 2009, tanggal akses 16 Maret 2015, available sains.kompas.com/read/2009/11/01/20535377/biogas.kotoran.manusia.terus.dikembangkan

- [3] RRI.co.id, "Kotoran Manusia di Pekanbaru Dikembangkan Jadi Biogas," 21 November 2014, tanggal akses: 16 Maret 2015, available rri.co.id/post/berita/120892/teknologi/kotoran_manusia_di_pekanbaru_dikembangkan_jadi_biogas.html
- [4] SOLORAYA, "Wonogiri Bangun Instalasi Biogas dari Tinja", Minggu, 25 November 2012, tanggal akses: 16 Maret 2015, available www.solopos.com/2012/11/25/wonogiri-bangun-instalasi-biogas-dari-tinja-350550
- [5] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta, 17 Oktober 2014.
- [6] E. Y. Febrianto, S. Priyono, "Studi Pemanfaatan Feses (Kotoran Manusia) sebagai Bahan Baku Alternatif Energi Terbarukan," TELAAH Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Volume 30 (1) 2012: 19-24.
- [7] D. A. Burke, "Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook", Hill Street Olympia: Environmental Energy Company, 2001.
- [8] S. I. Damayanti, "Pemanfaatan Stillage Menjadi Biogas Melalui Proses *Co-digestion* Stillage dan Kotoran Sapi", Program Studi Teknik Kimia, Kelompok Bidang Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tesis, 2010.
- [9] A. Wresta, H. Sudiby, "The Potency of Electric Power from Cow Manure Biogas Installation In Various Provinces in Indonesia," *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Energi, Mekatronik, dan Teknologi Kendaraan (RIMTEK)*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Bandung, 2013.
- [10] Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, "Instalasi Sistem Biogas dari WC Komunal Pondok Pesantren Salafiyah Syafi'iyah Sukorejo Situbondo untuk Menghasilkan Daya Listrik 10 kW," Proposal Kegiatan Tahun Anggaran 2015, 2015
- [11] A. A. Issah, "Comparative Study of Effluent from Anaerobic Digester for Human and Fruit Waste," Thesis, Department of Agricultural Engineering, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Master of Science in Agroenvironmental Engineering College of Engineering College of Engineering, August, 2011
- [12] C. B. Niwagaba, "Treatment Technologies for Human Faeces and Urine," Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, 2009
- [13] N. Estoppey, "Evaluation of Small-scale Biogas Systems for the Treatment of Faeces and Kitchen Waste, Case Study Kochi, South India," *eawag aquatic research*, Sandec Switzerland, May, 2010.
- [14] J. N. Meegoda, Hsin-Neng Hsieh, Paul Rodriguez and Jason Jawidzik, "Sustainable Community Sanitation for a Rural Hospital in Haiti", *Sustainability* 2012, 4, 3362-3376.
- [15] A. J. Ward, "Biogas Potential of Fish Wax With Cattle Manure", Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Aarhus, Internal Report-Animal Science, 2010.
- [16] I. Angelidaki and W. Sanders, 2004, "Assessment of the Anaerobic Biodegradability of Macropollutants," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 3:117-129, 2004.
- [17] D. Deublin, A. Steinhäuser, *Biogas from Waste and Renewable Resources*, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2008.
- [18] M. Gerber and R. Span, "An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas," *International Gas Union Research Conference*, 2008.
- [19] H. D. Jordening, J. Winter, *Environmental Biotechnology*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.
- [20] D. W. Green, R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Hand Book*. 8th ed., New York: McGraw-Hill Companies Inc., 2008.
- [21] K. D. Yadav, V. Tare and M. M. Ahammed, "Vemicompost as Biofiltration Media to Control Odor from Human Feces," *Global Journal of Environmental Research* 2 (1): 18-22, 2008.
- [22] Suparman dan Suparmin, "Pembuangan Tinja dan Limbah Cair, Suatu Pengantar", Suparman, Suparmin, Penerbit Buku Kedokteran, EGC, 2001.
- [23] Agriculture Engineer Joaquin Viquez Arias, "Case Study: Technical and economic feasibility of electricity generation with biogas in Costa Rica" *Environmental Ag. Program Coordinator*, Dos Pinos Dairy Farmers Cooperative, 2009
- [24] Menteri ESDM, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2014 tentang Perubahan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 09 Tahun 2014 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara", Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral republic Indonesia 2014
- [25] PT PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan, Tenggara, dan Barat, "Tanya Jawab Seputar Pengurangan Subsidi (Kenaikan Tarif Listrik) 2013," www.pln.co.id/sulselrabar/?p=799

- [26] O. Saunders and J. Harrison, "Pathogen Reduction in Anaerobic Digestion of Manure," America's Research-based Learning Network, 22 July 2013.
- [27] P. K. Pandey and M. L. Soupir, "Escherichia Coli Inactivation Kinetics in Anaerobic Digestion of Dairy Manure Under Moderate, Mesophilic and Thermophilic Temperatures", AMB Express, a Springer Open Journal, 2011, 1 : 18
- [28] Smith SR, Lang NL, Cheung KH, Spanoudaki K., "Factor Controlling Pathogen Destruction During Anaerobic Digestion of Biowastes", Waste Manag. 2005, 25(4): 417-25



Pemanfaatan Limbah Buah Tomat untuk Produksi Bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae*

Muhammad Romli¹⁾ Heldinnie Gusty Atiqah¹⁾ dan Suprihatin¹⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Kotak POS 122, Bogor 16002
Telpon/Fax: 0251-8621974, 8627830, *)Email : mromli@hotmail.com

Abstrak - Sentra-sentra produksi tomat menghasilkan limbah hingga 20-50%. Limbah buah ini hanya mengalami kerusakan fisik dan masih mengandung karbohidrat yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah tomat untuk produksi bioetanol sebagai sumber energi. Praperlakuan hidrolisis enzimatis dilakukan terhadap bahan yang sudah dilumatkan untuk mengkonversi karbohidrat menjadi gula sederhana. Fermentasi dilakukan oleh *Saccharomyces cerevisiae* terhadap hidrolisat steril dalam erlenmeyer 300 mL pada suhu kamar selama 72 jam. Tingkat penggunaan inokulum sebesar 10% dan 15% (v/v) dan penambahan urea dikaji pengaruhnya terhadap kinerja fermentasi, meliputi kadar etanol, biomasa, dan gula sisa yang diukur setiap 12 jam. Hidrolisis dengan enzim selulase sebesar 30 IU/g serat kasar pada suhu 60°C dan pH 5 selama 3 hari menghasilkan hidrolisat sebesar 1.165 L/kg bahan dan meningkatkan gula pereduksi dari 21.6 g/L menjadi 32.6 g/L. Penggunaan 15% inokulum menghasilkan etanol sebesar 1.59%, lebih tinggi dibanding 1.26% pada 10% inokulum. Penambahan urea sebesar 2.5 g/L hidrolisat meningkatkan etanol dari 1.26% menjadi 1.53% pada 10% inokulum dan dari 1.59% menjadi 1.86% pada 15% inokulum. Waktu optimum fermentasi adalah 60 jam dengan tingkat perolehan sebesar 0.49 g etanol/g substrat dan menyisakan gula sebesar 10%.

Kata kunci: Limbah tomat, hidrolisis, enzim selulase, ragi *Saccharomyces cerevisiae*, bioetanol.

Abstract - Tomato production centers generate waste up to 20-50%. The off-spec fruit only suffer physical damage and still contain high carbohydrate. This work aims to evaluate potential use of the tomato waste for production of bioethanol as an energy source. Pretreatment by enzymatic hydrolysis was performed on mashed fruit to convert carbohydrates into simple sugars. Fermentation was carried out by *Saccharomyces cerevisiae* on sterile hydrolyzate in 300 ml erlenmeyer at room temperature for 72 hours. The effects of inoculum level and urea addition on fermentation performance were assessed in terms of ethanol, biomass, and residual sugar concentration measured every 12 hours. Hydrolysis with cellulase enzymes at 30 IU/g of crude fiber at 60 °C and pH 5 for 3 days resulted in a hydrolyzate of 1.165 L/kg material with increased reducing sugar from 21.6 g/L to 32.6 g/L. The use of 15% inoculum produced ethanol of 1.59%, higher compared to 1.26% produced by 10% inoculum. The addition of urea at 2.5 g/L hydrolyzate increased ethanol from 1.26% to 1.53% at 10% inoculum and from 1.59% to 1.86% at 15% inoculum. The optimum fermentation time was 60 hours with the yield of 0.49 g ethanol/g substrate and leaving residual sugar by 10%.

Keywords: Tomato wastes, hydrolysis, cellulose enzyme, *Saccharomyces cerevisiae*, bioethanol

1. PENDAHULUAN

Tomat merupakan produk pertanian yang bersifat mudah rusak (*perishable*) baik secara fisik, kimia maupun biologis, sehingga kuantitas limbah tomat di tingkat petani, sentra produksi, pengepul, dan pedagang cukup tinggi. Tingkat kerusakan buah tomat setelah panen dapat mencapai 20-50% [1]. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik [2], potensi limbah tomat sebagai limbah pasar mencapai 115 ton/minggu. Berdasarkan hal inilah diperlukan alternatif pemanfaatan limbah untuk meningkatkan nilai tambahnya dan menekan laju pembuangan limbah ke lingkungan. Mengacu pada kandungan karbohidrat di dalamnya, yaitu sebesar

3.92% [3], limbah buah tomat berpotensi sebagai substrat untuk produksi bioetanol.

Bioetanol menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena merupakan sumber energi alternatif, terutama sebagai bahan bakar pengganti bensin. Permintaan bioetanol juga terus-menerus meningkat. Menurut Fatony [4], terjadi kekurangan pasokan bioetanol sebesar 12170 kL pada tahun 2013, dan kekurangan ini diperkirakan akan semakin meningkat. Hal ini menjadi alasan bahwa pengembangan bioetanol penting dilakukan untuk memenuhi kebutuhan nasional.

Proses produksi bioetanol dari limbah buah tomat dilakukan melalui proses fermentasi anaerob oleh khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Jenis

khamir ini mampu menghasilkan etanol dengan kadar yang cukup tinggi yaitu sekitar 10-15% [5]. Selain itu, khamir *S. cerevisiae* diketahui tahan terhadap kadar alkohol yang tinggi hingga 12-18% (v/v), tahan terhadap kadar gula yang tinggi, dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32°C [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah buah tomat sebagai substrat untuk produksi bioethanol menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Secara khusus penelitian melihat pengaruh penggunaan jumlah inokulum dan penambahan nutrisi terhadap kinerja fermentasi. Karena pertimbangan ekonomi dan kemudahan dalam aplikasinya, maka pada penelitian ini khamir yang digunakan adalah ragi roti komersial Fermipan karena mudah diperoleh dan harganya yang relatif murah. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan bioethanol dengan bahan dasar limbah buah-buahan, khususnya limbah buah tomat.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan untuk membuat bioethanol dalam penelitian ini yaitu limbah buah tomat yang diperoleh dari Pasar Dramaga Bogor. Khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang digunakan adalah ragi roti komersial Fermipan. Enzim selulase diperoleh dari Laboratorium Bioindustri. Nutrien yang digunakan adalah urea teknis. Bahan kimia dan bahan penunjang lainnya yang digunakan antara lain H₂SO₄ 0.325 N, NaOH 1.25 N, etanol 95%, H₂SO₄ pekat, selen, NaOH 40%, H₃BO₃ 4%, indikator mensesel, H₂SO₄ 0.02 N, fenol 5%, asam 3.5-dinitrosalisilat, Na-K Tartarat, Na-Metabisulfat, HCl 0.1 N, *buffer* fosfat sitrat, CMC, akuades, dan H₂SO₄ 10%. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fermentor berupa labu erlenmeyer skala 300 ml, leher angsa, erlenmeyer 1000 ml, inkubator, mikro pipet, blender, oven, tabung ulir, kapas, kertas saring *whatman* No.40, autoklaf, termometer, cawan aluminium, cawan porselen, tanur, *hot plate*, saringan 60 mesh, desikator, pipet volumetrik, penangas air, *spektrofotometer* HACH, timbangan analitik, pH meter, alat titrasi, alat distilasi etanol, sentrifugasi, dan piknometer.

Metode

Penyiapan dan Karakterisasi Bahan

Limbah buah tomat dicuci dengan air bersih kemudian dihancurkan dengan menggunakan blender. Setelah halus dan homogen, dilakukan analisis pH awal dan analisis proksimat pada bahan

meliputi uji kadar air, serat kasar, abu, dan protein berdasarkan metode standar AOAC [7] sebagai acuan dalam melakukan penelitian utama. Selanjutnya dilakukan perhitungan total nitrogen (N) dan total karbon (C) mengacu pada prosedur yang dikembangkan oleh JICA [8].

Penentuan Dosis Enzim Selulase dan Hidrolisis

Sebelum melakukan proses hidrolisis, dilakukan uji aktivitas enzim selulase mengacu pada penelitian Derosya [9]. Enzim yang telah diuji aktivitasnya digunakan untuk menghidrolisis bahan dengan beberapa tingkat dosis enzim, yaitu 10 IU, 20 IU, 30 IU, dan 40 IU/g serat kasar. Proses hidrolisis dilakukan dalam inkubator suhu 60°C dengan menambahkan *buffer* fosfat sitrat pH 5 selama 3 hari untuk mengoptimasi kinerja enzim selulase. Hidrolisat tomat yang dihasilkan kemudian dianalisis, meliputi uji total gula [10] dan gula pereduksi [11]. Setelah memperoleh kondisi penambahan jumlah enzim terbaik, hidrolisis dilakukan dalam skala yang lebih besar. Hasil hidrolisis yang diperoleh disaring terlebih dahulu agar diperoleh cairan hidrolisat yang homogen untuk digunakan sebagai media fermentasi.

Penyiapan Inokulum dan Formulasi Media

Sebanyak 0.1 g ragi roti dilarutkan dalam 20 ml akuades pada suhu 30°C. Melalui metode penyiapan tersebut, didapatkan jumlah sel inokulum yang dapat disetarakan dengan jumlah sel inokulum kultur murni *Saccharomyces cerevisiae* [12]. Pada media yang diperkaya dengan nutrisi, urea ditambahkan untuk mencapai rasio C/N media sebesar 10 [13] yang ditentukan berdasarkan karakteristik nilai C/N limbah.

Fermentasi

Sebanyak 100 ml substrat cair limbah tomat dimasukkan ke dalam fermentor berupa erlenmeyer 300 ml, ditambahkan nutrisi berupa urea sesuai dengan perhitungan rasio C/N dan diatur pH medianya pada 4.8. Media disterilisasi di dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah dingin, ditambahkan inokulum ragi roti sebanyak 10% dan 15% dari volume substrat. Fermentasi berlangsung pada kondisi anaerob, dengan cara menutup Erlenmeyer dengan sumbat dan leher angsa yang diisi dengan asam sulfat encer untuk mencegah kontaminasi dari luar. Proses fermentasi dilakukan pada suhu ruang selama 72 jam dengan pengamatan setiap 12 jam terhadap kadar etanol, biomassa kering, dan gula pereduksi sisa. Penentuan kadar etanol dilakukan dengan metode standar AOAC [7], biomassa kering dilakukan melalui sentrifugasi dan pengeringan pada suhu 50°C selama 24 jam, dan gula pereduksi sisa dengan metode Miller [11]. Prinsip uji gula pereduksi adalah dalam suasana alkali gula pereduksi akan mereduksi asam 3,5-dinitrosalisilat

(DNS) membentuk senyawa yang dapat diukur absorbansinya pada panjang gelombang 550 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan dan Karakterisasi Bahan

Proses pengecilan ukuran terhadap limbah buah tomat yang sudah dicuci dilakukan agar diperoleh substrat yang homogen dan memiliki luas permukaan bahan yang lebih besar sehingga kontak antara bahan dan mikroorganisme dapat berlangsung secara optimum [15]. Sebelum digunakan sebagai media fermentasi, buah tomat yang telah dihaluskan dikarakterisasi terlebih dahulu, meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar protein, dan uji kadar serat kasar. Selain itu, dilakukan pula uji pH dan gula pereduksi dalam bahan untuk mengetahui kesesuaian bahan sebagai media fermentasi agar proses fermentasi dapat berlangsung secara optimal. Karakteristik limbah buah tomat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik limbah buah tomat

Parameter	Nilai (% bb)	Literatur (% bb)
Air	95.04 ± 0.01	94.00 [3]
Serat kasar	0.96 ± 0.08	1.10 [16]
Abu	0.34 ± 0.08	-
Protein	0.7 ± 0.2	0.85 [16]
Karbohidrat	3.8 ± 0.1	4.20 [3]
(by difference)		
pH	4.98	-
Total C	2.47 ± 0.02	-
Total N	0.12 ± 0.04	-

Penentuan Dosis Enzim dan Hidrolisis

Sebelum dilakukan proses hidrolisis limbah buah tomat, terlebih dahulu dilakukan analisis aktivitas enzim selulase yang digunakan. Nilai aktivitas enzim diperlukan untuk menentukan jumlah kebutuhan enzim yang perlu ditambahkan dalam proses konversi bahan (selulosa) menjadi substrat (glukosa) dalam proses hidrolisis. Satu unit enzim selulase adalah 1 µmol produk yang terbentuk dalam 1 menit [12]. Uji aktivitas enzim dilakukan dengan mengacu pada metode penelitian Derosya [9]. Dari uji tersebut diperoleh nilai aktivitas enzim yang digunakan, yaitu sebesar 414 IU/g serat kasar.

Dosis enzim yang dibandingkan yaitu sebesar 10, 20, 30, dan 40 IU/g serat kasar untuk menentukan jumlah optimum enzim yang perlu ditambahkan berdasarkan kadar gula pereduksi dan total gula yang terbentuk. Proses hidrolisis dilakukan selama 72 jam dalam inkubator suhu 60°, yang merupakan suhu optimum pertumbuhan enzim selulase yang digunakan [9]. Waktu hidrolisis ditentukan berdasarkan acuan bahwa jumlah gula hasil hidrolisis terus meningkat dengan

bertambahnya waktu hidrolisis, karena pemutusan ikatan β-1,4-glikosidik pada struktur selulosa. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap total gula dan gula pereduksi, sehingga dapat dihitung derajat polimerisasi (DP) dan nilai *Dextrose Equivalent* (DE) yang menggambarkan derajat konversi selulosa menjadi gula pereduksi. Kadar gula pereduksi, total gula, nilai DE dan DP yang diperoleh dari hasil hidrolisis limbah buah tomat dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan perbandingan hasil hidrolisis dari ketiga dosis enzim tersebut, hidrolisis menggunakan 30 IU enzim selulase menghasilkan nilai DE paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada dosis enzim yang lebih tinggi yaitu 40 IU/g serat kasar, nilai DE justru cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi enzim merupakan faktor penentu tingkat konversi dan memiliki nilai batas maksimum yang bila dilewati menyebabkan proses hidrolisis tidak berlangsung sempurna. Pada kondisi ini enzim selulase tetap melakukan hidrolisis pada selulosa, namun tidak sampai pada pembentukan glukosa, melainkan disakarida berupa selobiosa sehingga menyebabkan peningkatan gula total yang lebih tinggi dibandingkan pembentukan gula pereduksi. Dengan demikian ditentukan bahwa dosis 30 IU/g serat kasar merupakan kondisi paling optimum untuk hidrolisis substrat limbah buah tomat.

Tabel 2 Total gula dan gula pereduksi hasil hidrolisis pada dosis enzim 10–40 IU

Dosis Enzim (IU/g)	Gula pereduksi (g/L)	Total gula (g/L)	DE (%)	DP
10	27.1±0.1	36.0±0.6	75	1.32
20	30.0 ±0.2	37.5±0.3	80	1.24
30	32.6±0.4	38.6±0.3	84	1.184
40	32.8±0.4	39.8±0.2	82	1.212

Hidrolisat yang diperoleh kemudian diuji kadar gula pereduksinya sebagai acuan dalam melakukan proses fermentasi. Hasil hidrolisis menunjukkan adanya peningkatan kadar gula pereduksi dari 21.6 g/L pada bahan limbah menjadi 32.6 g/L pada hidrolisat.

Pengaruh Penambahan Nutrien

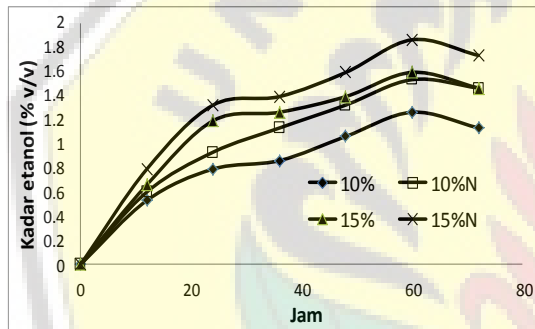
Proses fermentasi etanol tidak hanya membutuhkan glukosa sebagai sumber karbon, namun juga membutuhkan sumber nutrisi pendukung lainnya, terutama sumber nitrogen. Penambahan nutrien yang sesuai akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang berarti juga meningkatkan produksi etanol. Sumber nitrogen yang biasa digunakan dalam proses fermentasi etanol antara lain adalah ekstrak khamir, *corn steep liquor*, ammonium sulfat, urea, protein, ekstrak gandum, dan bahan lainnya yang pada dasarnya memiliki kandungan nitrogen dalam

jumlah tinggi. Pada penelitian ini digunakan urea karena mudah diperoleh dan harganya murah.

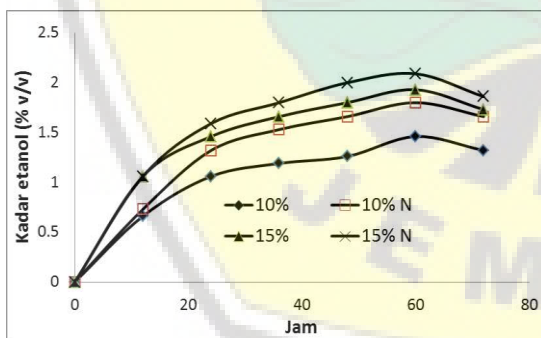
Menurut Syamsu *et al.* [13] nilai rasio C/N yang dibutuhkan sebagai media fermentasi etanol yang baik adalah sebesar 10. Berdasarkan hasil karakterisasi bahan yang menunjukkan konsentrasi C dan N masing-masing sebesar 2.47% dan 0.12% (rasio C/N 20.58), maka diperlukan tambahan urea sekitar 2.5 g/l hidrolisat (bobot N dalam urea adalah 46.7%) untuk menghasilkan media dengan rasio C/N 10.

Fermentasi

Pengaruh jumlah inokulum dan pengayaan nutrisi terhadap kinerja pembentukan etanol dari limbah buah tomat diperlihatkan pada Gambar 1a dan 1b. Pada Gambar 1a fermentasi berlangsung pada kadar gula awal 29 g/l, sedangkan Gambar 1b merupakan ulangan tetapi dengan kadar gula awal yang sedikit lebih tinggi, yaitu 31mg/l.



a. Kadar gula awal 29 g/l



b. Kadar gula awal 31 g/l

Gambar 1 Profil pembentukan etanol pada kadar gula awal 29 g/l (atas) dan 31 g/l (bawah)

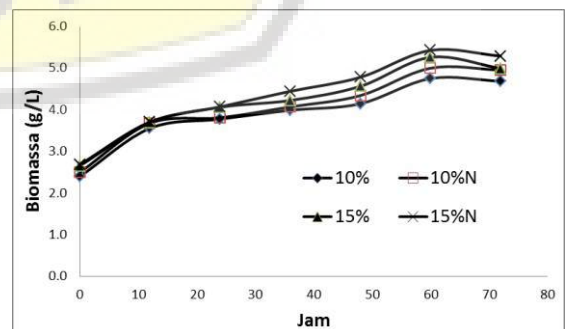
Berdasarkan profil pembentukan etanol selama fermentasi, secara garis besar terlihat bahwa etanol mengalami peningkatan dimulai dari awal pengamatan hingga pada jam ke 60, sedangkan pada waktu fermentasi 72 jam terjadi penurunan kadar etanol. Hasil yang konsisten, yang menunjukkan adanya penurunan konsentrasi etanol pada jam 72 juga terjadi pada run 2 (Gambar 1b). Hal ini diduga karena adanya proses inhibisi dari

etanol yang dihasilkan. Menurut Clark dan Mackie [17], khamir sangat peka pada etanol ketika konsentrasi etanol telah mencapai 1-2% (v/v) sehingga dapat menghambat proses fermentasi. Pada konsentrasi etanol 10% (v/v), pertumbuhan khamir justru akan berhenti sama sekali. Mengacu pada hasil yang diperoleh, ketika etanol mencapai kadar 1.26–2.09% (v/v) setelah 60 jam fermentasi pada kedua ulangan, maka akan terjadi proses penghambatan.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perbedaan jumlah inokulum berpengaruh terhadap produksi etanol. Fermentasi dengan menggunakan jumlah inokulum sebesar 15% menghasilkan etanol yang lebih tinggi yaitu 1.59% (v/v) dibandingkan dengan fermentasi dengan 10% inokulum yang hanya menghasilkan kadar etanol sebesar 1.26% (v/v). Hal ini menjelaskan bahwa konsentrasi inokulum sebanyak 10% belum dapat mengkonversi gula secara optimal, sehingga pada konsentrasi inokulum yang lebih tinggi kinerja yang dihasilkan semakin baik.

Perlakuan lainnya yang diamati adalah pengaruh penambahan nutrisi berupa urea dalam media fermentasi. Urea mengandung nitrogen dalam jumlah tinggi, dimana unsur nitrogen diperlukan untuk pemeliharaan sel dan pertumbuhan mikroba. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pengayaan nutrisi melalui penambahan urea dapat meningkatkan kadar etanol dari 1.26% (v/v) menjadi 1.53% (v/v) pada fermentor dengan 10% inokulum. Penambahan urea yang dilakukan pada fermentor dengan 15% inokulum menghasilkan peningkatan kadar etanol dari 1.59% (v/v) menjadi 1.86% (v/v).

Pertumbuhan biomassa merupakan salah satu parameter kinerja yang penting dalam proses fermentasi. Dalam penelitian ini biomassa ditentukan dari pengukuran konsentrasi biomassa kering yang dipisahkan melalui proses sentrifugasi [18]. Gambar pertumbuhan sel berdasarkan biomassa kering antar perlakuan yang dicobakan ditunjukkan pada Gambar 2.

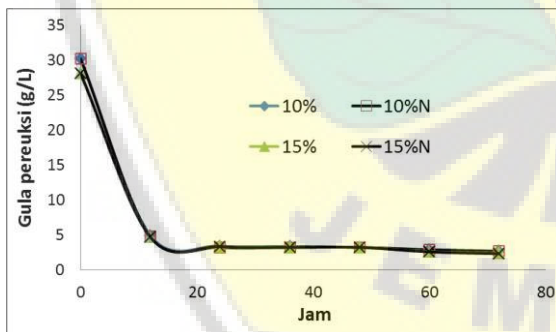


Gambar 2 Grafik pertumbuhan biomassa

Terlihat pada Gambar 2 bahwa selama 12 jam pertama terjadi pertumbuhan biomassa yang

cepat dan tidak memperlihatkan adanya fase *lag* pada semua perlakuan. Meskipun demikian, pada jam-jam selanjutnya penggunaan inokulum dengan jumlah yang lebih tinggi (15%) dan pengayaan media dengan nutrisi menghasilkan laju pertumbuhan sel dan konsentrasi sel maksimum yang sedikit lebih tinggi dibanding dengan inokulum 10% dan tanpa pengayaan nutrisi. Hal inilah yang menyebabkan produksi etanol yang lebih tinggi pada inokulum 15% dan juga pada media yang diperkaya dengan urea sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Dari parameter kadar etanol dan konsentrasi biomassa yang dihasilkan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2 dapat disimpulkan bahwa waktu fermentasi optimum untuk produksi etanol dari limbah tomat adalah 60 jam. Fermentasi yang lebih lama menyebabkan terjadinya penurunan kadar etanol dan biomassa. Oleh karena itu, perhitungan nilai parameter kinetika didasarkan pada fermentasi sampai dengan 60 jam.

Gambar 3 memperlihatkan profil penurunan kadar gula selama proses fermentasi. Penurunan yang sangat tajam yaitu dari sekitar 30 g/l menjadi 5 g/l terjadi pada 12 jam pertama fermentasi. Hal ini sejalan dengan pertumbuhan biomassa yang cepat pada awal proses fermentasi. Kadar gula menurun lebih lanjut dengan laju yang sangat rendah pada jam-jam setelahnya hingga mencapai kadar 2.5 g/l pada jam ke 60. Tingkat konsumsi substrat tertinggi terjadi pada perlakuan media dengan pengayaan nutrisi pada tingkat inokulum 15%, yaitu 91%.



Gambar 3 Profil penurunan kadar gula selama fermentasi

Mengacu pada analisis kadar etanol, pertumbuhan biomassa, dan kadar gula pereduksi sisa, dapat ditentukan bahwa jumlah inokulum dan penambahan nutrisi dalam media memiliki pengaruh terhadap hasil fermentasi. Semakin banyak inokulum yang ditambahkan dan penambahan nutrisi berupa urea akan memicu kinerja fermentasi sehingga membentuk hasil yang optimum. Hal ini menjadi dasar bahwa jumlah inokulum 15% dan penambahan urea untuk mencapai rasio C/N 10 pada media merupakan

kombinasi perlakuan paling baik dibandingkan perlakuan lainnya.

Berdasarkan analisis sidik ragam yang dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95%, dihasilkan bahwa lama waktu fermentasi memberikan pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap kadar etanol, namun tidak terdapat perbedaan antara waktu fermentasi 60 dan 72 jam. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu optimum fermentasi hidrolisat limbah tomat menggunakan khamir *S.cerevisiae* untuk produksi etanol adalah 60 jam.

Pada waktu fermentasi optimumnya, khamir *S. cerevisiae* mampu membentuk etanol dengan *yield* sebesar 0.49 ± 0.01 g/g substrat yang dikonsumsi dengan tingkat penggunaan gula $90.7 \pm 0.4\%$. Secara teoritis, dari setiap penggunaan 1 g glukosa akan menghasilkan 0.51 g etanol, namun seringkali konversi ini tidak dapat tercapai 100% karena selama reaksi terjadi pembentukan produk sampingan [19]. Berdasarkan data tersebut, maka efisiensi pembentukan etanol pada perlakuan terbaik cukup tinggi, yaitu 97%.

Kinetika Fermentasi

Pertumbuhan mikrobial ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah massa dan sel, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fisik dan kimianya. Pada fase eksponensial, sel telah beradaptasi dengan lingkungannya sehingga sel akan tumbuh dengan cepat. Massa sel dan jumlah sel akan bertambah secara eksponensial, yaitu semua komponen dalam sel tumbuh dengan kecepatan yang sama. Laju pertumbuhan pada fase eksponensial mengikuti persamaan diferensial ordo pertama [20]:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (1)$$

dimana μ adalah laju pertumbuhan spesifik, dan jumlah sel. Dalam fase pertumbuhan eksponensial jumlah sel meningkat sebagai fungsi waktu t dalam fungsi eksponensial:

$$X = X_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \text{ atau } \mu = \frac{\ln \frac{X}{X_0}}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

dengan X_t dan X_0 adalah jumlah sel (konsentrasi biomassa) pada waktu ke- t dan ke-0.

Parameter lainnya dalam kinetika fermentasi yang menggambarkan efisiensi konversi substrat menjadi biomassa atau produk dan biomassa menghasilkan produk ditunjukkan oleh perolehan biomassa per substrat (Y_x/s), perolehan produk per substrat (Y_p/s), serta perolehan produk per biomassa (Y_p/x):

$$Y_{x/s} = (X - X_0)/(S_0 - S) \quad (3)$$

$$Y_{p/s} = (P - P_0)/(S_0 - S) \quad (4)$$

$$Y_{p/x} = (P - P_0)/(X - X_0) \quad (5)$$

dengan S dan S_0 adalah konsentrasi substrat pada waktu ke-t dan ke-0, dan P dan P_0 adalah konsentrasi produk waktu ke-t dan ke-0.

Biomassa khamir mengalami pertumbuhan eksponensial yang berlangsung hingga jam ke-60. Setelah melewati fase eksponensial, laju pertumbuhan khamir mengalami perlambatan, stagnasi dan kemudian menurun. Perhitungan nilai parameter kinetika menggunakan persamaan (1) – (5) pada kondisi terbaik, yaitu penggunaan 15% inokulum dan C/N 10, menghasilkan laju pertumbuhan spesifik (μ_{maks}) sebesar 0.01 jam⁻¹, $Y_{p/s} = 0.49 \pm 0.01$ g produk/g substrat, $Y_{x/s} = 0.062 \pm 0.001$ g biomassa/g substrat, dan $Y_{p/x} = 7.9 \pm 0.4$ g produk/g biomassa.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Limbah buah tomat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai substrat dalam fermentasi bioetanol dengan melihat pada kandungan karbohidrat awal bahan sebesar $3.8 \pm 0.1\%$. Karbohidrat dikonversi menjadi gula-gula sederhana melalui proses hidrolisis oleh enzim selulase yang dapat meningkatkan kadar gula pereduksi awal dari 21.55 g/L menjadi 33 g/L. Hasil fermentasi menunjukkan bahwa substrat dengan konsentrasi inokulum 15% dapat menghasilkan etanol yang lebih tinggi yaitu 1.59% (v/v) dibandingkan 10% inokulum yang menghasilkan kadar etanol sebesar 1.26% (v/v). Penambahan urea dapat meningkatkan kadar etanol dari 1.26% (v/v) menjadi 1.53% (v/v) pada fermentor yang menggunakan 10% inokulum; sedangkan penambahan urea pada fermentor dengan 15% inokulum menghasilkan peningkatan etanol dari 1.59% (v/v) menjadi 1.86% (v/v). Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa penggunaan 15% inokulum dan penambahan urea untuk mencapai rasio C/N 10 pada media merupakan kombinasi perlakuan terbaik pada fermentasi etanol dengan khamir *S. cerevisiae* pada substrat hidrolisat limbah tomat. Berdasarkan analisis sidik ragam pada tingkat kepercayaan 95%, diketahui bahwa waktu optimum fermentasi adalah 60 jam dengan *yield* etanol sebesar 0.49 ± 0.01 g/g substrat yang dikonsumsi, setara dengan tingkat penggunaan gula 91%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui kinerja proses fermentasi bila limbah tomat tidak diberi praperlakuan hidrolisis enzimatis untuk lebih menyederhanakan proses produksi.

DAFTAR REFERENSI

- [1] FG. Winarno, **Kimia** Pangan dan Gizi, Gramedia, 1991
- [2] Badan Pusat Statistik, Jakarta dalam Angka 2009, Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, 2009
- [3] Direktorat Gizi Departemen Kesehatan, Kandungan Gizi dalam 100 gram Buah Tomat, Departemen Kesehatan RI, 1979
- [4] MG. Fatony, Analisis Kelayakan Investasi Proyek Bioetanol di Jawa Timur, Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia, 2010
- [5] A. Martini, "Biotechnology of natural and winery associated strains of *Saccharomyces cerevisiae*", *International Microbiology* Vol. 6, 2003, pp. 207-209.
- [6] JS. Harrison and JCJ. Graham, *Yeast in Distillery Practice*, Academic Press, London, 1970
- [7] [AOAC] Association of Official Analytical Chemistry, "Official Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemistry", AOAC International, Washington, 1995
- [8] [JICA] Japan International Cooperation Agency, "Methods of Soil Chemical Analysis", Dokumen BARISTAN INDAG, Japan International Cooperation Agency (JICA), Bogor, 1978
- [9] V. Derosya, "Sakarifikasi Empulur Sagu (Metroxylon sagu) dengan Konsorsium Enzim Amilolitik dan Holoselulolitik untuk Produksi Bioetanol", Skripsi pada Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2010
- [10] M. Dubois, KA. Gilles, JK. Hamilton, PA. Rebers, F. Smith, "Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances", *J Anal Chem*, Vol. 28, No. 3, 1956, pp. 350 – 356
- [11] GI. Miller, "The Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar", *Anal. Chem.* Vol. 31, No. 3, 1959, pp. 426 – 428
- [12] ID. Suyandra, "Pemanfaatan Hidrolisat Pati Sagu (*Metroxylon* sp.) Sebagai Sumber Karbon Pada Fermentasi Etanol Oleh *Saccharomyces cerevisiae*", Skripsi pada Departemen Teknologi Industri Pertanian,

- Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2007
- [13] K. Syamsu, A. Suryani, AM. Fauzi, BWD. Wicaksono, "Optimasi Produksi, Karakterisasi, Aplikasi dan Pengujian Biodegradasi Bioplastik yang Dihasilkan Oleh *Ralstonia eutropha* pada Substrat Hidrolisat Minyak Sawit", Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing IX. Pusat Penelitian Bioteknologi. IPB, 2003
- [14] A. Pons, CG. Dussap, JB. Gross, . 1990. Xanthan Bath Fermentation: ompared Performance of A Bubble Coloumn and A Stirred Tank Fermentor. *Bioprocess Eng* Vol. 5, 1990, pp. 107 – 114
- [15] MA. Kusumaningati, N. Sri, M. Anton, „Pengaruh Konsentrasi Inokulum Bakteri *Zymomonas mobilis* dan Lama Fermentasi Pada Produksi Etanol dari Sampah Sayur dan Buah Pasar Wonokromo Surabaya”, Universtas Brawijaya, 2013
- [16] George Mateljan Foundation, "The World's Healthiest Food", 2007, Diakses dari www.whfoods.org. (15 Juni 2014).
- [17] T. Clark and KL Mackie, "Fermentation Inhibition in Word Hydrolysates Derived from the Softwood *Pinus radiate*", *J. Chem. Biotechnol.* Vol. 34B, 1984, pp. 101 – 110.
- [18] FA. Sari, "Pengaruh Jenis Asam pada Hidrolisat Pati Sagu (*Metroxylon sp.*) untuk Pembuatan Etanol, Fateta IPB, 2009
- [19] MA. Amerine, HW. Berg, RE. Kunkee, CS. Ough, VI. Singleton, AD. Webb, "Technology of Wine Making", The AVI Publishing Co. Inc, Conneticut, 1987
- [20] ML. Shuler, and KF. Kargi, "Bioprocess Engineering Basic Concepts", Prentice Hall, New Jersey, 1992
- [21] PF. Stanbury and A. Whitaker, "Principles of Fermentation Technology", New York: Pergamon Press, New York, 1993

Notulensi Diskusi:

ETO-202, Muhammad Romli dkk, Pemanfaatan Limbah Buah Tomat untuk Produksi Bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae*

- **Tanya:** Etanol yang dihasilkan dari penelitian Bapak kadarnya 1-2%, padahal dalam pembuatan tape etanolnya >2%, sedang efisiensi substrat sampai 90%. Mohon konfirmasinya ada kejadian apa dalam bahan yang digunakan apakah terlalu tinggi nitrogennya atau seperti apa? (Nur Hidayat)
Jawab: Substrat 91% sudah digunakan sehingga glukosa sedikit, bukan karena etanol yang sedikit. hal-hal lain yang dapat menyebabkan etanol sedikit akan dilakukan

penelitian lanjutan. Penelitian ini baru tahap awal untuk nilai ekonomisnya belum dikaji.

- **Tanya:** Penelitian ini menggunakan *Saccharomyces cerevisie*, jika yang dihasilkan etanolnya 1% untuk industry bioetanol masih kurang layak. Kenapa tidak menggunakan *Sicomonas* yang mungkin kemampuannya lebih tinggi? (Nur Hidayat)
Jawab: Kami menggunakan *Saccharomyces cerevisie* karena mudah diperoleh, mudah digunakan/dibiakkan dan murah.

Pemanfaatan Saluran Irigasi Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Henny Sudibyo¹⁾, Anjar Susatyo¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Kompleks LIPI Gd. 20, Jl Sangkuriang, Bandung 40135
Email: henny.sudibyo@lipi.go.id, anjarsusatyo@yahoo.com

Abstrak - Saluran irigasi, merupakan infrastruktur yang mendistribusikan air yang berasal dari bendungan kepada lahan pertanian yang dimiliki oleh masyarakat. Tujuan penulisan ini yaitu memaparkan potensi saluran irigasi yang bisa dimanfaatkan untuk memperoleh energi alternatif dengan menggunakan turbin salah satunya turbin head rendah hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI. Metode penelitian adalah melakukan kajian sistem pembangkit tenaga listrik yang cocok dan memenuhi persyaratan untuk diterapkan pada sistem irigasi. Alternatif sistem pembangkit yang diterapkan pada saluran irigasi yang dipilih yaitu sistem turbin propeller head rendah yang telah dikembangkan oleh Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI. Hasil dari pengujian turbin head rendah pada saluran irigasi menunjukkan efisiensi terendah turbin sebesar 16,94% dan tertinggi 80,42%. Berdasarkan analisis kelayakan turbin, analisis lingkungan dan sosial kemasyarakatan dari pembangunan turbin head rendah yang diterapkan di saluran irigasi adalah secara keseluruhan berdampak positif karena akan memberikan berbagai keuntungan bagi peningkatan kelayakan hidup masyarakat sekitar lokasi.

Kata kunci: saluran irigasi, pembangkit listrik, mikrohidro

Abstract - Irrigation channels is infrastructure that distribute water from a dam to agricultural land owned by the community. The purpose of this paper is to describe potential of irrigation channels to be used to generate electricity by using low head turbines a research result of Research Center for Electric Power and Mechatronics LIPI. The research method is through reviewing power generation system that is suitable and meets the requirements to be applied to the irrigation system. A power generation systems applied to the irrigation channel -is a low head propeller turbine system developed by the Research Center for Electric Power and Mechatronics LIPI. The results obtained during the testing of low head turbine studied were the lowest turbine efficiency of 16.94% and the highest efficiency of 80.42% . Turbine feasibility analysis, environmental and social impact analysis of the development of low head turbines applied at the irrigation shows that the power generation system would provide variety of benefits for surrounding community.

Key words: irrigation, power generation, microhydro

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Mikrohidro atau lebih dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) cukup menjanjikan karena Indonesia memiliki potensi aliran air besar. PLTMH merupakan pembangkit listrik yang paling ekonomis terutama untuk daerah-daerah pedesaan. Peta geografis Indonesia menunjukkan potensi air sangat melimpah dan belum banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan melalui PLTMH tergantung dari besarnya debit air yang mengalir dan beda ketinggian jatuhnya air. Data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2014 memperlihatkan 460 MW potensi PLTMH dan baru terinstalasi tidak lebih dari 64 MW atau 13,9%.

Aliran air di saluran irigasi mempunyai kestabilan aliran debit lebih baik dibandingkan dengan debit air di sungai. Debit air di aliran irigasi relatif tidak terpengaruh oleh perubahan musim atau cuaca. Kondisi ini sangat menguntungkan untuk pemanfaatan pembangkit listrik yang menuntut kesinambungan suplai air yang tinggi. Indonesia memiliki sawah irigasi teknis 6,134 juta ha, terdiri dari 19.344 daerah irigasi yang tersebar di seluruh Indonesia, terutama di Jawa, Sumatera dan Sulawesi. Di setiap jaringan irigasi teknis terdapat beberapa bangunan terjun dan bangunan sadap yang memiliki tinggi jatuh hidrolik, sehingga mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai PLTMH [1]. Tabel 1 merupakan data daerah irigasi di Indonesia.

Tabel 1. Data Daerah Irigasi di Indonesia [1].

Pulau	Jumlah Irigasi	Luas Rencana (Ha)
Sumatera	3800	1,506,748
Jawa dan Bali	1300	2,853,730,7
Nusa Tenggara	808	583,507
Kalimantan	853	585,216,1
Sulawesi	837	741,953
Maluku	31	41,302
Papua	15	22,150
Indonesia	19,344	6,134,624,8

Jika potensi jaringan irigasi di berbagai daerah dapat dimanfaatkan secara maksimal, maka akan memberi kontribusi yang positif dalam mengatasi krisis energi listrik yang semakin hari semakin meningkat dan taraf hidup rakyat meningkat. Tujuan dari penerapan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di jaringan irigasi adalah untuk menunjang pembangunan pedesaan melalui peningkatan taraf sosial-ekonomi masyarakat desa. Jaringan irigasi menunjang pembangunan pertanian serta energi. Penelitian tentang PLTMH yang bisa diterapkan di saluran irigasi diantaranya merupakan penelitian-penelitian yang memanfaatkan saluran irigasi atau sungai yang mempunyai head atau beda ketinggian kecil dengan menggunakan turbin low head. Bacon and Davison mengemukakan bahwa pemilihan turbin yang digunakan untuk skema *low head* menggunakan tipe propeller dengan empat variasi yaitu *basic propeller* turbin dengan rotor dan *guide vane* tetap, *kapellar* dengan *guide vane* dapat diatur sementara rotor tetap, *semi-kaplan* dengan *guide vane* tetap dan *blade* rotor dapat digerakkan dan *full kaplan* dengan *guide vane* dan rotor dapat digerakkan. Untuk head dibawah 3 m aplikasi turbin tipe propeller tepat dikembangkan juga termasuk tipe variasi *full-kaplan* atau *semi-kaplan* [2].

Penelitian lain tentang PLTMH untuk saluran irigasi yaitu pemanfaatan *very low head* turbin yang dirancang khusus dengan net head 1.4 m – 3 m. Tujuan pengembangan turbin *low head* untuk mengurangi pekerjaan sipil, kemudahan dalam instalasi sistem, serta harga yang sesuai. Pengembangan konsep VLH didasarkan pada teknologi pendukung yaitu menggunakan generator permanent magnet dengan kecepatan yang bervariasi, sistem tenaga listrik, dan terintegrasi dengan sistem kontrol [3]. Gambar 1 menunjukkan PLTMH yang diterapkan pada saluran irigasi di luar negeri dengan konsep VLH. Dari penelitian yang memanfaatkan saluran irigasi dengan turbin *propeller open flume* kapasitas 100 watt didapatkan kesimpulan bahwa dengan debit air (Q) 0,005 m³/detik, tinggi jatuh air (head) = 3 m, daya potensi desain sebesar 147 watt didapatkan daya output

generator beban penuh sebesar 120,58 watt dan efisiensi total sebesar 82% [4]. Penelitian tentang turbin irigasi dengan head rendah dikembangkan oleh BPPT. BPPT mengembangkan turbin dengan nama *Ultra Low Head* yaitu untuk tinggi terjun atau head dibawah 2 m. Turbin ini sederhana karena hanya terdiri sebuah turbin *propeller*, generator permanen magnet, pipa dan saluran air. Daya listrik yang dikeluarkan pada turbin yang dikembangkan BPPT sebesar 2.000 watt, dengan head 2m [5].



Gambar 1. Instalasi PLTMH pada saluran irigasi atau sungai dengan ketinggian air rendah.

Salah satu aspek penting dalam teknik pembangkitan listrik di saluran irigasi yang mempunyai *low head* adalah pemilihan turbin. Turbin yang optimal untuk beda ketinggian relatif kecil adalah turbin reaksi. Turbin ini bekerja memanfaatkan perubahan tekanan dan beroperasi terendam dalam air. Contoh turbin reaksi adalah turbin *Francis*, *Propeller*, dan *Kaplan*. Akan tetapi, yang banyak digunakan untuk *low head* adalah turbin Propeller dan Kaplan. Karakteristik khas turbin reaksi adalah tekanan jatuh terjadi pada sudu tetap dan sudu berputar. Turbin *Propeller* memiliki blade yang mirip dengan propeller pesawat terbang atau kapal laut. Turbin ini biasanya memiliki 3-6 blade. Aliran air yang melewati turbin diatur oleh gate yang berada di sisi atas propeler. Turbin Axial yang canggih memiliki *gate* dan *blade* yang variabel. Artinya *gate* dan *blade* dapat diatur gerak dan posisinya, sehingga dapat bekerja sama. Keuntungannya dapat bekerja pada rentang variasi debit yang lebar. Turbin *axial* seperti ini dikenal dengan nama turbin Kaplan [6].

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI merancang prototipe PLTMH yang cocok digunakan pada saluran irigasi. Pada tulisan ini dipaparkan hasil rancangan turbin irigasi serta hasil pengujian turbin yaitu karakteristik turbin untuk sistem PLTMH beserta efisiensinya. Kajian dampak lingkungan dan sosial kemasyarakatan dipaparkan untuk menunjang kelayakan PLTMH pada saluran irigasi.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian meliputi studi pustaka tentang teori turbin yang relevan digunakan pada saluran irigasi, syarat-syarat saluran irigasi yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit listrik mikrohidro serta rancangan prototipe pembangkit listrik dan pendataan spesifikasi turbin (Tabel 2).

Tabel 2. Data Turbin Rancangan LIPI

Type turbine	Propeller
Daya Turbin	300 – 500 watt
Diameter Runner	200 – 750 mm
Putaran Turbin maks	100 – 750 rpm
Debit	0,3 - 1 m ³ /detik
Head net maks	0 – 1 m
Kecepatan arus min	0,5 m/s
Effisiensi turbin	40 – 90 %

Setelah dilakukan pendataan kemudian dilakukan pengujian turbin. Pengujian untuk mendapatkan karakteristik turbin dengan variabel head dan beban elektrik. Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data efisiensi turbin dengan variabel : kecepatan arus v (m/s), ketinggian $level$ air h (m), $run\ way\ speed/$ kecepatan lari tanpa beban, putaran turbin, torsi turbin, perubahan beban elektrik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Syarat saluran irigasi yang dapat digunakan untuk PLTMH yaitu pengelolaan jaringan irigasi cukup baik, sehingga pendistribusian air berlangsung secara teratur sepanjang tahun, debit air tersedia sepanjang tahun dan dapat dipenuhi oleh debit sungai rata-rata pada musim kemarau. Analisis ketersediaan air bertujuan untuk menentukan besaran debit yang bisa dimanfaatkan atau yang tersedia sepanjang tahun dengan tingkat keandalan (*debit andalan*) tertentu. Tingkat keandalan yang dipilih tergantung pada jenis pemanfaatan air dan tingkat kepentingannya. Untuk penyediaan air irigasi ditentukan tingkat keandalan 80% dan untuk pembangkit listrik ditentukan tingkat keandalan 95% atau bahkan 100% [1].

Untuk perencanaan dan pemilihan jenis turbin memperhatikan debit air (Q) dan tinggi jatuh air efektif (H). Debit air (Q) meliputi debit potensi dan debit terpakai. Debit potensi adalah debit yang digunakan untuk PLTMH. Pengambilan air dilakukan dengan cara sadapan langsung dari sungai atau irigasi tanpa adanya tampungan air dari waduk. Debit terpakai adalah debit nyata yang dimanfaatkan oleh turbin dan diukur setelah keluar dari PLTMH. Pengukuran dan perhitungan debit secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan pelampung untuk menentukan kecepatan aliran air. Untuk mengetahui debit air ini digunakan persamaan[7].

$$Q = k. A. V (m^3/s) \quad (1)$$

Dengan : Q = debit (m^3/s), A = luas penampang basah (m^2), V = kecepatan aliran (m/s), k = koefisien pengaliran.

Tinggi jatuh air meliputi tinggi jatuh air total (H) dan tinggi jatuh air efektif (H_{ef}). Tinggi jatuh air total adalah perbedaan ketinggian antara permukaan air dikolam tando (*head race*) dan permukaan air di pembuangan (*tail race*). Tinggi jatuh air efektif adalah tinggi jatuh air total dikurangi dengan kerugian tinggi akibat gesekan pada pipa pesat dan peralatan lainnya.

Turbin reaksi dibagi menjadi dua jenis, yaitu turbin Francis dan Propeller. Turbin Propeller memiliki karakteristik sebagai berikut : 1) sudu tetap (*fixed blade*), turbin jenis ini merupakan turbin generasi pertama. Karena sudu tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit air yang lebar. Oleh karena itu dikembangkan jenis sudu yang dapat diatur agar efisiensi tetap tinggi walaupun kisaran debit air lebar, 2) sudu dapat diatur (*adjustable blade*). Turbin reaksi, diperuntukkan untuk tinggi jatuh sedang dan tinggi jatuh rendah dengan debit air cukup besar. Untuk efisiensi turbin pada sistem PLTMH ini adalah perbandingan antara energi (daya) yang terbangkit dengan potensi energi (daya) yang tersedia. Efisiensi turbin ini merupakan efisiensi total turbin. Efisiensi total turbin dapat dilihat dari perhitungan daya/energi yang dibangkitkan air dengan debit air (Q) jatuh dari ketinggian (H). Spesifikasi rancangan turbin ditunjukkan pada tabel 2. Saat dilakukan pengujian dilapangan daya turbin pada rancangan turbin propeller ini head terukur sebesar 0,63 m dan debit 0,12 m³/s. Daya turbin efektif (P_t) pada head 0,63 m dengan debit 0,12 m³/s adalah

$$P_t = \rho. g. H. Q. \quad (2)$$

$$P_t = 1000 . 9,81 . 0,63 . 0,12 .$$

$$P_t = 741,63 \text{ watt}$$

Pada hasil pengujian di peroleh daya nyata yang dikeluarkan oleh generator pada head 0,63 m dengan debit 0,12 m³/s sebesar 148,5 watt. Maka Efisiensi total turbin yaitu energi daya yang terbangkit dengan daya yang tersedia dan diperoleh nilai sebesar :

$$= \frac{148,5}{741,63} 100\% = 20 \%$$

Parameter uji yang ingin diketahui dari PLTMH ini meliputi kecepatan putar turbin (rpm), daya hidrolis, efisiensi. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan turbin pada aliran sungai. Sebelum melakukan pengujian dibuat bendungan untuk mengarahkan aliran air dan memperbanyak debit air yang masuk ke dalam turbin. Parameter yang di ukur pada input sebagai berikut: luas 6 sudu, luas penampang turbin, kecepatan aliran (m/s)



Gambar 2. Pengukuran Sudu Turbin

Kecepatan aliran ini diukur dengan menggunakan flowmeter, untuk mengetahui nilai kecepatan aliran dan dilakukan di beberapa titik pengukuran dengan posisi di depan turbin seperti pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 3. Posisi turbin pada PLTMH saat pengujian

Parameter pada output yang diukur adalah kecepatan putaran (rpm) dan massa (kg). Massa yang diukur pada poros turbin harus bersamaan dengan pengukuran putaran turbin. Data hasil pengujian seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Lapangan

Kecepatan Aliran (m/s)				Tinggi jatuh (m)	N (rpm)	r (m)	m (kg)
V1	V2	V3	V rata2				
1,2	1,2	1,2	1,2	0,17	50,7	0,2	1,5
1,4	1,4	1,4	1,4	0,23	152	0,2	3,75
1,6	1,6	1,6	1,6	0,27	164,8	0,2	4
2	2	2	2	0,3	178	0,2	4,5
2,2	2,2	2,2	2,2	0,35	198,4	0,2	5
2,4	2,4	2,4	2,4	0,4	221,2	0,2	5,5

Perhitungan pada Input Turbin yaitu debit air dan daya hidrolis.

Debit air dapat dihitung dengan persamaan yaitu $Q = A \times v$ (3)

A merupakan luas sudu-sudu turbin dan sehingga diperoleh nilai :

$$= 0,046 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ m/s}$$

$$= 0,055 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daya hidrolis dihitung dengan persamaan 4 yaitu :

$$N_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (4)$$

$$= 997 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,055 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,017 \text{ m}$$

$$= 92.255 \text{ watt}$$

Perhitungan pada output turbin meliputi torsi, kecepatan, daya poros dan efisiensi turbin. Torsi turbin (T) dihitung dengan persamaan 5.

$$T = \dots \quad (5)$$

$$= m \times g \times l$$

$$= 1,5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 2,94 \text{ Nm}$$

Kecepatan sudut putar dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times 50,7 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 5,3066 \text{ rad/sec}$$

Daya Poros dihitung dengan persamaan

$$P = T \cdot \omega \quad (7)$$

$$N_T = 5,3066 \times 2,94 \text{ Nm}$$

$$N_T = 15,60 \text{ watt}$$

Efisiensi Turbin (η) dihitung dengan persamaan

$$\eta_T = \frac{N_P}{N_H} \times 100\%$$

$$\eta_T = \frac{15,62 \text{ watt}}{92,255 \text{ Watt}} \times 100\%$$

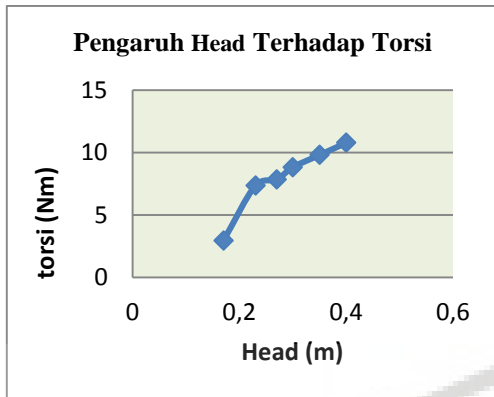
$$\eta_T = 16,94 \%$$

Tabel 5 Hasil Perhitungan Pengujian Lapangan

Debit (m3/s)	Daya Hidrolik (watt)	Torsi (Nm)	Daya Poros (Watt)	Effisiensi (%)
0,055	92,255	2,94	15,62	16,94
0,064	145,618	7,36	117,10	80,42
0,074	195,363	7,85	135,43	69,32
0,092	271,337	8,83	164,56	60,65
0,101	348,216	9,81	203,80	58,53
0,111	434,140	10,79	249,94	57,5

Pembahasan Hasil Pengujian Lapangan

a. Torsi /Putaran

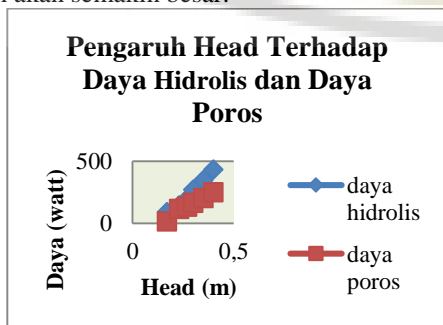


Gambar 4. Pengaruh Head terhadap Putaran

Torsi merupakan gaya yang dilakukan pada saat perputaran turbin. Pengukurannya dilakukan dengan menggunakan timbangan pegas pada poros turbin berputar. Pengukuran torsi dilakukan bersamaan dengan pengukuran putaran turbin. Sehingga dapat diketahui besarnya nilai torsi pada saat turbin berputar. Gambar 4 diatas menunjukkan hubungan antara torsi dan head, semakin tinggi head maka torsinya pun semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin tinggi head maka kecepatan yang akan mempengaruhi debit air yang masuk selongsong turbin akan naik, sehingga putaran pada turbin akan semakin besar dan berat. Head yang paling rendah, pada pengujian yaitu 0,17 meter dapat menghasilkan torsi pada turbin sebesar 2,94 N.m. Torsi akan semakin besar jika head dinaikkan.

b. Daya

Daya poros dan daya hidrolis merupakan parameter penting dalam menentukan efisiensi turbin. Daya poros merupakan daya output hasil dari putaran pada poros turbin. Sedangkan daya hidrolis adalah daya input air yang masuk kedalam turbin. Dimana daya poros dan daya hidrolis dipengaruhi oleh head. Semakin tinggi head maka akan semakin besar pula daya hidrolis yang dihasilkan. Jika head semakin tinggi maka debit air yang masuk pada turbin akan semakin besar.

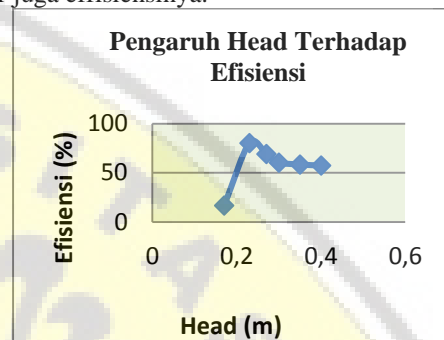


Gambar 5. Hubungan Head Terhadap Daya

Pada gambar 5 diatas head yang paling rendah, yaitu 0,17 meter menghasilkan daya poros turbin sebesar 15,62 watt sedangkan daya hidrolisnya sebesar 92,255watt. Daya akan semakin besar jika head-nya dinaikkan. Terlihat pada gambar diatas dengan tinggi head 0,4 meter menghasilkan daya poros turbin sebesar 249,94 watt sedangkan daya hidrolisnya sebesar 434,14 watt.

c. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah rasio antara besarnya daya output pada poros turbin dan besarnya daya input pada air. Semakin tinggi head maka semakin besar juga effisiensinya.



Gambar 6. Hubungan Head Terhadap Efisiensi

Tetapi setiap turbin mempunyai batas efisiensi tertinggi. Turbin pada PLTMH ini beroperasi dengan efisiensi yang tidak lebih dari 90% .Pada gambar diatas, head yang paling rendah, yaitu 0,17 meter dapat menghasilkan effisiensi turbin sebesar 16,94% sedangkan dengan tinggi head 0,4 meter menghasilkan effisiensi turbin sebesar 57,57%. Effisiensi tertinggi berada pada head 0,23 meter dengan effisiensi sebesar 80,42%. Dan efisiensi akan turun lagi setelah head 0,23m.



Gambar 7. PLTMH pada Saluran Irigasi Rancangan LIPI

Gambar 7 menunjukkan sistem PLTMH menggunakan turbin propeller yang dirancang LIPI dipasang pada sebuah saluran air yang bisa menghasilkan daya hingga 500 Watt. PLTMH ini jika diperbanyak dan dipasang disaluran-saluran

irigasi di Indonesia tentunya akan membawa banyak kemanfaatan. Kesiapan masyarakat pedesaan terhadap penerimaan teknologi serta dukungan pemerintah dalam memberikan subsidi pengadaan PLTMH akan mensukseskan peran PLTMH dalam ikut membangun pedesaan.

Usaha pengembangan pembangunan PLTMH hasil rancangan penelitian ini cukup menjanjikan karena Indonesia memiliki potensi besar sungai-sungai dengan saluran irigasinya. Energi listrik dibangkitkan PLTMH dengan memanfaatkan saluran irigasi ini memiliki dampak lingkungan serta dampak sosial kemasyarakatan. Turbin buatan P2 Telimek didesain untuk beroperasi dalam jangka waktu puluhan tahun. Tenaga atau energi air untuk pengembangan PLTMH turbin propeler head rendah ini tidak pernah habis dan selalu terbarukan, karena air yang digunakan untuk energi turbin tidak akan mengalami penyusutan. Salah satu kelangsungan jalannya pembangkit listrik yang dioperasikan adalah tidak ada sampah, untuk itu kelestarian lingkungan disaluran irigasi dapat terjaga dari sampah-sampah. PLTMH pada saluran irigasi memberikan sumbangan yang besar untuk mengurangi polusi di udara, karena merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan, tidak menghasilkan polusi udara dan emisi gas buang. Untuk instalasi pembangunan, turbin propeler ini dilakukan dengan cara membendung air untuk mendapatkan head turbin, pada sistem instalasinya diperlukan saluran pembuangan jika aliran air berlebih. Saluran pembuang air akan dikembalikan ke saluran irigasi lagi, hal ini dapat sedikit mempengaruhi populasi ikan yang berada pada daerah sekitar instalasi. Instalasi turbin dapat dipasang sebagaimana rupa agar tidak mengganggu keindahan di lingkungan sekitar instalasi sistem. Untuk dampak sosial kemasyarakatan. Daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik turbin propeler ini dapat dijual kepada pelanggan/masyarakat, sehingga dapat diperoleh pendapatan yang dapat digunakan untuk keperluan yang bermanfaat serta untuk biaya operasi dan pemeliharaan turbin tersebut. Dengan pembangkit listrik turbin propeler ini dapat di kembangkan kerjasama sosial kemasyarakatan pada lokasi instalasi tersebut sehingga terjadi perkembangan positif hubungan sosial antar masyarakat yang memanfaatkan pembangkit tersebut. Pemasangan PLTMH pada saluran irigasi ini dapat dimanfaatkan untuk penerangan jalan-jalan sepanjang saluran irigasi. Pengembangan pembangkit ini akan berdampak pada pengembangan sumber daya manusia yang mempunyai keahlian di bidang pembangkit energi terbarukan. Turbin hasil penelitian ini praktis digunakan, karena tidak memerlukan instalasi sipil yang rumit, bisa dipasang pada saluran irigasi primer dan sekunder. Instalasi sistem pada saluran irigasi bisa bermanfaat untuk petani dalam pengelolaan hasil panen, contohnya adalah hasil energi listrik

turbin untuk proses pengeringan gabah, pengeringan palawija atau hasil hasil pertanian lainnya.

4. KESIMPULAN

Tujuan dari penerapan PLTMH di jaringan irigasi yaitu menunjang pembangunan desa melalui peningkatan taraf sosial-ekonomi masyarakat desa melalui penyediaan energi yang dibangkitkan oleh PLTMH. Syarat sistem irigasi dapat dibangkitkan oleh PLTMH yaitu pengelolaan jaringan irigasi cukup baik, debit air yang diperlukan tersedia sepanjang tahun serta mempunyai tinggi terjun yang cukup, yang bersama - sama dengan debit aliran menghasilkan potensi tenaga air yang dinyatakan dengan daya sumber. Karena head atau tinggi terjun air pada sistem irigasi di Indonesia tidak banyak memiliki ketinggian maka perlu pemilihan turbin pada sistem PLTMH yang menggunakan konsep low head. Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI telah merancang sistem PLTMH yang cocok digunakan pada saluran irigasi, pemilihan turbin pada konsep low head menggunakan turbin propeller, turbin ini memiliki spesifikasi dengan debit air (Q) desain 0,120 m³/s, tinggi jatuh 0,9 m dan efisiensi desain 70 %, daya turbin efektif 740,936 watt dengan kecepatan putar (N) desain 500 rpm, putaran spesifik 573 rpm, dimensi diameter luar turbin sebesar 0,3 m dan jumlah sudu 6 blade.

Hasil yang didapat pada pengujian turbin head rendah yang diteliti yaitu pada saluran irigasi didapatkan efisiensi terendah yang dihasilkan oleh turbin sebesar 16,94% dan efisiensi tertinggi turbin 80,42%. Analisis lingkungan dan sosial kemasyarakatan dari pembangunan turbin head rendah yang diterapkan di saluran irigasi secara keseluruhan berdampak positif yang akan memberikan berbagai keuntungan bagi peningkatan kelayakan hidup manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suwignyo, Sunarto, "Mengembangkan Potensi Energi Terbarukan Di Jaringan Irigasi Dengan Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH)" Jurnal Universitas Muhamadiyah Malang, ISBN No. 978-979-18342-0-9
- [2] Bacon, I., and Davison, I., "Low Head Hydro Power in the South-East of England –A Review of the Resource and Associated Technical", Environmental and Socio-Economic Issues, TV Energy and Montgomery Watson Harza, February, 2004.
- [3] Fraser, R., Deschênes, C., and Leclerc, M., "VLH : Development of a new turbine for Very Low Head sites", Waterpower XV HCI Publication pp:157, 2007

- [4] Sasmono.S., “Low Head Turbine” PLTA yang Potensial Dikembangkan di Indonesia”, Pikiran Rakyat, July 9, 2009
- [5] Busono,S., “Pemanfaatan Teknologi Hidro elektrik Untuk Listrik Pedesaan Di Indonesia”, IPTEK VOICE, Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Jakarta, 2009.
- [6] Harvey,A., Hettiarachi, P., dan Inversin,A., “Microhydro Design Manual A Guide to Small-scale Water Power Schemes”, ITGD Publishing, Southampton Row, London,UK, 1993.
- [7] Arismunandar, A., dan Kuwahara, S.,” Teknik Tenaga Listrik Pembangkitan dengan Tenaga Air”, Pradnya Paramitha, Jakarta,2004.

Notulensi Diskusi:

ETO-203, Henny Sudiby, Anjar Susaty, Pemanfaatan Saluran Irigasi Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

- **Tanya:** Pada penelitian ini yang digunakan jenis turbin apa? Letak turbin menempel dengan generator, kecepatannya berapa? (Panji Prihandoko)

Jawab: Kami menggunakan turbin tipe propeller. Kemampuan turbin menangkap air maksimal 1 m³ heat. Kecepatan air saat mulai 1,2 m/s debit 0,3-1 m³/s.kecepatan generator 500 rpm



Potensi Pemanfaatan Sampah di Pasar Induk Buah dan Sayur Gamping Sleman Yogyakarta sebagai Bahan Baku Bioetanol

Panji Prihandoko¹⁾, Wahyu Anggo Rizal²⁾

- 1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
E-mail/Hp : panjirihan@gmail.com/0853-5652-5775
- 2) Unit Pelaksana Teknis Balai Pengembangan Proses dan Teknologi Kimia, LIPI
Jl. Jogja Wonosari Km 31,5 Yogyakarta

Abstrak - Buah-buahan yang tidak layak konsumsi merupakan limbah sampah organik yang jumlahnya cukup banyak di pasar namun belum maksimal pemanfaatannya. Selama ini, buah tidak layak konsumsi di pasar langsung dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Penanganan limbah buah tidak layak konsumsi yang termasuk biomassa mengandung gula, pati atau lignoselulosa tinggi untuk dimanfaatkan menjadi bioetanol. Pemanfaatan limbah buah untuk bahan baku bioetanol yang merupakan salah satu solusi alternatif untuk dikembangkan guna mengurangi pencemaran. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan mengumpulkan dan menyajikan data dari pasar induk buah dan sayur Gemah Ripah Gamping, Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi limbah buah untuk dijadikan bioetanol per hari sehingga dapat ditindaklanjuti pemanfaatan limbah sebagai sumber energi sehingga menghasilkan nilai tambah bagi limbah tersebut.

Kata kunci : Bioetanol, limbah buah, potensi limbah, bahan baku bioetanol.

Abstract - The degraded fruits in the market are categorized as organic wastes. These wastes are in quite large bulk and have not been utilized in a proper way. The wastes were usually dumped to the final disposal area. The degraded fruits contains sugar, starch and lignocellulosic material which is potential for making bioethanol. Utilization of the wastes as raw material to make bioethanol has now become an option, and to reduce pollution. This study, a descriptive research is conducted by collecting and retrieve organic wastes data of fruits and vegetables from central market: Gemah Ripah Market, Gamping, Yogyakarta. This study aims to determine the amount of daily organic wastes that could used for bioethanol production, so that it would derive a value added for the waste.

Keywords : Bioethanol, fruit waste, potencil of the waste, raw material for bioethanol.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan minyak bumi terus meningkat sangat menguras ketersediaan cadangan minyak bumi yang terus menipis. Maka diperlukan upaya untuk mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil khususnya minyak bumi. Bioetanol merupakan solusi alternatif sumber energi terbarukan yang propektif untuk dikembangkan. Selain itu, bioetanol merupakan energi yang dapat diperbarui, bersifat ramah lingkungan karena mengurangi efek rumah kaca serta kontinuitas bahan bakunya terjamin. Limbah buah tidak layak konsumsi, limbah hasil pertanian dan budidaya tanaman termasuk bahan baku bioetanol generasi kedua.

Pasar induk Gemah Ripah merupakan salah satu pasar sayur dan buah di Gamping, Sleman, Yogyakarta dengan komoditas penjualannya sebagian

besar adalah buah-buahan. Pasar yang menerima buah dengan kisaran 400 ton per hari menghasilkan limbah sampah organik sebanyak 4 ton/hari [1]. Penanganan limbah buah tidak layak konsumsi yang mengandung gula, pati atau lignoselulosa tinggi guna dimanfaatkan menjadi bioetanol, selama ini separuh dari jumlah sampah yang tersedia di pasar Gamping tiap harinya sudah dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas. Kemudian muncul sebuah gagasan baru untuk memanfaatkan limbah buah sebagai bahan baku bioetanol. Bioetanol dapat dijadikan sebagai sumber energi pengganti minyak bumi yang mulai langka guna alat-alat transportasi dan mesin-mesin industri pabrik. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengelolaan limbah buah tidak layak konsumsi di pasar buah dan sayur Gamping Sleman Yogyakarta yang dapat dijadikan sebagai bahan baku bioetanol. Penelitian yang sudah ada adalah

pengelolaan limbah buah tidak layak konsumsi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Penelitian mengenai biogas di pasar buah dan sayur Gamping, Sleman, Yogyakarta dilaksanakan oleh Koperasi Gemah Ripah bekerjasama dengan pihak Prodi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Kemudian muncul gagasan mengenai pengembangan dalam rangka memanfaatkan limbah buah tidak layak konsumsi sebagai bahan baku bioetanol.

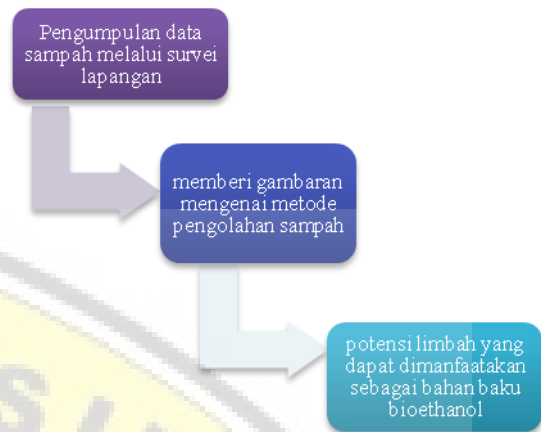


Sumber : pengolahan limbah di pasar [2]
Gambar 1. Pengolahan limbah buah pasar

II. BAHAN DAN METODE

Metode penelitian adalah metode deskriptif dengan cara mengumpulkan dan menyajikan data jumlah sampah organik per hari yang mampu dihasilkan di pasar. Selanjutnya, data dari hasil survei di lapangan dibandingkan dengan beberapa metode pengolahan sampah organik menjadi bioetanol sehingga akan diperoleh proses maksimal dari pembuatan bioetanol dari limbah buah tidak layak konsumsi di pasar induk sayur dan buah Gemah Ripah Gamping, Sleman, Yogyakarta.

Diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Sistematika penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Di pasar induk buah dan sayur Gamping Sleman Yogyakarta jumlah buah yang masuk dan keluar tiap harinya mencapai 80 truk dimana kisaran muatan tiap truknya rata-rata seberat 5 ton sehingga tiap harinya jumlah buah yang keluar-masuk ke pasar sebanyak 400 ton. Dari jumlah ini akan menghasilkan limbah buah tidak layak konsumsi sebesar 1% dari jumlah buah yang masuk yaitu sebesar 4 ton. (dikutip dari, *kepala pengelola Koperasi Gemah Ripah di pasar induk buah dan sayur Gamping Sleman Yogyakarta*).

Sampah yang ada di pasar tiap hari dikumpulkan menjadi satu pada suatu tempat untuk selanjutnya diproses. Pada umumnya, sampah yang terkumpul tidak semuanya buah busuk tetapi masih ada tercampur antara sampah organik dengan sampah anorganik. Kemudian dilakukan proses pemisahan antara sampah organik dengan sampah anorganik. Sampah organik yang dihasilkan selanjutnya akan diproses sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

Menurut [2], Bioetanol adalah bahan bakar etanol (*ethyl alcohol* dengan rumus kimia C_2H_5OH) yang diproduksi dari bahan nabati. Bioetanol merupakan suatu cairan bersih yang tidak berwarna, apabila digunakan tidak menyebabkan polusi lingkungan, dan apabila dibakar bioetanol menghasilkan gas asam arang (karbon dioksida atau CO_2 dan air).

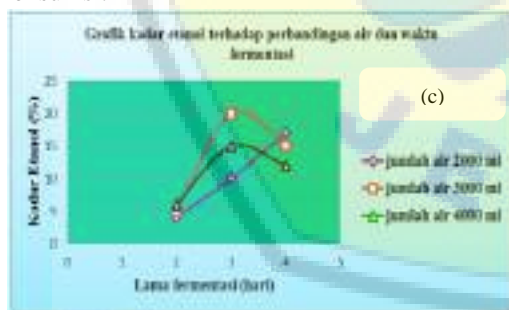
Bioetanol merupakan energi alternatif yang dapat diperbarui, bersifat ramah lingkungan, dapat terurai dan mampu mengeliminasi efek rumah kaca serta kontinuitas bahan bakunya terjamin. Beberapa

metode pembuatan bioetanol sesuai bahan bakunya. *Pertama*, pembuatan bioetanol dari bahan baku berpati seperti jagung, umbi-umbian dan lain-lain yang memiliki kandungan sari pati tinggi tanpa adanya pengelolaan terlebih dahulu termasuk bahan baku bioetanol generasi pertama. *Kedua*, pembuatan bioetanol dari bahan baku limbah, hasil pertanian dan budidaya tanaman yang harus dipisahkan kandungan sari pati terlebih dahulu sebelum diolah termasuk bahan baku bioetanol generasi kedua. *Ketiga*, pembuatan bioetanol dari bahan baku alga yang harus dipisahkan kandungan sari pati terlebih dahulu sebelum diolah termasuk bahan baku bioetanol generasi ketiga [3].

Pengolahan bioetanol dari bahan baku limbah buah tidak layak konsumsi yang termasuk kedalam bahan baku pembuatan bioetanol generasi kedua, karena harus diambil pati dan/atau gula untuk dapat diolah menjadi bioetanol. Dilakukan proses pemisahan sampah buah dengan sampah lainnya

(plastik, kertas, kaleng, dll), sehingga diperoleh sampah buah tanpa unsur sampah lainnya. Selanjutnya dilakukan proses fermentasi menggunakan ragi/yeast. Setelah proses fermentasi, maka hasil etanol yang diperoleh dilakukan destilasi dan dehidrasi untuk memperoleh kadar etanol diatas 95% [4].

Menurut, [4]. Proses pengolahan bioetanol dari limbah buah tidak layak konsumsi adalah dengan cara mencampurkan 1000 gr buah tidak layak konsumsi dengan 3000 ml air ditambah 15 gr ragi, dan difermentasikan dalam waktu 3 hari akan menghasilkan kadar etanol sebesar 25%. Berikut grafik yang menunjukkan sampel proses destilasi pada pembuatan bioetanol bahan baku buah tidak layak konsumsi.



Gambar 3. Grafik yang menunjukkan (c) kadar etanol terhadap perbandingan air dan waktu fermentasi, dan (d) kadar etanol terhadap perbandingan ragi [2].

Selanjutnya untuk mendapatkan kadar etanol > 90% dilakukan destilasi dengan menambahkan garam supaya hasilnya lebih pekat. Destilasi selanjutnya dengan menggunakan penambahan *silica gel* ternyata sangat produktif guna meningkatkan kadar etanol hingga mencapai 96% dan menghasilkan 300 ml bioetanol [2].

IV. KESIMPULAN

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif masa depan yang ramah lingkungan. Selain itu, bersifat *renewable* guna menggantikan sebagian atau melengkapi konsumsi bahan bakar fosil (minyak bumi) yang kurang ramah lingkungan dan persediaannya semakin terbatas. Di Indonesia terdapat berbagai macam bahan baku yang mengandung glukosa tinggi yang potensial untuk dikonversi menjadi bioetanol seperti buah anggur, buah apel, buah semangka, buah jeruk, buah kelengkeng, buah melon, buah sirsak, buah rambutan dan lain sebagainya.

Diantara berbagai macam bahan baku tersebut, limbah buah menarik perhatian untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol. Hal ini disebabkan potensi limbah buah tidak layak konsumsi di pasar induk buah dan sayur Gamping Sleman Yogyakarta belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan limbah buah busuk yang diiringi pengembangan budidaya serta berdirinya industri bioetanol dapat menciptakan lapangan pekerjaan sehingga akhirnya diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Anonim. 2012. *Pengolahan Biogas Di Pasar Buah Gamping*. Diakses pada 27 Juli 2014, dari <http://kompetensi.info/berita-kampus/dua-tahun-beroperasi-pengolahan-biogas-pasar-buah-gamping-belum-optimal.html>. Pada pukul 20.00 WIB.
- [2]. Heru, Dwi Sutjahjo. 2010. Diktat Kuliah: Bahan bakar dan Teknik Pembakaran. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
- [3]. Hariani, Ike, dkk. (2012). *Buah Anggur Tidak Layak Konsumsi Guna Proses Bioetanol*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas negeri Surabaya.
- [4]. Komarayati, Sri dan Gusmailina. 2010. *Prospek Bioetanol Sebagai Pengganti Minyak Tanah*. Jurnal.

Notulensi Diskusi:

ETO-205, Panji Prihandoko, Wahyu Anggo Rizal, Potensi Pemanfaatan Sampah di Pasar Induk Buah

dan
Sayur Gamping Sleman Yogyakarta Sebagai Bahan Baku Bioetanol

- **Tanya:** Penelitian deskriptif, apa yang akan Anda lakukan proses nyata dengan pasar-pasar yang lain, jika dibuat bioetanol nilai ekonomisnya bagaimana? (Nanang Tri Agung)
Jawab: Ada rencana untuk dilakukan penelitian. Metode yang digunakan masih survai lapangan dan wawancara langsung kepada pengelola pasar. Pasar induk masih dikelola oleh daerah/pribadi bukan pemerintah. Untuk nilai ekonomisnya, sampah yang tidak digunakan, jika dilakukan pengolahan lanjut sebagai bahan pembuatan bioetanol akan bernilai ekonomis. Proses alat akan diajukan pendanaan. Bioetanol dengan bahan sampah dari pasar-pasar tiap hari bias menghasilkan 150 L/hari, sehingga berpotensi untuk dikembangkan.

Bioetanol Dari Limbah Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jacq.Fr.) Sebagai Energi Alternatif Terbaru

Djumhawan Ratman Permana¹⁾ dan Bambang Prasetya¹⁾

1) Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Raya Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telpon (021) 8754587 Fax (021) 8754588 Email : pdjumhawan@yahoo.com

Absrak - Salah satu pengembangan bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan berasal dari limbah pasca budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jacq.Fr.). Di Indonesia bahan baku limbah serbuk gergaji pasca budidaya jamur tiram merupakan sumber biomasa yang potensi dan belum dimanfaatkan dengan baik padahal komposisi serbuk gergaji yang merupakan salah satu bagian limbah pergergajian kayu masih mengandung 40 – 50% selulosa, 20 – 30 % hemiselulosa dan 20- 25% lignin, sedangkan sebagai media tumbuh jamur dilakukan penambahan 2% kapur, 15 – 20% bekatul dan 0,5 – 1% tepung jagung. Proses fermentasi nutrient dalam bioreaktor akan menghasilkan glukosa dan fruktosa dimana oleh enzim invertase dan aktivitas beberapa enzim glukosa dan fruktosa akan diubah menjadi alkohol dengan kadar 12 – 15% dan amilalkohol yang bersifat toksik dengan kondisi terjadi kematian sel bakteri. Proses distilasi (penyulingan) pada suhu 78°C dilakukan untuk memisahkan alkohol dalam cairan, pada suhu tersebut setara dengan titik didih alkohol akan menguap terlebih dahulu dibandingkan air yang memiliki titik didih 100°C. Selanjutnya uap alkohol dalam distilator akan dialirkan melalui kondensor sehingga terkondensasi menjadi cairan etanol. Penyulingan dengan menggunakan distilator model kolom refluks (distilasi azeotropik) menghasilkan kadar etanol 90 - 95% dari nilai teoritis density etilalkohol teoritis 0,816 gr/ml. Pengaruh sukrosa dalam proses pengkayaan menunjukkan persentase kadar etanol secara signifikan, semakin tinggi penambahan konsentrasi sukrosa akan meningkatkan etanol masing-masing 15% (77,193%); 20% (82,056%) dan 25% (85,63%). Sedangkan dehidrasi dengan distilasi lanjutan menggunakan zeolit menunjukkan hasil tertinggi kadar etanol terhadap penambahan volume contoh semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan masing-masing 15ml (92,80%); 20 ml (94,96%) dan 21 ml (96,70%). Hasil penyulingan etanol dengan kadar tersebut diatas belum dapat larut dalam bahan bakar bensin sehingga diperlukan pemurnian dengan dehidrasi (distilasi absorbent) menggunakan batu gamping menghasilkan etanol berkadar 99,6 – 99,8% yang dikategorikan sebagai full grade ethanol (FGE) untuk substitusi BBM layak digunakan menjadi bahan bakar motor.

Kata kunci : Bioetanol, limbah jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jacq. Fr.), energi alternatif terbarukan

Abstract - An alternative renewable energy development is considered to be post-harvest waste of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*, Jacq.Fr. culture media. In Indonesia, the raw material waste sawdust post oyster mushroom cultivation is a potential biomass sources and has not been to good using when the composition of sawdust that is one part sawmill waste still contains 40-50% cellulose, 20-30% hemicellulose and 20 to 25 % lignin, while the fungus grows as a medium the addition of 2% limestone, 15-20% rice bran an 0.5 - 1% corn flour. In the bioreactor nutrient fermentation process will produce glucose and fructose by the enzyme invertase and where the activity of several enzymes of glucose and fructose is converted into alcohol by the level of 12-15% and toxic amilalcohol when a condition the death of bacterial cells. The process of distillation (refining) at a temperature of 78°C is done to separate the alcohol in the liquid, the temperature equivalent to the first point evaporate with the water at 100°C. Furthermore, the alcohol vapor in distilator will flow through the condenser so that condensed into liquid ethanol. Distillation column using a reflux distilator models (azeotropic distillation) produces ethanol 90-95% of yield from theoretical value ethyl alcohol density 0.816 g / ml. The effect of sucrose enrichment process that showed a significant percentage of ethanol content, where the higher of sucrose concentration increase the ethanol yield were among respectively at 15% (77.193%); 20% (82.056%) and 25% (85.63%). While the dehydration with distillation using zeolite showed the highest yield ethanol to increase sample volume higher levels of ethanol produced each 15ml (92.80%); 20 ml (94.96%) and 21 ml (96.70%). The distillation of ethanol with the above levels cannot be dissolved in the fuel cell so that the necessary purification by dehydration with in a distillation (absorbent distillation) using limestone to produce ethanol yield from 99.6 to 99.8% were categorized as full grade ethanol (FGE) for BBM substitution properly used as machinery fuel.

Keywords : Bioethanol, waste of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*, Jacq. Fr.) media, renewable energy

1. PENDAHULUAN

Kecenderungan menggunakan bahan bakar terus semakin tinggi sedangkan cadangan bahan bakar minyak bumi akan berkurang. Penggunaan etanol sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak bumi merupakan salah satu pemecahan masalah energi saat ini. Di Amerika dan Brazil penggunaan alkohol sebagai bahan bakar mulai diteliti serta diimplikasikan sejak terjadi krisis bahan bakar fosil pada tahun 1970 an kedua Negara tersebut. Di Indonesia saat ini bioetanol sudah menjadi perhatian perusahaan swasta maupun BUMN. Kebutuhan masalah bahan bakar diasumsikan Indonesia membutuhkan 180 Kiloliter etanol per hari sesuai target pemerintah melakukan substitusi etanol dan premium sebesar 10% [1]. Etanol bisa digunakan dalam bentuk murni , campuran bahan bakar gasolin (bensin) maupun interaksi etanol dengan hidrogen yang menghasilkan sumber energi *fuel cell* untuk mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Dengan struktur susunan molekul etanol yang memiliki satu molekul OH, oksigen yang *inherent* didalamnya akan menyempurnakan pembakaran antara udara – bahan bakar pada silinder. Hal ini menjadi kelebihan memiliki rentang keterbakaran (*flammability*) menjadi lebar yaitu 4,3 – 19 Vol dibandingkan gasolin yang lebih rendah pada 1,4 – 7,6 Vol sehingga pembakaran udara – bahan bakar etanol menghasilkan emisi CO sangat rendah dibandingkan pembakaran udara – gasolin. Karakteristik etanol mempunyai panas penguapan (*heat of vaporization*) tinggi yaitu 842 KJ/Kg [3].

Saat ini sedang diusahakan secara intensif pemanfaatan bahan-bahan yang mengandung serat kasar dengan kandungan karbohidrat tinggi dapat diolah menjadi etanol [1]. Penelitian pemanfaatan selulosa bagas untuk produksi etanol dengan sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan enzim xylanase menggunakan perlakuan jamur *Lentinus edodes* efektif mendegradasi lignin [2]. Kayu merupakan jenis tumbuhan tropis yang banyak dijumpai di Indonesia, akan tetapi hasil proses industri penggergajian kayu ini kebanyakan menyisakan limbah padat berupa serbuk gergaji dan serpihan kayu yang terbuang menumpuk disuatu lokasi tertentu, sehingga diperlukan penanganan limbah padat hasil penggergajian kayu tersebut.

Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jacq.Fr.) merupakan jamur makan (*edible mushroom*) yang cukup diminati masyarakat karena pemasaran maupun budidayanya relatif mudah dapat dilakukan mulai skala kecil sampai besar [4]. Dilaporkan, [4] salah satu perusahaan jamur tiram yang berada di kawasan Puncak Kecamatan Cipayung, Bogor memproduksi jamur tiram total 30 ton/bulan dengan menyediakan rata-rata bahan baku serbuk gergaji sebanyak 125 ton/bulan. Kegiatan produksi jamur tiram dalam skala besar ini memberikan ruang

lingkup sumberdaya manusia secara positif (Gambar 1).



Gambar 1. Lingkungan produksi jamur tiram

Kegiatan budidaya jamur tiram dan melalui pemanfaatan limbah jamur tiram untuk bahan baku bioetanol akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi serta bertambahnya lapangan kerja dan mengurangi kemiskinan seperti yang dicanangkan pemerintah sebagai *progrowth*, *projob* dan *propoor* [4]. Bahan baku etanol yang berasal dari limbah serbuk gergaji pasca penanaman jamur tiram di Indonesia merupakan sumber biomasa yang potensi, karena belum dimanfaatkan secara baik [4]. Komposisi serbuk kayu yang digunakan untuk media tanam jamur tiram mengandung 40 – 50% selulosa, 20 -30% hemiselulosa dan 25 – 30 lignin [5]. Bahan baku media jamur tiram selain menggunakan serbuk gergaji juga ditambahkan campuran 2% kapur, 15 – 20% bekatul dan 0,5 – 1% tepung jagung [4]. Jenis jamur pelapuk putih (jamur tiram) pada umumnya mengeluarkan enzim-enzim pendegradasi seperti *laccase*, *peroxidase*, tironase dan ligninolitik [6]. Menurut, [7] dalam proses degradasi terjadi reaksi biotransformasi yang memodifikasi komponen kompleks lignin oleh pelapuk putih memproduksi enzim ekstraseluler ligninolitik seperti ;*Lignin peroxidase* (LiP), *Manganase peroxidase* (MnP), dan *Laccase* (Lac). Sedangkan pada penanaman jamur tiram sendiri terjadi penguraian komponen kimia biomasa oleh enzim –enzim yang merupakan proses defraksinasi kimia dengan memberikan kesempatan terhadap jamur untuk tumbuh disaat terjadi proses pemisahan kimia hemiselulosa, gula dan selulosa rantai pendek juga lignin yang dikonversi lebih lanjut menjadi bahan lainnya [6]. Penggunaan bioetanol dapat mengatasi krisis energi bahan bakar dan menjaga kelestarian lingkungan, dengan ketersediaan bahan bakar fosil (*fossil fuel*) yang memberikan dampak ekonomis terhadap ketersediaan bahan bakar fosil yang mengancam lingkungan akibat dampak polusi emisi pembakaran bahan bakar fosil pada kesehatan manusia [1]. Oleh karena itu diperlukan perhatian mengintensifkan berbagai riset yang menghasilkan sumber energi (*energy resource*) dan pembawa energi (*energy carrier*) yang lebih menjamin keberlanjutannya (*sustainable*) dan lebih ramah lingkungan.

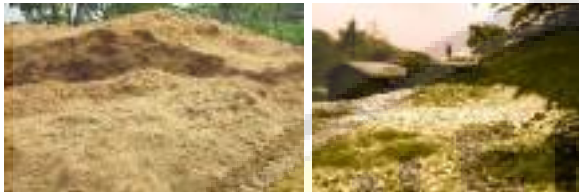
Tulisan ini melalui proses delignifikasi limbah jamur dengan dilakukan hidrolisis, distilasi dan dehidrasi, bahwa secara teoritis ilmiah limbah

jamur tiram menunjukkan dapat diproses menjadi bioetanol melalui fermentasi bakteri *Zymomonas mobilis* sebagai energi alternatif terbarukan.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan baku limbah dari serbuk gergaji

Bahan baku limbah jamur bekas penanaman jamur dan limbah serbuk gergaji pra penanaman jamur (Gambar 2).



Gambar 2. Limbah serbuk gergaji dan limbah pasca penanaman jamur tiram [4]

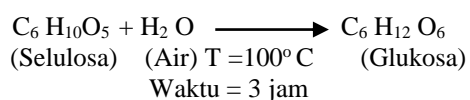
Bahan baku penanaman jamur tiram yang digunakan umumnya berasal dari serbuk gergaji, sehingga sekaligus memanfaatkan limbah industri perkayuan. Sedangkan limbah pasca penanaman jamur tiram digunakan untuk bahan baku bioetanol. Media tanam jamur tiram F3 selain serbuk gergaji dilakukan penambahan dengan 2% kapur, 15 -20% bekatul dan 0,5 – 1% tepung jagung [4]. Proses budidaya jamur tiram dilakukan selama 3 bulan untuk satu kali periode tanam [6]. Penyediaan media tanam F3 berasal dari kultur murni (F0) yang ditumbuhkan dalam media agar *potato dextrose agar* (PDA), media bibit F1 terdiri dari komposisi gandum/jagung dan bekatul, sementara untuk media sebar F2 terdiri dari jagung, bekatul dan kapur.

Preparasi pati limbah jamur

Penyiapan pati dibuat bubur limbah jamur (*pulping*) dilakukan dalam mesin *digester* lalu ditambahkan 15% NaOH pada bobot padat (^b/_b) dengan penambahan air hingga limbah jamur tersebut terendam selama 4 jam. Selanjutnya bubur limbah untuk menghilangkan kandungan air dikeringkan dalam oven pada suhu pemanasan 100° C, lalu didinginkan. Serbuk kering digiling dengan mesin *grinder* sehingga menjadi serbuk halus.

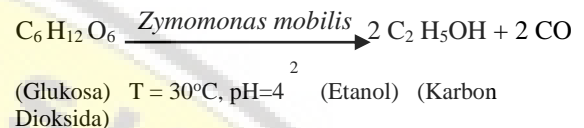
Pembuatan glukosa dengan hidrolisis

Proses hidrolisis dilakukan dengan menambahkan 5% HCl pada serbuk kering limbah jamur, selanjutnya ditiriskan dan dianalisis kadar glukosanya. Dengan suatu persamaan reaksi dapat ditulis sbb:



Proses fermentasi

Glukosa hasil hidrolisis masing-masing sebanyak 300 ml ditambahkan 2% Ca(OH)₂, diberi 5% suspensi biak *Zymomonas mobilis* yang ditambahkan dengan 0,5% urea, 10% NPK dengan pengkayaan sukrosa pada konsentrasi 15, 20 dan 30% (^b/_v). Selanjutnya bahan dimasukkan kedalam fermentor dengan variasi suhu masing-masing pada 25, 30 dan 35°C. Sedangkan lama waktu fermentasi dilakukan dalam waktu 7 hari. Maka proses fermentasi terbentuk etanol dapat ditulis dengan suatu persamaan reaksi sebagai berikut :



Proses distilasi kolom refluks (bertingkat)

Pemisahan alkohol setelah fermentasi berdasarkan metode pemisahan perbedaan titik didih. Distilasi dapat dilakukan pada suhu 80°C, mengingat titik didih alkohol 78°C sedangkan titik didih air 100°C, dimana uap etanol dialirkan bersama distilasi dikeluarkan melalui pipa pengeluaran distilasi pertama. Untuk aplikasi bahan bakar, etanol hasil distilasi harus dimurnikan dengan cara dikeringkan hingga menjadi etanol berkadar 95%. Metoda pengeringan dapat dilakukan cara pengeringan menggunakan kapur (CaO), garam, benzene dan menggunakan “molekul sieve” (bahan yang mempunyai pori-pori kecil dengan ukuran yang tepat digunakan sebagai absorbent cairan dan gas. Bahan ini dapat menyerap air hingga 20% dari berat bahan (silika gel).

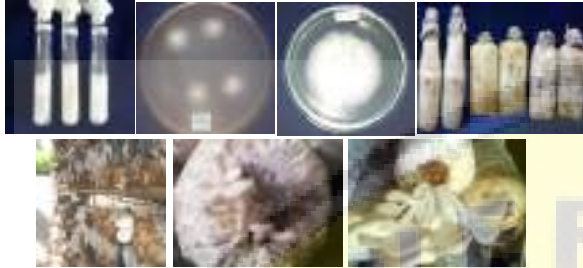
Metode dehidrasi dengan menambahkan silika gel 10% berdasarkan massa etanol masing-masing perlakuan 1,296 gram; 1,668 gram dan 1,732 sehingga volume bertambah menjadi 13,8 ml; 18,7 ml dan 19,9 ml.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari limbah serbuk gergaji

Bahan baku utama media tanam jamur tiram yang terbuat dari serbuk gergaji dengan penambahan kapur, bekatul (dedak halus) dan tepung jagung memberikan kondisi pertumbuhan miselium maupun tubuh buah secara optimum pada berbagai media bibit F1 fase pertumbuhan miselium, media bibit F2 fase pertumbuhan miselium dan media tanam F3 fase pertumbuhan primordia maupun tubuh buah. Pada saat pertumbuhan tubuh buah terjadi proses pemisahan hemiselulosa, gula dan selulosa rantai pendek, konversi lignin menjadi bahan lain yang dihasilkan enzim pelapuk putih ini [7]. Menurut, [8] dikatakan

dalam habitat pertumbuhan jamur terjadi pelepasan maupun reduksi bahan kimia yang merangsang pertumbuhan primordia maupun tubuh buah. Tahap pertama pertumbuhan miselium jamur tiram dimulai dalam media agar *potato dextrose agar* (PDA) sebagai media kultur murni (media F0), diinokulasikan kepada media bibit F1 dan dipindah ke media sebar F2 berikut media tanam F3 untuk kultivasi jamur sebagai digambarkan berikut ini.



Gambar 3. Pertumbuhan jamur tiram pada berbagai media

Ketersediaan bahan baku limbah jamur tiram dalam jumlah banyak menjadi jaminan bagi kelangsungan proses produksi bioetanol secara kotinyu. Selain bahan baku limbah jamur belum dimanfaatkan dengan baik disetiap sentra produksi jamur, keberadaannya hanya mengonggok dilahan. Salah satu contoh perhitungan perusahaan jamur tiram selama satu kali periode tanam yaitu dalam 3 bulan dengan kapasitas 30.000 bag log (ukuran 1850 gram) menghasilkan produksi jamur 9-10 ton [9]. Diasumsikan akan menghasilkan limbah jamur tiram sebanyak 125 ton/bulan [4]. Kandungan lignin dalam limbah jamur tidak menjadi hambatan dalam proses fermentasi. Sebagaimana diuraikan sebelumnya, alasan kehadiran dan fungsi jamur tiram sebagai jamur pelapuk putih dapat menghilangkan kadar lignin dalam serbuk gergaji, sehingga proses hidrolisis maupun fermentasi berjalan normal.

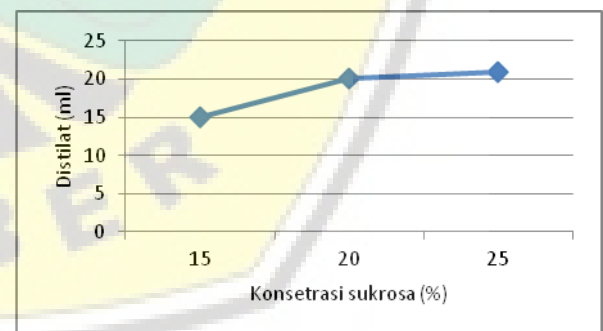
Serbuk kering limbah jamur

Hidrolisis serbuk limbah dengan 5% HCl menghasilkan filtrat rata-rata 82,3%. Filtrat yang dihasilkan reaktif tanpa terjadi inhibisi. Suatu pengionan molekul air ataupun penguraian senyawa lain terjadi reaksi kimia antara air dan zat lain menghasilkan zat baru [10]. Pereaksian lignin dengan aktivasi gliserol dan fenol dengan penambahan katalis H_2SO_4 membuka sebanyak mungkin gugus *aryl* pada lignin [4]. Namun demikian faktor yang berpengaruh terhadap proses hidrolisis ditentukan oleh suhu, kecepatan pengadukan dan katalis [1].

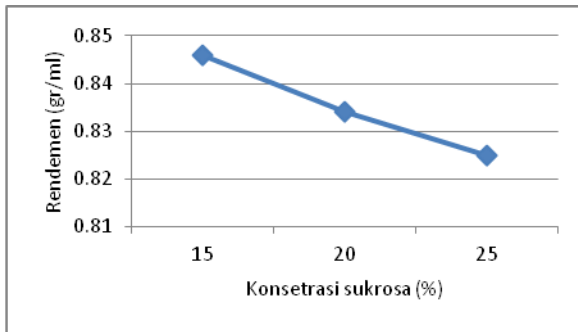
Fermentasi etanol

Suatu proses fermentasi secara aerob maupun anaerob dihasilkan suatu produk yang melibatkan mikroorganisme atau ekstraknya dengan

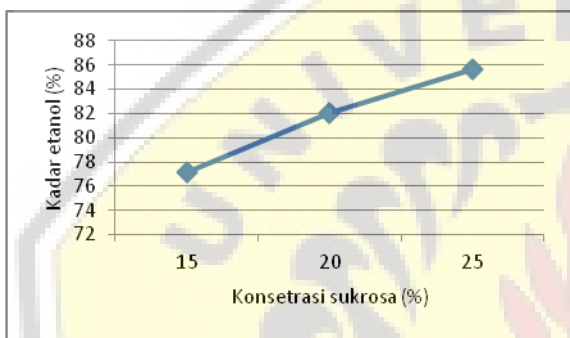
aktivitas mikroorganisme terkontrol terjadi reaksi oksidasi dan reduksi menggunakan sumber energi dan sumber karbon, nitrogen dan lainnya untuk membentuk senyawa yang lebih tinggi [1]. *Zymomonas mobilis* sebagai bakteri yang berbentuk batang termasuk gram negatif, tidak membentuk spora dan merupakan bakteri [11]. Dilaporkan kemampuannya melampaui ragi dalam beberapa aspek. Dalam pengkayaan nutrisi penambahan 0,5% urea termasuk komponen utama nutrient dalam larutan fermentor. Selain itu penambahan NPK 0,1% meningkatkan hasil lebih tinggi hingga 40% dan bersifat aman bagi lingkungan [1]. Menurut, [12] proses fermentasi menggunakan bakteri akan menghasilkan etanol sebesar 5 – 8% (v/v). Produksi bioetanol melalui proses fermentasi diklasifikasikan menjadi biaya rendah-volume tinggi atau sebaliknya biaya tinggi – volume rendah [18]. Menurut, [18] produk fermentasi yang bersifat biaya rendah – volume tinggi adalah termasuk produk pelarut kimia, asam organik dan protein sel tunggal. Produk kimia yang berasal dari proses fermentasi berupa etanol, n-butanol, iso-propanol, aseton, gliserol dan asam asetat secara ekonomis lebih rendah biayanya dibandingkan dengan produk kimia sintesis [19]. Suatu alasan dikemukakan bahwa studi kelayakan produk bioetanol dengan sistem fermentasi dalam skala pabrik memiliki suplai bahan baku karbohidrat sangat tinggi [20]. Kegunaan etanol dalam bentuk murni atau campuran bahan bakar gasolin (bensin) maupun interaksi etanol dengan hidrogen menghasilkan sumber energi *fuel cell* untuk mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*).



Gambar 4. Pengaruh pengkayaan persentase sukrosa terhadap distilat



Gambar 5. Pengaruh pengkayaan persentase sukrosa terhadap rendemen



Gambar 6. Pengaruh pengkayaan persentase sukrosa terhadap produksi etanol

Konsentrasi sukrosa 20-25% terhadap hasil destilat, rendemen dan kadar etanol menunjukkan pengaruh yang nyata dibandingkan konsentrasi 15% sukrosa. Pada Gambar 4 dan 5 menunjukkan peningkatan konsentrasi sukrosa dalam nutrient merupakan pembatas kemampuan peran respon pertumbuhan mikroorganisme selain pembatas sekunder lainnya [15]. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi diatas 15% sukrosa memberikan pengaruh penurunan terhadap rendemen seperti pada 15% (0,46 gr/ml), 20% (0,834 gr/ml), 25% (0,825 gr/ml). Sedangkan konsetrasi peningkatan sukrosa diatas 15% memberikan kenaikan terhadap peningkatan kadar etanol selama fermentasi (Gambar 6). Metode lain dengan distilasi azeotropik etanol dapat dipisah dari air menggunakan pelarut pentana. Etanol terpisah dari campuran air dan pentana, keterikatan dalam campuran etanol dan air, dimana rasio air : etanol lebih tinggi dibandingkan rasio etanol: air sebagai *feed* dalam penampung distilasi azeotropik [17]. Selain itu kandungan air dalam produk etanol dan fraksi keseluruhan, hasil refluks azeotropik membutuhkan suhu selama dekantasi dan tekanan dibawah 303,9 kPa atau (3 atmosfer) sehingga

mengaliarkan berlebih uap distilasi azeotropik melalui kolom terkondensasi [17].

Dehidrasi dan kadar etanol

Aplikasi etanol sebagai bahan baku industri dan bahan bakar yang dikehendaki harus memiliki kemurnian absolut (>99,5%). Pemurnian menggunakan proses distilasi hanya mampu menghasilkan kadar etanol 94,5 – 95% (w/w) dan masih mengandung air karena terbentuk suatu kondisi azeotrop sehingga harus dipisahkan agar konsentrasi alkohol meningkat [14]. Etanol masih mengandung minyak arak, yaitu suatu campuran amilalkohol bersifat toksik apabila sekali lagi didistilasi akan menjadi (etanol L) murni dengan kadar 95,5% [15]. Menurut, [16] etanol hasil distilasi tidak melebihi kadar maksimum sebesar 95%, karena campuran etanol dan air sulit dipisahkan dalam kondisi azeotrop. Perolehan kadar etanol hasil distilasi sangat dipengaruhi oleh ukuran volume contoh yang dipergunakan, pada volume contoh 21 ml menghasilkan kadar etanol paling tinggi yaitu 85,63%. Sementara pada perlakuan penambahan volume contoh menghasilkan kadar etanol masing-masing 15 ml (77,193%) dan 20 ml (82,056%). Namun demikian densitas etilalkohol hasil distilasi pertama masih tinggi karena masih banyak mengandung air, dimana densitas air adalah 1 gram/ml. Dalam hal ini densitas yang didapat berbeda dibandingkan dengan harga teoritis 0,816 gram/ml [17] (Perry Tabel 3.2). Densitas dan kadar etanol yang dihasilkan dengan penambahan massa silika gel berbeda menghasilkan volume 13,8 ml; 18,7 ml dan 19,9 ml diperoleh masing-masing 0,806 gram/ml (92,80%); 0,801 gram/ml (94,96%) dan 0,795 ml (96,70%). Kadar etanol yang telah mencapai maksimum berupa kadar etanol anhidrat 99,5 – 100% menggunakan metode distilasi azeotrop pelarut pentana dan membran pervorasi [13].

4. KESIMPULAN

Ketersediaan bahan baku serbuk gergaji yang berasal dari penggergajian kayu dan limbah media tanam jamur tiram belum dimanfaatkan dengan baik serta tersedia banyak dimana-mana. Pemanfaatan limbah jamur tiram sebagai bahan baku bioetanol dilihat dari biomasa konversi serbuk gergaji menjadi jamur tiram dan konversi limbah menjadi bioetanol sangat mendatangkan keuntungan secara optimal. Melalui dua proses yaitu sektor produksi jamur maupun produksi bioetanol sangat efisien prinsip nir limbah semua bahan dimanfaatkan menjadi produk yang dihasilkan hampir tidak ada bahan yang terbuang (memiliki nilai tambah tinggi). Hasil distilasi /penyulingan dengan menggunakan destilator model kolom refluks (bertingkat) diperoleh kadar etanol 90 – 95% dari harga teoritis density

etilalkohol teoritis 0,816 gram/ml. Pengkayaan persentasi kandungan sukrosa sangat berpengaruh terhadap peningkatan kadar etanol yang didapatkan masing-masing persentasi sukrosa 15% (77,193%); 20% (82,056%) dan 25% (85,63%), dimana perlu dioptimalkan lagi mengingat kandungan komposisi kimia limbah kayu dan limbah pasca penanaman jamur sangat berbeda tingkat kondisinya. Dehidrasi dan distilasi lanjutan menggunakan zeolit menunjukkan peningkatan kadar etanol tertinggi terhadap volume contoh, semakin besar volume contoh semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan masing-masing 15 ml (92,80%); 20 ml (94,96) dan 21 ml (96,70%). Hasil penyulingan etanol dengan distilasi (distilasi absorbent) menggunakan batu gamping menghasilkan etanol berkadar 99,6 – 99,8% yang dikategorikan sebagai *full grade ethanol* (FGE) untuk substitusi BBM layak digunakan menjadi bahan bakar motor.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Anonim. 2013. <http://www.Merdeka.com/VI/index.php/read/news2013/06/23/161929/Mahasiswa-Undip-manfaat-serbuk-gergaji-untuk-bioetanol>.
- [2] M. Samsuri, M. Gozan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijanarko, B. Prasetya dan M. Nasikin. Pemanfaatan selulosa bagas untuk produksi etanol melalui sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan enzim xylanase. 2007. *Makara, Teknologi*, vol. 11 No. 1. 17-24.
- [3] Baghdadi. 2003 dalam: Anonim. 2013. <http://teknologi.Kompasiana.com/internet./2010/01/13/bioetanol-sebagai-solusi-krisis-energi-dan-kelestarian-lingkungan/>
- [4] Permana D. & B. Prasetya. 2013. Pemanfaatan limbah jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jac. Fr.) untuk produksi bahan perekat kayu laminasi dan bioetanol-review. *Prosiding Seminar Nasional PATPI*, Jember, ISBN : 978 – 602 – 9030-49 – 5, Bidang Rekayasa dan Bioteknologi Pangan (Bagian 2) hal : 308 – 320.
- [5] Sjostrom. 1995 dalam : DK Wikanta, F. Arifan, L. Azmi, A. Oktisya Devi W., R. Septriani, R. Rekyan G dan Siti N. 2013. Optimalisasi limbah serbuk kayu menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan menggunakan distilasi gelombang mikro (Part 1). Jurusan Teknik Kimia PSD Semarang, ([http : luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk kayu-sebagai energi.html](http://luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk-kayu-sebagai-energi.html)). Cibinong, 27 Juli 2013.
- [6] Watanabe T, Enoki M. Katayama S and M. Kuwahara. 2000. Peroxidation of extracellular lipid produced by selective white fungi, *Euro J. Biochem.* 267 : 4222 – 4231.
- [7]. Hatakka A, Valo M dan P. Lankinen. 1992. 5th *International conference on 5th Biotechnology in the Pulp and Paper Industry Kyoto Japan*, May 27-30.
- [8]. Ingold. 1961. dalam : Permana D. & B. Prasetya. 2013. Pemanfaatan limbah jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, Jacq. Fr.) untuk produksi bahan perekat kayu laminasi dan bioetanol-review, *Prosiding Seminar Nasional PATPI*, Jember, ISBN : 987-602-9030-49-5, Bidang Rekayasa Bioteknologi Pangan (Bagian 2), hal : 308-320
- [9]. Permana D, Sogir dan Eric F. 2011. Pengembangan budidaya jamur makan di Bogor dan Kabupaten Blitar, Laporan IPTEKDA-LIPI 2011, Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI, (Tidak dipublikasikan).
- [10]. Pudjaatmaka & Qodratillah. 2002 dalam : DK Wikanta, F. Arifan, L. Azmi, A. Oktisya Devi W., R. Septriani, P. Rekyan G dan Siti N. 2013. Optimalisasi limbah serbuk kayu menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan menggunakan distilasi gelombang mikro (Part 1) Jurusan Teknik Kimia PSD, UNDIP Semarang, ([http://luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk kayu-sebagai energi.html](http://luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk-kayu-sebagai-energi.html)). Cibinong 27 Juli 2013.
- [11]. Lee *et al*, 1979 dalam : DK Wikanta, F. Arifan, L. Azmi, A. Oktisya Devi W., R. Septriani, P. Rekyan G dan Siti N. 2013. Optimalisasi limbah serbuk kayu menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan menggunakan distilasi gelombang mikro (Part 1) Jurusan teknik Kimia PSD, UNDIP Semarang, ([http : luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk kayu-sebagai energi.html](http://luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk-kayu-sebagai-energi.html)). Cibinong, 27 Juli 2013.
- [12]. Chen X, Yang H, Gu Z and Shao Z. 2001. Preparation and charactization of HY zeolite-filled chitosan membrane for pervaporation separation, *J. Appl. Polym. Science*, 79, 1144-1149.
- [13]. Waller, JC, *et al*, 1981 dalam DK, Wikanta, F. Arifan, L. Azmi, A. Oktisya Devi W, R. Septriani, P. Rekyan G dan Siti N. 2013. Optimalisasi limbah serbuk kayu menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan menggunakan distilasi gelombang mikro (Part1) Jurusan Teknik Kimia PSD, UNDIP, Semarang, ([http : luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk kayu-sebagai energi.html](http://luthfianaazmi.Blogspot.com/2013/05/bioetanol-serbuk-kayu-sebagai-energi.html)), Cibinong, 27 Juli 2013.
- [14]. Jonquieres A, Roizard D, Cuny J dan Lochon P. 1996. Solubility and polarity

- parameter assessing pervaporation and sorption properties, A critical comparison for ternary systems ether/alcohol polyurethaneimide, *J. Membr. Sci.*, 121, 117.
- [15]. Gumbira ES. 1987. Bioindustri, Penerapan Teknologi Fermentasi, Pusat Antar Universitas (PAU) Bioteknologi IPB, Penerbit PT Mediyatma Sarana Perkasa, Jakarta, hal. 266.
- [16]. Baker RW. 2000. *Membrane Technology and Applications*, Mc Graw Hill, New York.
- [17]. Robert H.Perry and Don Green. 1984. Perry's Chemical engineers handbook. Mc. Graw-Hill *International Editions, Chemical Enginnering Serie, section13*. p : 13-1 – 13-96.
- [18]. PF Stanbury & A. Whitaker. 1984. Principles of fermentation technology, *Co. Pergamon Press. Ltd. First Ed. Printed in Great Britain*, p. 232 – 234.
- [19]. Pape. 1977. In; Stanbury & Whitaker. 1984. Principles of fermentation technology. *Co. Pergamon Press.Ltd. First ed. Printed in Great Britain*, p. 232 -234.
- [20]. Hepper. 1977 & 1978 in ; Stanbury & Whitaker.1984. Principles of fermentation technology, *Co. Pergamon Press.Ltd. First Ed. Printed in Great Britain*, p. 232 – 234

Produksi Energi untuk Mengurangi Beban Pencemaran Industri Etanol

Adi Mulyanto¹ dan Titiresmi¹

¹ Balai Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Laboratorium Geostech, Gedung 820 PUSPIPTEK Serpong
Telpon (021) 75791381/Fax (021) 75791377 ext. 4004
adimul2004@yahoo.com

Abstrak - Industri etanol berbahan baku molases menghasilkan air limbah dari sisa proses distilasi yang disebut sebagai vinasse. Vinasse mengandung bahan organik yang berkonsentrasi sangat tinggi, yaitu 61.000 – 134.000 mg COD/liter dengan nilai pH sekitar 4. Temperatur vinasse keluar dari kolom distilasi mencapai lebih dari 90 °C. Penelitian ini menggunakan proses anaerobik jenis unggun tertambat dalam tangki polietilen (digester) dengan volume efektif sebesar 1.376 liter. Unggun terbuat dari potongan pipa PVC. Digester diberi umpan dengan laju maksimum sebesar 14,40 kg COD/m³.hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi produksi energi yang dapat dihasilkan dari air limbah industri etanol berbahan baku molasses. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan mengamati produksi biogas, kandungan gas metana (CH₄), laju beban bahan organik yang diumpankan ke dalam digester dan pH umpan maupun keluaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biogas yang diperoleh mencapai 4.000 liter/hari dengan kandungan CH₄ berkisar antara 52 - 77%. pH keluaran meningkat menjadi 7. Efisiensi degradasi rata-rata mencapai 80%. Dengan demikian air limbah industri etanol yang diolah secara anaerobik dapat dijadikan bahan baku produksi energi yang bersifat terbarukan sekaligus mengurangi beban pencemaran terhadap lingkungan.

Kata Kunci: air limbah, anaerobik, unggun tetap, polusi, lingkungan.

Abstract - An ethanol industry with molasses based raw material produces wastewater from distillation process known as stillage or vinasse. Vinasse contains very high organic matter, namely 61,000 – 134,000 mg COD/liter with pH value of 4. The temperature of vinasse come out from distillation column is above 90 °C. This experiment utilized fixed bed anaerobic digester made of polyethylene tank with an effective volume of 1,376 liters. The bed made from cut PVC pipe. The maximum loading rate applied was 14.40 kg COD/m³.day. The aim of this research was to determine the production potency of energy that can be generated from wastewater of an ethanol industry with molasses as raw material. This research used a descriptive method by observing the production of biogas, the content of methane (CH₄), the loading rate of organic material fed into the digester, and the pH of feed and outlet. The results showed that the biogas obtained reaches 4,000 liter/day with CH₄ concentration of 52 - 77%. The pH effluent was increased to 7. The average organic matter degradation reached 80%. Thus the wastewater from an ethanol industry treated anaerobically can be utilized as raw material to produce renewable energy while reducing the pollution load to the environment.

Key Words: wastewater, anaerobic, fixed bed, pollution, environment.

1. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai potensi limbah dari kegiatan agroindustri dalam jumlah yang melimpah. Limbah tersebut merupakan bahan baku untuk menghasilkan energi. Potensi bioenergi yang terkandung di dalam limbah diperkirakan 50 GW, namun pemanfaatannya saat ini hanya kurang dari 2 GW [1].

Industri etanol berbahan baku molases menghasilkan air limbah atau vinasse dengan konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi. Air limbah dengan karakteristik demikian mempunyai potensi yang tinggi untuk dijadikan bahan baku

pembuatan biogas. Kondisi ekstrim lain adalah rendahnya nilai pH dari vinasse. Sebelum dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan sebagai pembenah tanah, vinasse harus diolah terlebih dahulu hingga mencapai kondisi yang stabil [2].

Vinasse yang dihasilkan per liter produksi etanol adalah 9 hingga 14 liter [3]. Penulis lain menyatakan 12 hingga 20 liter vinasse per liter etanol yang diproduksi [4]. Vinasse mengandung sulfur dalam bentuk sulfat; komponen organik berbasis sulfur, misalnya asam-asam amino dan sejumlah kecil logam berat, vitamin serta mineral. Logam berat, seperti tembaga, timbal, kadmium dan besi berasal dari tanah yang terserap oleh

tanaman tebu [5]. Komposisi vinasse dapat dilihat pada tabel 1. Dilihat dari komposisinya, vinasse dapat dimanfaatkan sebagai pembenah tanah. Parameter yang harus diturunkan adalah kandungan bahan organik (diukur menggunakan parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*), serta fenol. Proses anaerobik jenis unggun tertambat menggunakan potongan pipa PVC dapat menurunkan konsentrasi parameter tersebut.

Kondisi energi di Indonesia dapat disampaikan sebagai berikut [6]: tingginya ketergantungan pada energi fosil; tingkat pemanfaatan energi baru dan terbarukan masih rendah; rata-rata kecepatan pertumbuhan konsumsi energi adalah 7% per tahun; rata-rata kecepatan pertumbuhan kebutuhan listrik adalah 9,2% per tahun; rasio elektrifikasi baru mencapai 76,56% pada tahun 2012; kurangnya pengembangan infrastruktur energi, terutama di pedesaan/daerah terasing dan kepulauan; masalah perubahan cuaca; dan komitmen nasional untuk mengurangi emisi hingga 26% pada tahun 2020.

Tujuan penelitian ini adalah pemanfaatan air limbah industri etanol menggunakan proses biologi anaerobik jenis unggun tetap di dalam sebuah digester yang dioperasikan secara aliran ke atas (*upflow*). Kinerja dari digester terhadap perubahan laju beban bahan organik juga dievaluasi. Kecuali bertujuan untuk memproduksi biogas sebagai sumber energi terbarukan, dengan proses anaerobik ini juga akan menghasilkan kualitas air limbah terolah yang jauh lebih baik.

Tabel 1. Komposisi vinasse [4].

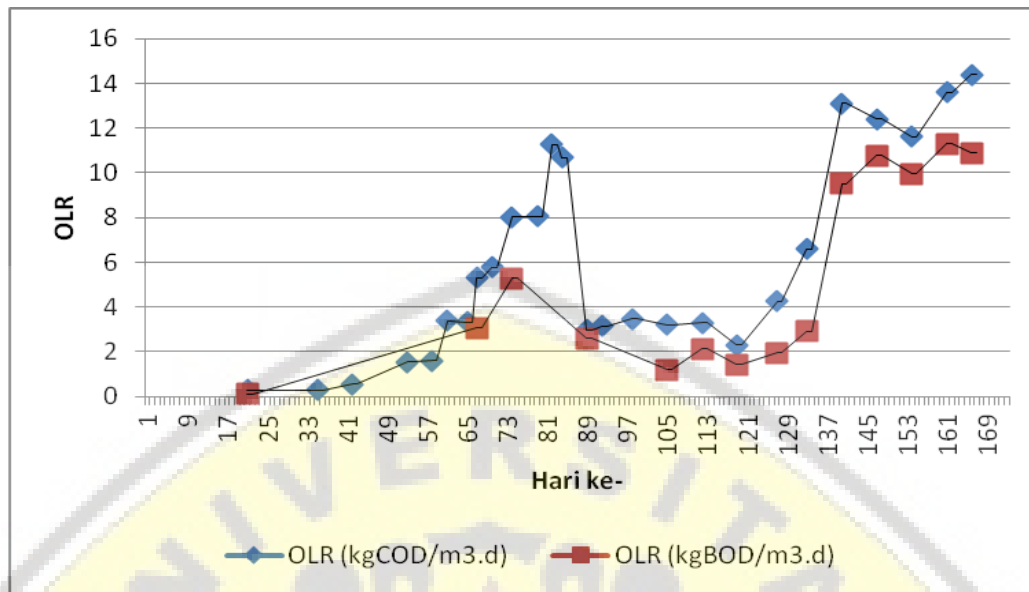
No.	Parameter	Nilai
1.	BOD (g/l)	39,50
2.	COD (g/l)	84,90 – 95
3.	Nitrogen Total (mg/l)	153 – 1.230
4.	Fosfor Total (mg/l)	1 – 190
5.	Potasium (mg/l)	4.893 – 11.000
6.	Sulfat Total (mg/l)	1.500 – 3.480
7.	pH	4,46 – 4,80
8.	Tembaga (mg/l)	0,27 – 1,71
9.	Kadmium (mg/l)	0,04 – 1,36
10.	Timbal (mg/l)	0,02 – 0,48
11.	Besi (mg/l)	12,80 – 157,50
12.	Fenol (mg/l)	34
13.	Vinasse (l/l etanol)	12 - 20

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan memanfaatkan proses anaerobik jenis unggun tertambat untuk mengolah air limbah industri etanol. Unggun tetap yang digunakan adalah potongan pipa PVC dengan dimensi: panjang = 65,5 mm; diameter = 75 mm dan tebal dinding = 1,50 mm. Dimensi tersebut membentuk ruang kosong atau porositas sebesar 93,5% dan luas permukaan per volume sebesar 45,32 m²/m³. Unggun tetap tersebut disusun secara acak di dalam digester. Kotoran sapi digunakan sebagai inokulum yang jumlahnya 24% dari volume digester. Digester dioperasikan secara *upflow* (aliran umpan dari bawah ke atas) dan dilengkapi dengan pompa dan pemipaan untuk sirkulasi. Pengumpanan dilakukan dengan cara memompa vinasse yang diatur pengoperasiannya menggunakan *timer*. Peningkatan OLR didasarkan pada kestabilan kinerja digester (dengan pengamatan pH keluaran, konsentrasi gas metana dan jumlah produksi biogas harian). Biogas yang dihasilkan diukur menggunakan flowmeter basah dan ditentukan kadar metana (CH₄) menggunakan prinsip penyerapan CO₂ dengan larutan KOH 10%. Analisa laboratorium terhadap umpan dan keluaran air limbah terolah meliputi konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan nilai pH. Beberapa perhitungan juga dilakukan, antara lain adalah laju beban bahan organik, perolehan gas metana, efisiensi degradasi dan perolehan gas per liter vinasse yang diolah. Penelitian dilakukan pada temperatur ambient.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik laju beban bahan organik (OLR) dapat dilihat pada gambar 1. Rata-rata konsentrasi COD umpan adalah 90.632 mg/l. OLR dihitung berdasarkan debit umpan per hari, konsentrasi bahan organik (COD) dan volume efektif digester. Pada hari ke 21 hingga ke 88, OLR terus ditingkatkan mulai dari 0,298 kg COD/m³.hari hingga mencapai 10,699 kg COD/m³.hari. Mulai hari ke 89 OLR diturunkan hingga 2,973 – 3,484 kg COD/m³.hari. Kondisi OLR rendah ini berlangsung hingga hari ke 126. Penurunan OLR ini untuk mengetahui sejauh mana adaptasi digester terhadap perubahan laju beban bahan organik. Pada hari ke 127 OLR digester ditingkatkan hingga 4,252 kg COD/m³.hari. OLR terus ditingkatkan hingga dicapai nilai maksimum sebesar 14,40 kg COD/m³.hari sampai pada akhir percobaan. Tabel 2 memberikan rincian laju beban bahan organik yang diumpankan ke dalam digester.



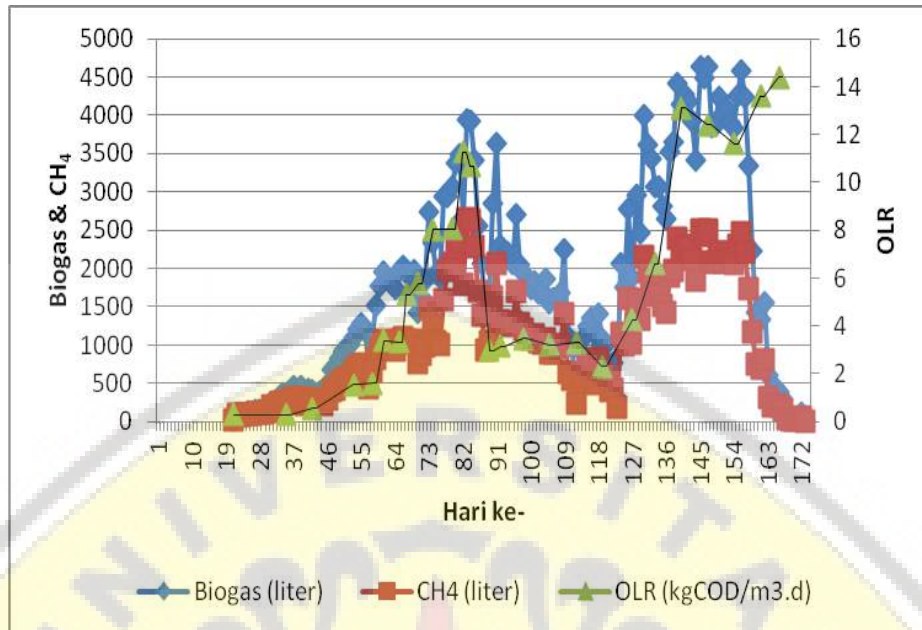
Gambar 1: Laju beban bahan organik.

Tabel 2. Laju beban bahan organik.

Hari ke-	OLR (kg COD/m ³ .hari)	Hari ke-	OLR (kgCOD/m ³ .hari)
21 - 41	0,298	92 - 97	3,163
42 - 52	0,555	98 - 104	3,484
53 - 57	1,549	105 - 111	3,194
58 - 60	1,604	112 - 118	3,281
61 - 64	3,382	119 - 126	2,292
65 - 66	3,332	127 - 132	4,252
67 - 69	5,312	133 - 139	6,600
70 - 73	5,779	140 - 146	13,091
74 - 78	8,010	147 - 153	12,394
79 - 81	8,067	154 - 160	11,609
82 - 83	11,255	161 - 165	13,594
84 - 88	10,669	166 - 172	14,401
89 - 91	2,973		

Laju beban bahan organik dengan bahan yang sama (vinasse dari molase) telah dilakukan oleh peneliti lain dengan variasi nilai antara 5 – 15 kg COD/m³.hari [7].

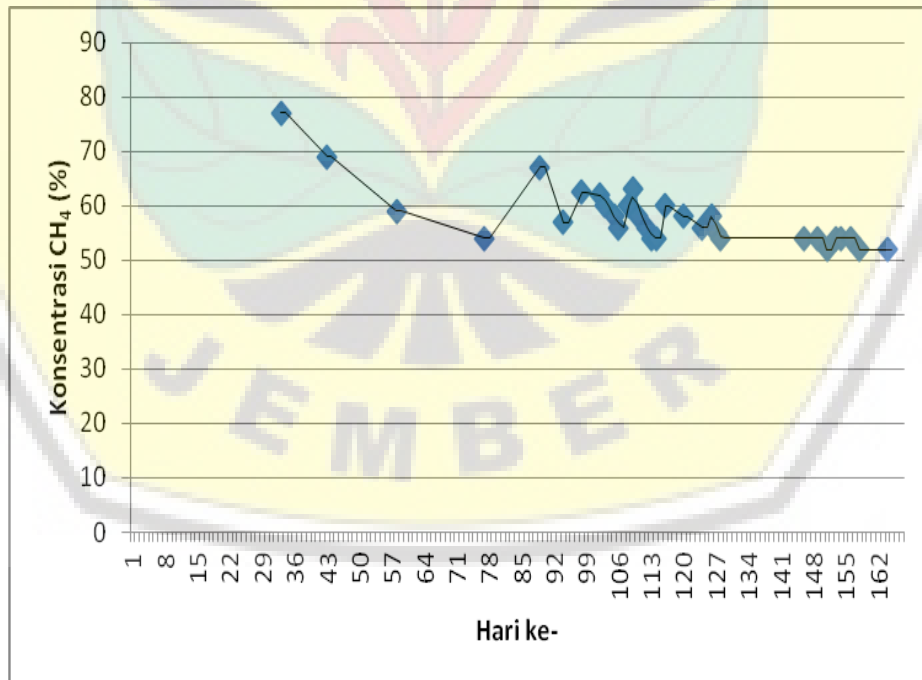
Data harian pengukuran gas dan hasil perhitungan OLR dapat dilihat pada gambar 2. Digester mempunyai daya penyesuaian yang baik. Hal ini terbukti dari grafik antara produksi harian CH₄ dan OLR. Pada saat OLR diturunkan, maka produksi gas juga mengalami penurunan. Rata-rata produksi biogas tertinggi (4.000 liter per hari) dicapai pada rentang OLR sebesar 11,609 hingga 13,091 kg COD/m³.hari. Peningkatan OLR maksimum yang diterapkan (14,40 kg COD/m³.hari) mengakibatkan digester mengalami kelebihan beban (*overload*), sehingga produksi gas menurun dengan drastis dan digester tidak mampu lagi untuk mendegradasi bahan organik yang diumpukan.



Gambar 2: Produksi harian gas CH₄ dan OLR.

Konsentrasi CH₄ yang dicapai selama waktu penelitian ada dalam rentang 52 – 77%. Rata-rata konsentrasi CH₄ adalah 57,85%. Kenaikan OLR meng-

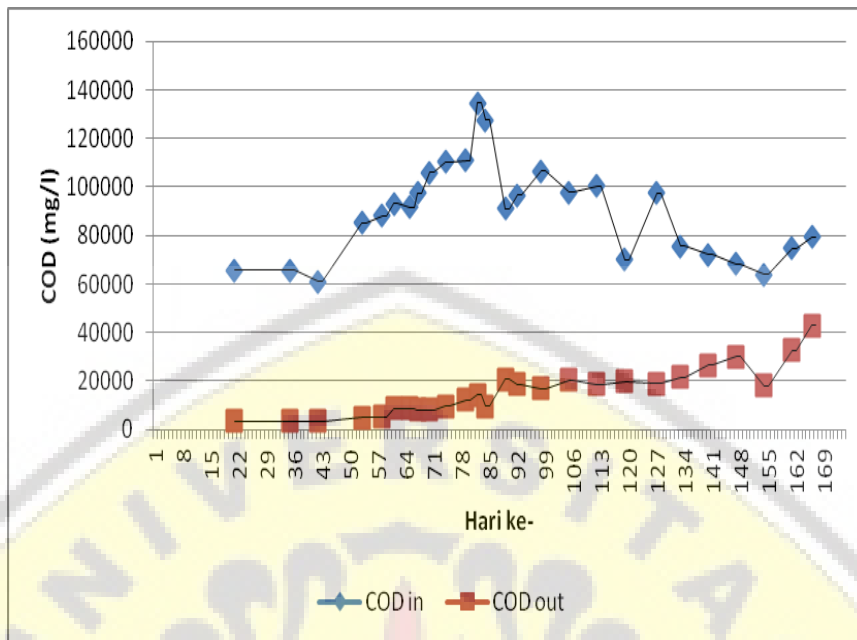
akibatkan turunnya konsentrasi CH₄. Penelitian lain dengan menggunakan air limbah sejenis menghasilkan biogas dengan konsentrasi CH₄ sebesar 60 – 70% [7].



Gambar 3: Capaian konsentrasi CH₄.

Rata-rata konsentrasi COD vinasse yang diumpangkan adalah 90.632 mg/l (gambar 4). Nilai ini

ada di dalam rentang konsentrasi vinasse yang terdapat di Eropa, yaitu 84.900 – 95.000 mg/l [4].

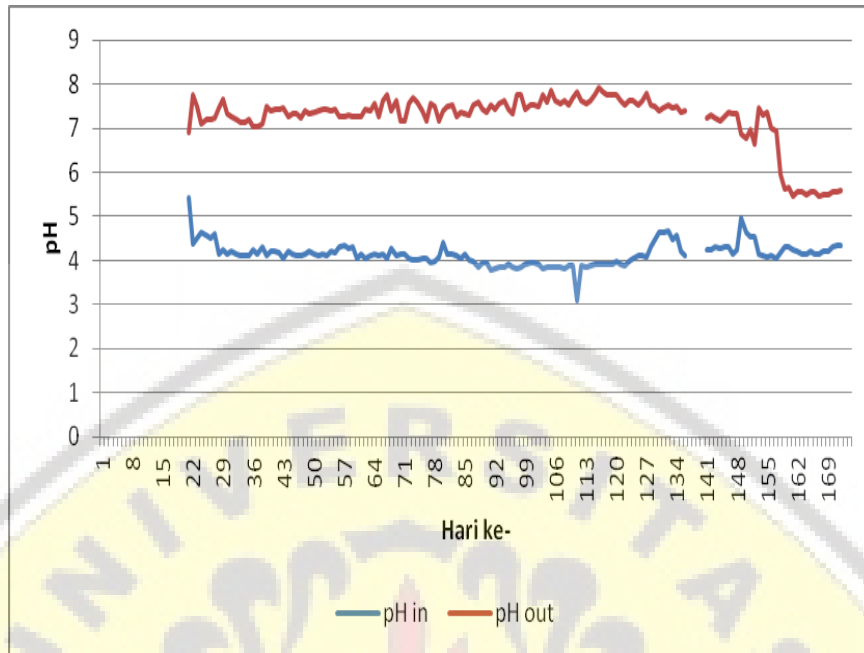


Gambar 4: COD umpan dan keluaran.

Kandungan bahan organik (COD) dari keluaran digester masih jauh diatas baku mutu yang ditetapkan, yaitu sekitar 20.000 mg/l. Konsentrasi COD air limbah terolah ini masih lebih baik dibanding dengan hasil penelitian di sebuah lembaga penelitian pertanian di India yang masih mengandung 25.000 mg COD/l [8]. Konsentrasi COD meningkat seiring dengan meningkatnya OLR.

pH air limbah yang diumpankan ke dalam digester bervariasi antara 3,78 hingga 5,42 dengan rata-rata sebesar 4,15. Nilai ini setara dengan pH air limbah yang terdapat di Afrika Selatan, yaitu 4,4 [9]. Kinerja digester untuk menetralkan air limbah dinilai sangat bagus. Kenaikan pH yang berarti dari sekitar 4 hingga 7 dapat dicapai (gambar 5). Rata-rata pH air limbah terolah mencapai 7,42 pada OLR hingga 11.609 kg COD/m³.hari. Yang menyebabkan digester mempunyai

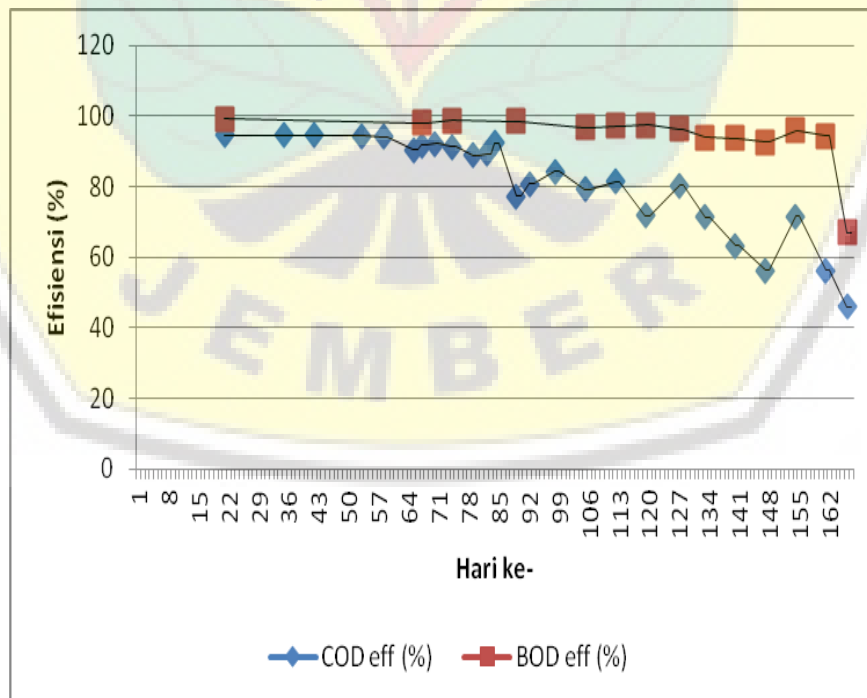
kemampuan untuk menaikkan pH air limbah terolah adalah adanya kapasitas *buffer* yang baik walaupun tidak dilakukan pengolahan awal terhadap vinasse [3]. Keberadaan vinasse masuk ke dalam digester tanpa mengalami pengkondisian (misalnya dengan menaikkan nilai pH). Kapasitas *buffer* yang baik sangat menguntungkan jalannya proses di dalam digester, sehingga kinerjanya dapat dijaga pada saat terjadinya kenaikan laju beban bahan organik yang mendadak maupun adanya bahan toksik di dalam umpan. Pada saat OLR melebihi 13,091 kg COD/m³.hari, pH air limbah terolah menurun drastis hingga mencapai 5,45. Pada OLR = 14,40 kg COD/m³.hari, nilai pH menjadi 5,2 dan mengakibatkan digester tidak aktif lagi. Air limbah terolah yang dilakukan oleh peneliti lain mencapai pH = 7,4 – 7,87 [10].



Gambar 5: pH umpan dan keluaran.

Efisiensi degradasi sebelum digester mengalami kelebihan beban mencapai 71,37 – 94,58% untuk COD dan 92,65 – 98,06% untuk BOD (gambar 6). Efisiensi degradasi COD yang lebih rendah dibanding BOD

disebabkan karena vinasse mengandung bahan organik yang sulit untuk didegradasi, misalnya melanoidin [11].

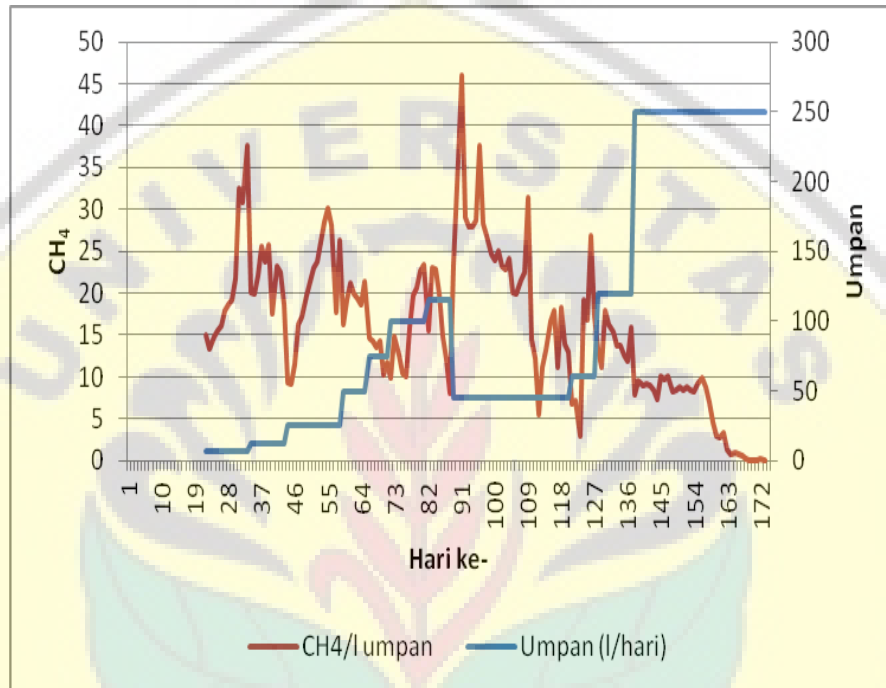


Gambar 6: Efisiensi degradasi.

Saat digester mengalami kelebihan beban, maka efisiensi degradasi menurun hingga 46,05% untuk COD dan 67,06% untuk BOD.

Dalam penelitian ini juga dihitung perolehan gas metana per liter umpan (gambar 7). Satu liter vinasse rata-rata menghasilkan 19,22 liter CH₄ dengan konsentrasi 57,85%. Dengan demikian biogas yang dihasilkan adalah 33,22 liter.

Dengan kondisi operasi efisiensi degradasi bahan organik (COD) = 80%, konsentrasi bahan organik = 90.632 mg COD/l, kadar CH₄ = 57,85% dan asumsi perolehan gas metana sebesar 0,35 m³/kg COD terdegradasi, maka secara teoritis dapat dihitung perolehan gas metana dan biogas masing-masing sebesar 25,38 liter CH₄ per liter vinasse dan 43,87 liter biogas per liter vinasse.



Gambar 7: Produksi CH₄ per liter umpan.

Dari perhitungan di atas, maka perolehan gas metana dan biogas dalam penelitian ini adalah 75,73% dari perhitungan perolehan gas metana dan biogas teoritis. Adanya selisih perolehan biogas ini disebabkan karena adanya senyawa yang menghambat proses degradasi bahan organik di dalam digester. Senyawa penghambat tersebut diantaranya adalah fenol yang menghambat kinetika proses dan mengurangi produksi gas metana [12].

4. KESIMPULAN

Vinasse merupakan limbah cair yang dihasilkan dari industri etanol dan merupakan bahan baku potensial untuk memproduksi energi dalam bentuk biogas melalui proses anaerob. Namun secara lingkungan, limbah terolah belum memenuhi baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri (KEP-51/MENLH/10/1995). Air limbah yang keluar dari proses anaerob harus diolah lebih lanjut. pH air limbah terolah sudah memenuhi

baku mutu. Digester mempunyai kinerja yang baik dengan merespon perubahan OLR. Untuk menjaga kinerja digester, maka OLR sebaiknya tidak lebih dari 10 kg COD/m³.hari. Vinasse yang dipakai sebagai umpan digester anaerob menghasilkan 19,22 liter CH₄ atau 33,22 liter biogas per liter vinasse.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Anonim, "E-Guidebook", *Renewable Energy Guidelines on Biomass and Biogas Power Project Development in Indonesia*, 1^{ed}, 2014.
- [2] A. Wheatley, *Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology*, London, UK, Elsevier, 1990.
- [3] A.M. Jimenez, R. Borja, A. Martin, "Aerobic-Anaerobic Biodegradation of Beet Molasses Alcoholic Fermentation Wastewater", *Process Biochemistry*, no. 38, 2003, pp. 1275 – 1284.
- [4] E. Espana-Gamboa, J. Mijangos-Cortes, L. Barahona-Perez, J. Dominguez-Maldonado, G.

- Hernandes-Zarate, L. Alzate-Gaviria, "Vinasses: Characterization and Treatments", *Waste Management & Research*, no. 29, 2011, pp. 1235 – 1250.
- [5] A.C. Wilkie, K.J. Riedesel, J.M. Owens, "Stillage Characterization and Anaerobic Treatment of Ethanol Stillage from Conventional and Cellulosic Feedstocks", *Biomass and Bioenergy*, no. 19, 2000, pp. 63 – 102.
- [6] Ministry of Energy and Mineral Resources of Indonesia, Directorate General of New Renewable Energy and Energy Conservation, "Energy from Biomass and Biogas in the Agroindustry", *Technical Workshop*, 2013, Hotel Indonesia Kempinski, Jakarta.
- [7] R. Moletta, "Winery and Distillery Wastewater Treatment by Anaerobic digestion", *Water Sci. Technol.*, vol. 51, no. 1, 2005, pp. 137 – 144.
- [8] P.K. Chhonkar, S.P. Datta, H.C. Joshi, H. Pathak, "Impact of Industrial Effluents on Soil Health and Agriculture – Indian Experience: Part I – Distillery and Paper Mill Effluents", *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 15, 2000, pp. 350 – 361.
- [9] M.A. Martin, F. Raposo, R. Borja, A. Martin, "Kinetic Study of the Anaerobic Digestion of Vinasse Pretreated with Ozone, Ozone Plus Ultraviolet, and Ozone Plus Ultraviolet Light in the Presence of Titanium Dioxide", *Process Biochem.*, no. 37, 2002, pp. 699 – 706.
- [10] M. Hutnan, M. Hornak, I. Bodik, V. Hlavacka, "Anaerobic Treatment of Wheat Stillage", *Chem. Biochem. Eng.*, vol. 17, no. 3, 2003, pp. 233 – 241.
- [11] R. Agarwal, S. Lata, M. Gupta, P. Singh, "Removal of Melanoidin Present in Distillery Effluent as a Major Colorant: A Review", *Journal of Environmental Biology*, no. 31, 2010, pp. 521 – 528.
- [12] R. Borja, A. Martin, M. Luque, M.M. Duran, "Kinetic Study of Anaerobic Digestion of Wine Distillery Wastewater", *Process Biochemistry*, vol. 28, 1993, pp. 83 – 90.



ENERGI TERBARUKAN
Bidang Bahasan : Material dan Alat Pendukung
Pemanfaatan Energi Terbarukan

Sinergi Pangan
dan Energi T

PREHEATING FUEL SYSTEM UNTUK PENINGKATAN PERFORMANSI MESIN MOTOR BERBAHAN BAKAR BIOETANOL

Ardhy Purwo Nugroho¹⁾, Moh. Fuad Azhari¹⁾, Agus Tiyan Susanto²⁾, Nita Andriana³⁾

¹⁾ Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

²⁾ Program Studi Ilmu dan Teknologi Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

³⁾ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

Kampus C Mulyorejo, Surabaya, 60115, Telp (031) 5936501/Fax (031) 5936502

Contact email: ardhy-p-n-10@fst.unair.ac.id

Abstrak – Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *preheating fuel system* terhadap peningkatan performansi mesin motor berbahan bakar bioetanol. Parameter uji yang digunakan adalah uji torsi dan daya mesin, uji konsumsi bahan bakar, dan uji emisi gas buang. Alat yang digunakan diantaranya *fuel heater* untuk *preheating fuel system*, *chassis dynamometer* untuk uji torsi dan daya mesin, dan *gas analyzer* untuk uji emisi gas buang. Sementara itu, mesin motor yang digunakan adalah motor Suzuki Tahun 2004. Sampel bahan bakar yang digunakan berupa E-0 (100% bensin) dan E-10 (campuran 10% bioetanol dan 90% bensin). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *preheating fuel system* pada mesin motor berbahan bakar bioetanol (E-10) mampu meningkatkan daya mesin sebesar 14,89%, efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 47,14% dan emisi gas CO dan HC masing – masing sebesar 38,46% dan 52,27% pada putaran mesin 6000 rpm jika dibandingkan dengan tanpa *preheating fuel system*. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *preheating fuel system* pada mesin motor berbahan bakar bioetanol dapat meningkatkan performansi mesin. Dengan demikian, *preheating fuel system* merupakan solusi sederhana untuk mengatasi kelemahan bahan bakar bioetanol pada mesin.

Kata Kunci: *bioetanol, preheating fuel system, performansi mesin*

Abstract – This research was conducted to determine the effect of *fuel preheating system* in bioethanol-fueled engine performance. Parameters used were the evaluation of torque and engine power, fuel consumption test, and exhaust emissions test. The tools used include *fuel heater* for *preheating fuel system*, *chassis dynamometer* for testing torque and engine power, and *gas analyzer* to evaluate exhaust emissions. Meanwhile, the engine used was Suzuki motor bike of 2004. The fuel used were E-0 (100% gasoline) and E-10 (a mixture of 10% bioethanol and 90% petrol). The results showed that the use of *preheating fuel system* on the engine bioethanol fuel (E-10) could increase engine power by 14.89%, fuel consumption efficiency by 47.14% and CO and HC gas emissions by 38.46 and 52.27%, respectively at 6000 rpm compared to without *preheating the fuel system*. This results indicated that the use of *preheating the fuel system* on bioethanol-fueled engine could improve the performance engine. Thus, *preheating fuel system* was a simple solution to overcome the disadvantages of bioethanol fuel in the engine

Keywords: *bioethanol, preheating fuel system, engine performance*

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan pada bahan bakar fosil secara berlebihan dapat berdampak pada ketersediaan sumber energi fosil di masa yang akan datang. Di sisi lain, penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan dapat berdampak buruk bagi lingkungan karena emisi gas berbahaya yang ditimbulkannya. Oleh karena itu, diperlukan adanya penggunaan bahan bakar alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satunya

adalah melakukan diversifikasi penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar pada kendaraan bermotor.

Bioetanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar adalah etanol *anhydrous* (etanol yang memiliki kandungan massa air maksimum 0,7%, diukur pada suhu 20 °C) [1]. Tetapi, etanol *hydrous* (etanol dengan kadar massa air 4 sampai 7,4%) dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan syarat dicampur dengan bensin. Campuran etanol-bensin dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar hingga

35% campuran tanpa modifikasi mesin [2]. Agar berhasil menjalankan mesin bensin dengan bahan bakar bioetanol perlu dilakukan beberapa modifikasi mesin [3].

Penentuan jenis bahan bakar pada mesin harus memperhatikan karakteristik fisika dan kimia bahan bakar tersebut, seperti *specific gravity*, *flash point*, *auto temperature ignition*, viskositas, nilai kalor dan angka oktan. Karakteristik bioetanol dan bensin adalah berbeda. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa *cloud point*, *flash point*, *fire point* bioetanol lebih tinggi daripada bensin murni [4].

Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar pada mesin motor masih memiliki kekurangan, yaitu menurunkan performansi mesin. Sebagai contoh apabila mesin menggunakan bioetanol murni sebagai bahan bakar, maka mesin menjadi kurang bertenaga atau tenaga 20% lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan bakar bensin [5]. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor bioetanol yang lebih rendah dari bensin serta desain mesin yang ada sekarang hanya khusus untuk bahan bakar bensin. Selain itu, mesin dengan bahan bakar bioetanol lebih sulit distarter (penyalan awal). Hal ini disebabkan titik nyala (*flash point*) dan temperatur penyalan sendiri (*auto ignition temperatur*) bioetanol yang tinggi sehingga pembakaran secara homogen akan sulit tercapai pada tekanan kompresi di ruang bakar.

Performansi mesin dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah proses pembakaran. Proses pembakaran bahan bakar akan berkerja efektif jika densitas dan viskositas bahan bakar tersebut rendah sehingga diperlukan penggunaan *heater* (pemanas) untuk menurunkannya [6]. Viskositas bahan bakar minyak harus dikurangi agar dapat meningkatkan performa mesin [7]. Proses pembakaran bahan bakar yang optimum dapat menghasilkan performa mesin yang maksimal.

Solusi untuk mengatasi kelemahan bahan bakar bioetanol pada mesin motor adalah dengan cara meningkatkan efisiensi pembakaran. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan *preheating fuel system*, yaitu menaikkan temperatur bahan bakar sebelum proses pembakaran. Sistem ini telah banyak digunakan pada mesin diesel. Menurut Arjun, dengan adanya *preheating fuel system* dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan output daya mesin sebesar 20-30% [8].

Pada prinsipnya, *preheating fuel system* bertujuan untuk mengurangi densitas dan viskositas bahan bakar sehingga memudahkan proses atomisasi bahan bakar dan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar dan udara. Hal ini akan

menghasilkan proses pembakaran yang maksimal sehingga tenaga (daya) yang dihasilkan oleh mesin juga akan maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *preheating fuel system* terhadap peningkatan performansi mesin motor berbahan bakar bioetanol.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan sampel bahan bakar E-0 (100% bensin) dan E-10 (campuran 10% bioetanol dan 90% bensin). Bioetanol yang digunakan memiliki kadar 96% (*technical grade*). Adapun alat untuk mengukur torsi dan daya mesin menggunakan *chassis dynamometer* dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1. Sementara itu, mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin sepeda motor Suzuki Shogun dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 2. Alat untuk *preheating fuel system* menggunakan pemanas bahan bakar (*fuel heater*) dengan rancangan khusus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Alat ini terdiri atas 3 bagian, yaitu: tabung (silinder) sebagai wadah air, elemen pemanas sebagai elemen untuk memanaskan air di dalam tabung, dan pipa kapiler berbentuk spiral sebagai tempat aliran bahan bakar. Panas yang dihasilkan dapat mencapai suhu 50 – 60 °C. Adapun skema penerapan *preheating fuel system* pada mesin motor dijelaskan pada Gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi Chassis Dynamometer

No	Item	Spesifikasi
1	Merk	Rextor Pro - Dyno
2	Tegangan Starter	220 V, 50/60 Hz
3	Range operasi	500 - 9.500 rpm
4	Kemampuan	15 KHz
5	Tipe sensor	Digital Pick-Up
6	Tipe input	Logical Level

Tabel 2. Spesifikasi Mesin Motor

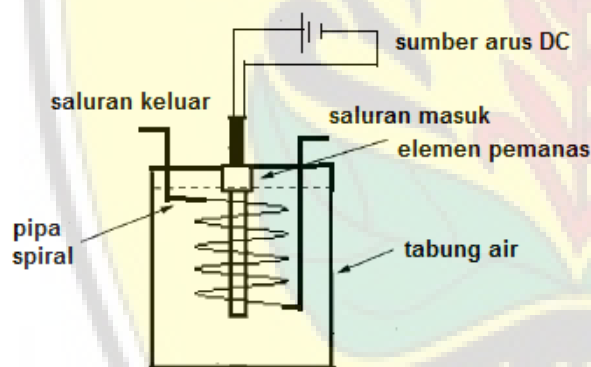
No	Item	Spesifikasi
1	Volume silinder	100 cc
2	Tahun Pembuatan	2004
3	Busi	NGK D6HS
4	Sistem Pengapian	DC CDI

Prosedur Pengujian

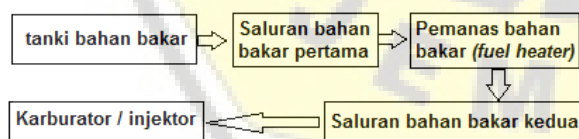
Pengujian performansi mesin yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji torsi dan daya mesin, uji konsumsi bahan bakar, dan uji emisi gas buang. Kondisi mesin dibuat standar (tanpa modifikasi) dan peralatan pengujian dikalibrasi. Pengujian dilakukan

pada putaran mesin 2000 – 9000 rpm dengan range putaran 1000 rpm.

Pengukuran torsi dan daya mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang dilakukan secara bersamaan. Mula-mula, mesin motor dihubungkan *chassis dynamometer* dan dinyalakan selama kurang lebih 5 menit untuk pemanasan mesin. Selanjutnya, tarikan gas pada motor dinaikkan secara perlahan hingga sesuai dengan range putaran mesin yang diinginkan. Setiap range putaran mesin diukur besarnya torsi dan daya mesin dengan tetap menjaga tarikan gas secara konstan. Pada saat itu juga dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar dengan mencatat waktu yang diperlukan untuk menghabiskan 5 mL bahan bakar. Sementara itu, pengukuran emisi gas buang menggunakan *gas analyzer* yang dihubungkan pada ujung knalpot. Pengujian ini dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali agar diperoleh data terbaik. Selanjutnya, data-data pengujian dimasukkan dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Setelah itu dianalisis dengan metode statistika deskriptif untuk mengetahui perbedaan performansi mesin motor berbahan bakar bioetanol antara menggunakan *preheating fuel system* dan tanpa menggunakan *preheating fuel system*.



Gambar 1. Desain Fuel Heater



Gambar 2. Skema preheating fuel system

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Torsi dan Daya Mesin

Torsi dan daya mesin motor diperoleh dari hasil konversi energi termal (panas) hasil pembakaran menjadi energi mekanik. Torsi didefinisikan sebagai

besarnya momen putar yang terjadi pada poros output mesin akibat adanya pembebanan sejumlah massa (*kg*). Besaran torsi dinyatakan dengan satuan *Nm* sedangkan daya didefinisikan sebagai besarnya tenaga yang dihasilkan motor tiap satuan waktu dan dinyatakan dengan satuan *horsepower (Hp)* [9].

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa torsi dan daya mesin yang dihasilkan dari bahan bakar E-10 lebih rendah dibandingkan bahan bakar E-0 (Tabel 3). Saat mesin motor menggunakan bahan bakar E-10, nilai torsi dan daya mesin menurun masing – masing sebesar 10,71% dan 10,81% jika dibandingkan dengan bahan bakar E-0.

Semakin kecil torsi maksimum, maka semakin kecil daya maksimum yang dihasilkan mesin motor. Menurunnya nilai torsi dan daya mesin disebabkan oleh nilai kalor bioetanol yang lebih rendah daripada bensin.

Tabel 3. Torsi dan Daya Maksimum Rata-Rata

Variabel Uji	Torsi (Nm)	Daya (Hp)
E-0	8,03	5,27
E-10	7,17	4,70

Di sisi lain, penggunaan *preheating fuel system* berdampak terhadap torsi dan daya mesin motor. Dengan penambahan *heater* pada sistem bahan bakar E-10 menunjukkan peningkatan daya mesin dari 4,7 Hp menjadi 5,4 Hp atau meningkat sebesar 14,89% (Tabel 4). Akan tetapi, penggunaan *preheating fuel system* ternyata menurunkan torsi mesin dari 7,17 Nm menjadi 7,04 Nm atau menurun sebesar 1,8% (Tabel 5).

Tabel 4. Perbandingan Daya Maksimum Rata-Rata

No	Variabel Uji	Putaran Mesin (rpm)	Daya (Hp)
1	E-10	6373,67	4,70
2	E-10 + Heater	6331,00	5,40

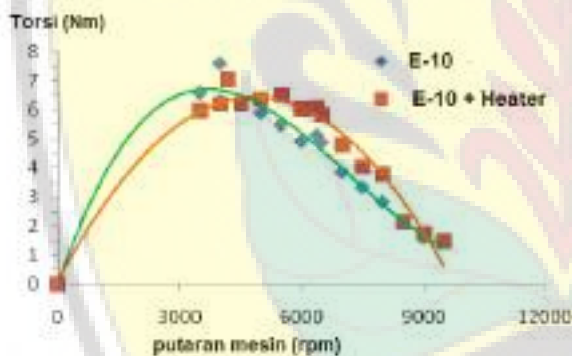
Tabel 5. Perbandingan Torsi Maksimum Rata-Rata

No	Variabel Uji	Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)
1	E-10	3987,67	7,17
2	E-10 + Heater	4184,33	7,04

Antara torsi dan daya mesin memiliki hubungan satu sama lain. Semakin besar torsinya, maka semakin besar daya mesin yang dihasilkan.

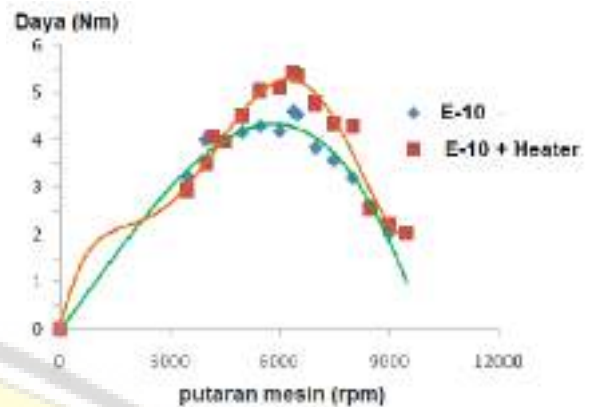
Torsi dan daya mesin berubah-ubah tergantung dari kecepatan putaran mesin. Mesin dengan putaran tinggi, biasanya daya yang dihasilkan juga besar tetapi jika putaran terlalu tinggi daya yang dihasilkan akan menurun. Penurunan torsi disebabkan karena terjadinya keterlambatan penyalaan pada putaran yang sangat tinggi sehingga tekanan dan temperatur di dalam ruang pembakaran akan mengalami penurunan. Kondisi ini akan berakibat menurunnya energi yang dihasilkan oleh pembakaran [9].

Penerapan *preheating fuel system* pada bahan bakar bioetanol (E-10) telah memengaruhi bentuk kurva torsi dan daya mesin. Bahan bakar bioetanol (E-10) yang diberi pemanasan awal memiliki bentuk kurva torsi yang lebih lebar, namun puncak kurva lebih rendah jika dibandingkan dengan tidak diberi pemanasan awal (Gambar 3). Selain itu, untuk menghasilkan torsi maksimum dapat dicapai dengan kecepatan putaran mesin *middle* (menengah), yaitu sekitar 4500 – 5500 rpm. Hal ini berbeda dengan bahan bakar bioetanol (E-10) yang tidak diberi pemanasan awal yang menghasilkan torsi maksimum saat kecepatan putaran mesin rendah, yaitu sekitar 3000 – 4000 rpm.



Gambar 3. Pengaruh *Preheating Fuel System* Terhadap Torsi pada Berbagai Putaran Mesin

Kurva torsi yang berubah, maka kurva daya juga akan berubah. Kurva daya yang dihasilkan oleh bahan bakar bioetanol (E-10) yang diberi pemanasan awal cenderung menyempit dan puncak kurva lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar bioetanol (E-10) yang tidak diberi pemanasan awal. Bahan bakar bioetanol yang diberi pemanasan awal maupun yang tidak diberi pemanasan awal memerlukan kecepatan putaran mesin yang tinggi, yaitu sekitar 6000 – 7000 rpm untuk menghasilkan daya maksimum. Apabila melebihi nilai tersebut, maka daya mesin akan menurun (Gambar 4).



Gambar 4. Pengaruh *Preheating Fuel System* Terhadap Daya pada Berbagai Putaran Mesin

Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh energi pembakaran yang dihasilkan. Pengukuran konsumsi bahan bakar dapat melalui pengukuran lama waktu yang dibutuhkan oleh sejumlah tertentu bahan bakar untuk menghasilkan torsi pada berbagai putaran mesin sehingga dapat diketahui laju konsumsi bahan bakar (L/jam). Hasil penelitian ini disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsumsi bahan bakar (L/jam)

Putaran mesin (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar (L/jam)		
	E-0	E-10	E-10 + Heater
2000	0,17	0,23	0,23
3000	0,39	0,31	0,39
4000	0,42	0,34	0,46
5000	0,53	0,54	1,77
6000	0,68	0,59	0,40
7000	0,63	0,96	0,93
8000	0,55	0,76	1,44
9000	0,90	1,12	1,22

Penerapan *preheating fuel system* ternyata memengaruhi fluktuasi konsumsi bahan bakar pada berbagai putaran mesin. Pada putaran mesin 6000 rpm terjadi penurunan konsumsi bahan bakar. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar semakin efisien. Pada bahan bakar E-10 antara sebelum dan sesudah diterapkan *preheating fuel system* terjadi penurunan konsumsi bahan bakar dari 0,59 L/jam menjadi 0,40 L/jam pada putaran mesin 6000 rpm. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 32,20%. Pada putaran

yang tinggi, konsumsi bahan bakar cenderung mengalami penurunan karena pembukaan katup bahan bakar yang singkat sehingga jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar menjadi sedikit [9].

Namun, pada putaran mesin 2000 – 5000 rpm, *preheating fuel system* justru menurunkan efisiensi konsumsi bahan bakar. Hal ini dikarenakan, bahan bakar bioetanol hanya cocok untuk kecepatan putaran mesin *middle* (menengah), yaitu sekitar 6000 – 7000 rpm.

Pengukuran Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah gas sisa yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada mesin motor. Gas sisa tersebut berdampak buruk bagi lingkungan. Emisi gas buang suatu mesin motor bergantung pada proses pembakarannya. Pembakaran yang lebih sempurna akan menghasilkan emisi yang lebih rendah sehingga tergolong ramah lingkungan [9].

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran emisi gas CO dan HC. Hasil pengukuran emisi gas tersebut disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa pada putaran mesin 6000 rpm, bahan bakar bioetanol (E-10) mampu menurunkan emisi gas CO sebesar 95,09% dan gas HC sebesar 74,42% jika dibandingkan dengan bahan bakar bensin (E-0). Di sisi lain penerapan *preheating fuel system* pada bahan bakar bioetanol (E-10) justru meningkatkan emisi CO dan HC jika dibandingkan dengan tanpa *preheating fuel system* masing – masing sebesar 38,46% dan 52,27% pada putaran mesin 6000 rpm. Namun, meningkatnya emisi CO dan HC tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar bensin (E-0). Dengan *preheating fuel system*, bahan bakar bioetanol (E-10) lebih banyak terbakar sehingga energi panas yang dihasilkan meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya daya mesin (Tabel 4). Akibatnya emisi gas buang yang ditimbulkan juga akan lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa *preheating fuel system*.

Tabel 7. Pengukuran Emisi CO dan HC

Rpm	CO (%)			HC (ppm)		
	E-0	E-10	E-10 + Heater	E-0	E-10	E-10 + Heater
2000	1,56	0,14	0,06	211	426	144
3000	1,94	0,13	0,19	145	159	167
4000	1,99	0,10	0,16	136	77	88
5000	2,05	0,11	0,14	151	52	74
6000	2,65	0,13	0,18	172	44	67
7000	2,87	0,40	0,41	180	46	81
8000	2,84	0,84	1,09	142	62	95
9000	3,93	1,17	1,47	160	58	85

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan *preheating fuel system* pada mesin motor berbahan bakar bioetanol (E-10) dapat meningkatkan daya mesin sebesar 14,89%, efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 47,14% dan meningkatkan emisi gas CO dan HC masing – masing sebesar 38,46% dan 52,27% jika dibandingkan dengan tanpa *preheating fuel system*.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Rodrigo C. Costa, Jose R. Sodre. *Hydrous ethanol vs gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions*. Elsevier Ltd. Fuel, 89 (2010), hal. 287–293
- [2] A. F. Kheiralla, Mohamed El-Awad, Mathani Y. Hassan, M. A. Hussien, and Hind I. Osman. *Effect of Ethanol–Gasoline Blends on Fuel Properties Characteristics of Spark Ignition Engines*. (UofKEJ) Vol 1 Issues 2 (october 2011), hal. 22-28
- [3] Tangka J. K., Berinyuy J. E., Tekounegnin and Okale A. N.. *Physico-Chemical Properties of Bio-Ethanol/Gasoline Blends and The Qualitative Effect of Different Blends on Gasoline Quality and Engine Performance*. Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels, Vol.2(3), March 2011, hal.35-44
- [4] V. S. Kumbhar, D. G. Mali, P. H. Pandhare & R. M. Mane. *Effect of Lower Ethanol Gasoline Blends on Performance and Emission Characteristics of The Single Cylinder SI Engine*. International Journal of Instrumentation, Control and Automation (IJICA) ISSN: 2231-1890 (2012), Vol-1 Issu-3,4.

- [5] I Gede Wiratmaja. *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 4 No. 2 Oktober 2010, hal. 145–154
- [6] Sutomo, Murni, Rahmat. *Pengaruh Suhu Bahan Bakar Terhadap Keperluan Bahan Bakar Pada Motor Diesel Satu Silinder 20 Hp Dengan Elektroliser*. Gema Teknologi Vol. 16 No. 3 Periode April 2011 - Oktober 2011, hal 122 – 125
- [7] P. P. Sonune, H. S. Farkade. *Performance and Emissions of CI Engine Fuelled With Preheated Vegetable Oil and Its Blends – A Review*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 3, September 2012, hal 123 – 128
- [8] Arjun Shanmukam, Karthik S Kumar & Tarun M Prabhu. *Pre-heating Fuel for Charge Homogeneity to Improve Combustion*. International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME) Volume-2, Issue-1, 2013, hal 87 – 92.
- [9] Joko Winarno. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol Pada Bahan Bakar Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin*. Jurnal Teknik Vol. 1 No. 1 April 2011.



Pengurangan Kandungan Kalium dalam Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler

Alfonsus Agus Raksodewanto¹⁾, Agus Kismanto¹⁾

¹⁾Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi – BPP Teknologi
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 480, Tangerang 15314
Telpon (021) 7563213/17, Fax (021) 7563273, Email: agus.raksodewanto@yahoo.co.id

Abstrak – Indonesia sebagai produsen CPO terbesar dunia, mempunyai perkebunan kelapa sawit yang luasnya lebih dari 9 juta hektar, dengan jumlah pabrik kelapa sawit (PKS) sekitar 700 unit [1]. Limbah padat berupa tandan kosong (tankos) dari PKS, sebagian besar digunakan untuk pupuk dalam perkebunan kelapa sawit itu sendiri. Sebagian kecil, setelah dicacah dan dikeringkan, digunakan sebagai bahan bakar boiler tetapi harus dicampur cangkang dan serabut kelapa sawit, karena kandungan kalium yang tinggi dapat menyebabkan slagging pada pipa boiler. Kandungan kalium dalam tankos harus dikurangi agar dapat digunakan 100% sebagai bahan bakar boiler. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan bahan bakar boiler berupa limbah padat (tankos) kelapa sawit yang rendah kalium, sehingga akan mengurangi slagging pada pipa boiler. Dalam tulisan ini akan dipaparkan hasil penelitian, yang dengan cara sederhana dapat mengurangi kandungan kalium dalam tankos kelapa sawit. Pengurangan kalium dilakukan dengan merendam tankos kelapa sawit dalam air atau aquades. Dalam penelitian dilakukan 6 variasi perendaman yang dibedakan dengan banyaknya air/aquades dan lamanya perendaman. Hasil pengurangan kalium yang terbaik adalah perendaman dalam aquades dengan perbandingan berat 1:10 selama 6 jam. Kandungan kalium (sebagai K₂O) dalam tankos tanpa perlakuan sebesar 27%, turun menjadi 5% dengan perendaman dalam aquades tersebut di atas.

Kata Kunci: kandungan kalium tankos kelapa sawit, tankos bahan bakar boiler, pengurangan kalium tankos.

Abstract – Currently, Indonesia is the world's largest CPO producer, which has oil palm plantations more than 9 million hectares, and has palm oil mills as many as 700 mills [1]. The solid waste as empty fruit bunches (EFB), mostly used for fertilizer in oil palm plantation. A small portion of the EFB waste, after chopped and dried, can be used as boiler fuel but still have to be mixed with palm shells and fibers, due to the high potassium content which can cause slagging on boiler tubes. The potassium content of oil palm EFB has to be reduced in order to be used 100% as boiler fuel. The purpose of this research was to obtain low potassium EFB as boiler fuel, so slagging on boiler tubes will be reduced. In this paper will be shown the results of research, which is the simplest way to reduce the potassium content in oil palm EFB. Potassium content of EFB can be reduced by soaking in water or distilled water. In the research, 6 treatment have been done to EFB with variations that is distinguished by the amount of water / distilled water and soaking duration. The best result of the reduction of potassium is EFB soaked in distilled water with a weight ratio of 1:10 for 6 hours. The content of potassium (as K₂O) in EFB without pre-treatment by 27%, can be reduced to 5%.

Keywords: potassium content of palm EFB, palm EFB as fuel of boiler, reduction of potassium in palm EFB.

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi, dan gas alam), banyak negara berlomba untuk mengembangkan bahan bakar alternatif. Indonesia sebagai negara produsen CPO terbesar di dunia, mempunyai potensi bahan bakar alternatif dari limbah padat pabrik kelapa sawit berupa tandan kosong (tankos) kelapa sawit. Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dengan menggunakan tankos kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler, dapat dihitung seperti yang terlihat dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Potensi Energi Listrik dari Tankos [2]

CPO	26,000,000 ton/tahun
TBS	118,181,818 ton/tahun
	20,734 ton/jam
Tankos (MC 60%)	3,628 ton/jam
Tankos kering (MC 30%)	2,073 ton/jam
Nilai kalor (LHV) tankos	14,645 kJ/kg
Eff. Pembangkit	20%
Potensi Energi Listrik	1,687 MWe
	1.69 GWe

Tankos kelapa sawit saat ini sudah digunakan sebagai bahan bakar boiler tetapi tidak digunakan 100% melainkan dicampur dengan cangkang dan

Sumber utama dari permasalahan di atas adalah: (1) reaksi antara alkali dengan silika yang membentuk alkali silikat yang meleleh pada temperatur relatif rendah (dapat kurang dari 700°C, bergantung komposisi), dan (2) reaksi antara alkali dengan sulfur yang membentuk alkali sulfat pada permukaan perpindahan panas dalam boiler. Senyawa alkali memiliki peran sentral dalam kedua proses tersebut. Kalium adalah sumber alkali yang dominan pada kebanyakan biomassa seperti pada tandan kosong kelapa sawit. Kandungan yang tinggi dari elemen-elemen ini (Cl, K dan Si) juga perlu diperhatikan sangat serius terkait *bed agglomeration* pada boiler tipe *fluidize bed* [5].

Dalam teori pembakaran ini terlihat bahwa kandungan kalium yang tinggi akan sangat merugikan, karena pada suhu yang relatif rendah (sekitar 700-800°C) abu yang terbentuk dari hasil pembakaran kalium (K), klorin (Cl), dan silikon (Si) dapat meleleh dan lengket pada dinding tungku dan pipa penghantar panas boiler. Hal ini akan menurunkan efisiensi boiler.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel-sampel tankos yang telah disiapkan, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium yang hasilnya adalah sebagai berikut:

- Analisis Proksimat: memberikan informasi mengenai sifat dari material jika dipanaskan; yaitu, berapa banyak kandungan gas dan uap tar yang terbang yang disebut zat terbang (*volatile matter*) dan berapa banyak yang tertinggal sebagai karbon tetap (*fixed carbon*). Selain itu juga dapat ditentukan kandungan air (*moisture*) dan abu (*ash*) dari material. Metoda standar yang digunakan untuk analisis proksimat adalah ASTM Standard D5142.

Analisis proksimat untuk 6 sampel berdasarkan *as received* dan *dry basis* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Analisa Proksimat 6 Sampel

As Received						
Parameter	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Moisture	66.72	66.57	71.31	65.91	64.59	44.6
Volatile Matter	26.68	27.16	22.95	27.17	28.85	42.2
Ash	0.86	0.75	0.94	1.22	1.08	3.26
Fixed Carbon	5.74	5.52	4.8	5.7	5.48	9.94
TOTAL	100	100	100	100	100	100
Ash Removal	74%	77%	71%	63%	67%	0%

Dry Basis						
Parameter	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Moisture	0	0	0	0	0	0
Volatle Matter	80.17	81.24	79.99	79.70	81.47	76.17
Ash	2.58	2.24	3.28	3.58	3.05	5.88
Fixed Carbon	17.25	16.51	16.73	16.72	15.48	17.94
TOTAL	100	100	100	100	100	100
Ash Removal	56%	62%	44%	39%	48%	0%

Dari analisa proksimat *as received* dapat dihitung *dry basis* dengan membuat *moisture* menjadi 0 dan prosentase unsur yang lain tetap. Pada *dry basis* terlihat bahwa kelima sampel dengan perlakuan menunjukkan pengurangan abu dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Ini berarti bahwa dengan adanya perlakuan terhadap tankos akan mengurangi deposit abu yang cukup signifikan antara 40-60%.

- Analisis Ultimat: memberikan informasi komposisi elemen-elemen yang dikandung material sampel, yaitu karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan sulfur. Analisis ultimat diperlukan untuk menghitung kebutuhan udara pembakaran, berat dari hasil pembakaran dan panas yang hilang pada pengujian. Metoda standard yang digunakan untuk analisis ultimat adalah ASTM Standard D5373 untuk mendapatkan komposisi kandungan karbon, hidrogen dan nitrogen dan ASTM Standard D4239 untuk mendapatkan kandungan sulfur. Sedangkan kandungan oksigen didapatkan dengan menghitung sisa dari komposisi (100 % - % C - % H - % N - % S - % Air - % Abu).

Analisis ultimat untuk 6 sampel berdasarkan *as received* dan *moisture-free basis* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Analisa Ultimat 6 Sampel

As Received						
Parameter	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Moisture	66.72	66.57	71.31	65.91	64.59	44.6
Ash	0.86	0.75	0.94	1.22	1.08	3.26
C	18.38	17.02	14.35	16.02	18.07	26.94
H	2.59	3.21	2.67	2.51	2.81	3.22
N	0	0	0	0.01	0	0.35
S	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05
O	11.42	12.42	10.7	14.31	13.42	21.58
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Moisture-free (mf) basis						
Parameter	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Moisture	0	0	0	0	0	0
Ash	2.58	2.24	3.28	3.58	3.05	5.88
C	55.23	50.91	50.02	46.99	51.03	48.63
H	7.78	9.60	9.31	7.36	7.94	5.81
N	0	0	0	0.03	0	0.63
S	0.09	0.09	0.10	0.06	0.08	0.09
O	34.31	37.15	37.30	41.98	37.90	38.95
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Untuk sampel dengan perlakuan terlihat bahwa kandungan C dan H menunjukkan rata-rata lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Dalam pembakaran, komponen C dan H akan memberikan energi panas. Jadi dengan perlakuan, pembakaran akan menghasilkan energi panas yang lebih besar dibandingkan sampel tanpa perlakuan, meskipun membutuhkan udara untuk pembakaran lebih banyak.

- Pengujian Nilai Kalor: bertujuan untuk mengetahui potensi energi panas bahan bakar apabila dibakar dalam suatu ruang bakar. Pengujian ini sangat penting karena nilai kalor suatu bahan bakar yang

akan dipakai pada tungku menjadi salah satu parameter penting dalam rancang bangun sistem pembangkit energi. Disamping itu sebagai tolok ukur harga bahan bakar. Metoda standard yang digunakan untuk pengujian nilai kalor adalah ASTM Standard ASTM D-5865.

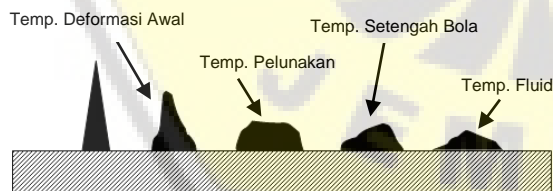
Hasil pengujian laboratorium untuk nilai kalor dari 6 sampel dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 5. Pengujian Nilai Kalor 6 Sampel

Calorific Value (kcal/kg)	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Empty Fruit Bunch						
As Received	1,485	1,567	1,405	1,628	1,671	2,460
Moisture Content 30%	3,719	3,872	4,206	3,912	3,831	3,251
Dry Basis (MC 0%)	5,545	5,763	6,239	5,820	5,704	4,875

Nilai kalor untuk 5 sampel dengan perlakuan menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan yang besarnya sekitar 20 MJ/kg [6]. Dapat dikatakan bahwa dengan perendaman air/aquades akan meningkatkan nilai kalor dari tankos kelapa sawit.

- Pengukuran Temperatur Leleh Abu: merupakan parameter utama yang digunakan sebagai ukuran dari potensi bahan bakar untuk membentuk kerak dan kotoran. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Ash Fusion Analyser*, yakni peralatan untuk menentukan temperatur leleh abu dari bahan bakar. Sampel abu yang telah dipersiapkan dalam bentuk kerucut secara perlahan-lahan dipanaskan dalam suatu tungku berjendela pada temperatur tinggi. Temperatur pada saat terjadinya perubahan bentuk dari kerucut dipantau dan temperturnya dicatat. Untuk pengujian ini metode standar yang digunakan untuk mengukur temperatur leleh abu adalah berdasarkan ASTM Standard D1875.



Gambar 2. Pengujian Temperatur Leleh Abu

Untuk keenam sampel, hasil pengukuran temperatur leleh abu adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Pengukuran Temperatur Leleh Abu 6 Sampel

Ash Fusion Temperature (a.r.)	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Reducing						
Deformation Temperature (°C)	1034	1067	974	1001	1155	940
Softening Temperature (°C)	1104	1176	1104	1094	1231	1019
Hemispherical Temperature (°C)	1119	1224	1266	1185	1474	1024
Fluid Temperature (°C)	1383	1371	1299	1269	1476	1185
Oxidizing						
Deformation Temperature (°C)	1149	1150	1018	1070	1164	953
Softening Temperature (°C)	1207	1203	1154	1172	1308	1094
Hemispherical Temperature (°C)	1358	1298	1216	1261	1325	1140
Fluid Temperature (°C)	1424	1342	1317	1339	1489	1203

Dengan perlakuan perendaman, temperatur leleh abu akan menjadi lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan perlakuan perendaman, tankos akan mempunyai karakter yang lebih baik dibandingkan jika tanpa perlakuan, karena temperatur operasi boiler dapat lebih tinggi.

- Analisa Abu: untuk mengetahui kandungan dari abu yang dihasilkan oleh pembakaran. Analisa abu ini menggunakan metode standar berdasarkan ASTM D-3682.

Untuk analisa abu, hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini:

Tabel 7. Analisa Abu 6 Sampel

Ash Analysis	Sample Code					
	1	2	3	4	5	6
Silica as SiO ₂ (%)	55.81	68.55	51.94	63.27	54.49	24.98
Iron as Fe ₂ O ₃ (%)	1.79	2.44	2.85	1.88	3.05	2.04
Aluminum as Al ₂ O ₃ (%)	1.29	0.39	1.02	1.03	1.47	1.14
Calcium as CaO (%)	6.15	7.84	7.35	10.92	8.09	5.16
Magnesium as MgO (%)	1.59	0.92	1.57	1.76	3.5	1.16
Kalium as K ₂ O (%)	6.1	8.39	6.92	9.49	4.84	27.21
Sodium as Na ₂ O (%)	0.95	0.9	1.32	0.89	5.11	0.6
Manganese as MnO ₂ (%)	0.69	1.51	1.3	2.22	0.4	1.45
Titanium as TiO ₂ (%)	0.85	1.41	0.77	0.9	1.31	0.36
Total	75.22	92.35	75.04	92.36	82.26	64.1

Perendaman dengan air/aquades akan mengurangi kandungan kalium yang cukup signifikan. Kandungan kalium sampel 5 menurun cukup drastis. Dengan menurunnya kandungan kalium dalam tankos, maka deposit abu yang menempel pada dinding tungku dan pipa penghantar panas boiler menjadi lebih sedikit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pengujian laboratorium adalah sebagai berikut:

- Dengan perlakuan perendaman tankos dalam air/aquades:
 - ❖ Abu yang dihasilkan pembakaran menjadi 40-60% lebih sedikit.
 - ❖ Kandungan C dan H meningkat, yang akan memberikan energi panas lebih besar. Membuat nilai kalor menjadi lebih besar.
 - ❖ Temperatur leleh abu menjadi lebih besar.
 - ❖ Mengurangi kandungan potassium (kalium) sangat signifikan.
 - ❖ Perendaman dengan aquades selama 6 jam menghasilkan tankos dengan kandungan kalium (sebagai K₂O) sebesar 5%, turun drastis dari 27% untuk tankos tanpa perlakuan.
- Saran:
 - ❖ Temperatur operasi boiler biomassa sebaiknya tidak lebih dari 800°C.

- ❖ Perlu dikaji lebih jauh langkah-langkah pre-treatment tankos selain perendaman, sebelum menjadi bahan bakar boiler [7].

DAFTAR REFERENSI

- [1] (2014) CDMI Consulting [Online], available at www.cdmione.com/source/CPO2014_Ind.pdf, accessed on August 11, 2014.
 - [2] Laporan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit, Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi - BPPT, Desember 2013.
 - [3] (2014) Bioenarea [Online], available at http://bisyplan.bioenarea.eu/ash_appendix.html, accessed on October 20, 2014.
 - [4] Black & Veatch, Power Plant Engineering, Chapman & Hall, 1996, hal. 165.
 - [5] T. Jantti and J. Sarkki of Foster Wheeler, "The Utilization of CFB Technology for Large-Scale Biomass Firing Power Plants", Power Generation Europe, Rai, Amsterdam, The Netherlands, June 8-10, 2010.
 - [6] D.L. Klass, "Biomass for Renewable Energy and Fuels", Encyclopedia of Energy, Elsevier, 2004, hal. 203.
 - [7] Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies, U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, September 2007, hal. 21-29.
- Tanya: Apakah kalium menyebabkan pengkaratan di boiler? (Suprihatin)
 - Jawab: Kalium meleleh pada suhu rendah. Untuk boiler konvensional suhu pemanasan sekitar 1000 sd 1400°C, kalium meleleh dan deposit di cup boiler.

Desain Pengering Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Agus Kismanto¹⁾, dan A. A. Raksodewanto¹⁾

¹⁾Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gd. 480 Kawasan Puspiptek Serpong – Tangerang Selatan
Telp. 021-7563217 Fax : 021-7563273, Contact email: aguskismanto@yahoo.com

Abstrak – Jika seluruh tandan kosong kelapa sawit dari seluruh perkebunan kelapa sawit dapat diubah menjadi energi listrik, maka kita dapat memproduksi listrik lebih dari 900MW. Penggunaan tandan kosong kelapa sawit untuk pembangkit listrik adalah sangat diinginkan karena akan mengurangi biaya pembuangan tandan kosong dari area pabrik kelapa sawit, dan untuk mendapatkan listrik dimana di daerah perkebunan kelapa sawit tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Namun sayangnya, tandan kosong kelapa sawit mempunyai kadar air yang tinggi, yaitu lebih dari 65%. Cara untuk mengeringkannya adalah dengan mencabik-cabik sehingga tandan kosong akan terurai menjadi potongan yang lebih kecil. Lalu potongan-potongan kecil dari tandan kosong ini disempatkan udara panas dari bawah ke atas untuk mengurangi kadar airnya. Kondisi yang optimal apabila kadar air dalam tandan kosong keluaran mencapai dibawah 20%, adalah pada ketinggian tumpukan tandan kosong 50 cm, kecepatan udara keluar adalah 1 m/s, suhu udara masuk 90°C dan waktu tinggal 1 jam. Untuk kelas Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa kapasitas 3 MWe, maka ukuran pengeringnya adalah panjang lintasan 6 meter dengan lebar 9.5 meter.

Kata Kunci: desain pengering tankos, desain pengering biomassa, tankos sebagai bahan bakar

Abstract – If all of the empty fruit bunches (EFB) from all oil palm plantation can be converted into electricity, we can produce more than 900 MW. The utilization of EFB to produce electricity is highly desirable to reduce the cost of removal from palm oil mill area and to produce electricity that most of the plantation area the electricity is not available. Unfortunately, the EFB has still very high moisture content, which is more than 65%. The solution to dry such EFB is to shredder it first to make a bulky EFB as smaller part. And then, we exposed the bulk of EFB into the hot air to reduce the water content. From our experiment, we find that the optimal condition for drying to get EFB with moisture content less than 20% is the bed height of 50cm, air velocity of 1m/s, temperature of hot air of 90°C, and the residence time of 1 hour. For Biomass Power Plant 3 MWe, the size of the EFB dryer is 6 m length and 9.5 m width.

Keywords: EFB drying plant design, biomass drying plant design, EFB as fuel

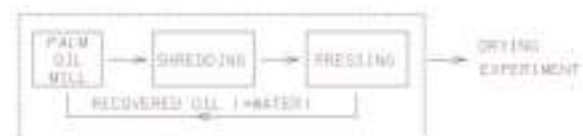
1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah biomassa untuk pembangkitan energi listrik merupakan cara pembangkitan energi yang bersih dan dapat lestari di sepanjang masa. Di Indonesia produksi minyak sawit tahun 2013 mencapai 26 juta ton. Seperti diketahui, prosentase kandungan minyak sawit terhadap tandan buah segar sekitar 21-25%, sedangkan prosentasi tandan kosong sekitar 20%. Tandan kosong yang keluar dari pabrik kelapa sawit masih mempunyai kadar air sekitar 60%. Dengan kandungan energi tandan kosong kering (kadar air 30%) sekitar 14.645 KJ/kg, dan dengan efisiensi pembangkit listrik tenaga biomassa skala kecil sekitar 20%, maka kita dapat membangkitkan energi listrik dengan kapasitas sekitar 1,687 MWe¹.

Kehadiran pembangkit listrik dengan total daya seperti di atas di area perkebunan kelapa sawit akan sangat membantu masyarakat yang biasanya di area perkebunan belum terjangkau oleh jaringan PLN,

namun pada kenyataannya Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa yang 100% memakai tandan kosong belum ada yang dibangun. Salah satu kendalanya adalah tingginya kadar air yang mencapai 60-65%. Untuk dapat dibakar secara lancar di boiler, maka tandan kosong harus dikeringkan sehingga kadar airnya kurang dari 30%.

Pengeringan tidak serta merta dilakukan ketika tandan kosong keluar dari pabrik kelapa sawit. Tandan kosong harus melalui beberapa tahapan proses terlebih dahulu seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Tandan Kosong sebelum dikeringkan¹.

Tandan kosong harus dicabik-cabik terlebih dahulu, agar dapat mempunyai ukuran yang lebih

kecil dan terurai. Setelah itu dilakukan pengempaan (*pressing*) secara mekanikal agar tandan kosong menjadi sekering-keringnya. Banyak pabrik kelapa sawit sudah menginvestasikan peralatan ini dengan tujuan utama adalah untuk menjemput minyak sawit yang terbawa dalam tandan kosong, agar rendemen pabrik kelapa sawit menjadi meningkat. Efek lain dari usaha ini, adalah kita telah mendapatkan tandan kosong dengan kadar air sekitar 55%. Pengempaan secara mekanikal ini cukup efektif, karena 34% air yang ada dalam tandan kosong dikeluarkan melalui cara ini. Namun pengempaan lebih keras lagi akan sulit menurunkan kadar air, mengingat air terjebak disela-sela tandan kosong.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk membahas khusus tentang desain peralatan pengering tandan kosong yang optimal, dari tandan kosong yang telah dalam kondisi tercabik dan tinggal mempunyai kadar air sekitar 55%.

2. METODOLOGI

Integrasi Pabrik Kelapa Sawit dan PLTBiomassa

Desain pengering telah memperhitungkan kapasitas PLT Biomassa yakni 3MW yang beroperasi 24 jam atau setara dengan Pabrik Kelapa Sawit dengan kapasitas 60 ton TBS per jam yang beroperasi 20 jam per hari, (atau 90 ton TBS/jam, jam kerja 13.5 jam/hari). Maka laju alir tandan kosong dari pabrik rata-rata adalah 2.8 kg basah/sekon. Kadar air tandan kosong tersebut masih sekitar 65%, dan setelah melalui alat kempa, kadar airnya berkurang menjadi 55% dan alirannya menjadi 1.88 kg/s. Skema integrasi antara Pabrik Kelapa Sawit dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 2. Konsep Integrasi Pabrik Kelapa Sawit dan PLTBiomassa¹.

Tandan kosong yang telah dikempa di Pabrik Kelapa Sawit, lalu disimpan sementara di area penyimpanan. Tujuannya adalah untuk melakukan pengaturan tandan kosong yang masuk ke unit pengering (*drying plant*), mengingat kadang terjadi ketidak-sesuaian antara beban. Pabrik Kelapa Sawit harus selalu menyesuaikan dengan keberadaan buah dari perkebunannya, sehingga bilamana terjadi kekurangan tandan kosong, maka tandan kosong tambahan ini dapat diambilkan dari pabrik kelapa sawit di sekitarnya. Disamping itu, pabrik juga kadang kala mengalami kendala operasioanal. Kendala ini diatasi dengan menempatkan tandan kosong cadangan sebelum proses pengeringan. Waktu tunggu ke unit

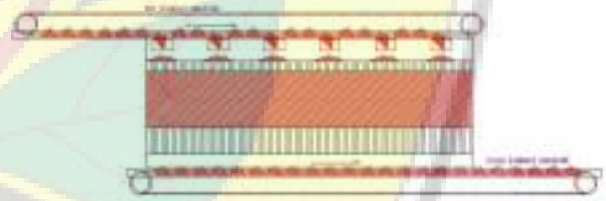
pengering ini juga dimanfaatkan sebagai waktu pengeringan alami.

Konsep Unit Pengering (*Drying Plant*)

Konsep unit pengering ini penting dibahas sebelum dilakukan eksperimen untuk memperoleh data empiris. Apabila konsep yang dilakukan berbeda, maka perlu dilakukan eksperimen yang berbeda untuk mengambil data-data yang diperlukan sehingga dapat melakukan perhitungan konsep unit pengering tersebut. Konsep dari unit pengering yang dipilih adalah instalasi yang bekerja secara kontinyu, artinya tandan kosong dialirkan secara terus menerus ke peralatan ini, dan dikeluarkan secara terus menerus ke PLT Biomassa.



Gambar 3. Unit pengering tampak samping¹



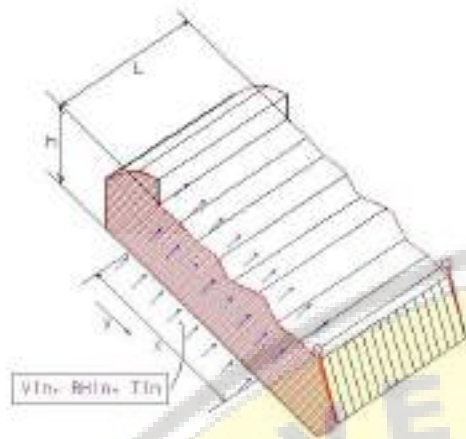
Gambar 4. Unit pengering tampak depan¹

Konsep unit pengering dibuat agar mudah penerapan upscaling dari eksperimen ke peralatan sebenarnya. Tandan kosong basah dihantarkan lewat konveyor ke bagian atas dari pengering, lalu tandan kosong dijatuhkan ke bidang miring sehingga dapat merosot ke bawah akibat gaya gravitasi. Ketika di bidang miring ini, tandan kosong disemprot oleh udara panas, sehingga ketika sambil berjalan merosot ke bawah, tandan kosong mengalami proses pengeringan. Kecepatan alir ke bawah dari tandan kosong diatur oleh pembukaan pintu hidrolik di bagian bawah bidang miring. Dengan ketinggian yang sama, maka kapasitas pengering ditentukan oleh seberapa lebar dari bidang miring, seberapa lama waktu tinggal dan seberapa tinggi dari onggokan tandan kosong.

Konsep Eksperimen

Eksperimen dilakukan untuk menentukan data data yang diperlukan dalam mendukung konsep unit

pengering di atas. Secara skema dapat dilihat di gambar dibawah.

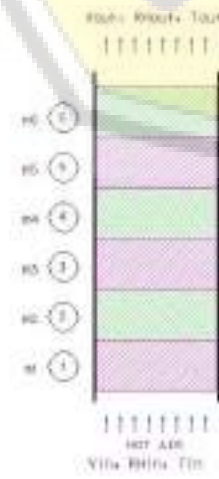


Gambar 5. Besaran-besaran yang dibutuhkan untuk desain unit pengering.

Hal-hal yang harus diketahui untuk desain pengering adalah berapa besaran udara panas yang disemprotkan Vin, Kelembaban Relatif (Rhin) dan suhu udara panas (Tin) sehingga terjadi titik yang optimal dari ketinggian ongkokan tandan kosong 'h' dan waktu tinggal selama merosot di sepanjang 'x'.

Konfigurasi Eksperimen

Tandan kosong yang telah dicabik-cabik dan diletakkan di suatu ruangan dengan ukuran panjang 30cm dan lebar 20cm. Kemudian tandan kosong ditimbang m1 seberat 2kg, lalu dituang ke dalam ruangan tersebut, dan diberi lapisan penyekat di sebelah atasnya dari kawat kasa. Kegiatan ini diulang sampai ke m6. Dari bagian bawah disemprotkan udara panas dengan berbagai macam variasi besaran, kemudian diukur penurunan berat m1-m6 sebagai fungsi waktu, begitu pula diukur parameter udara panas yang keluar.

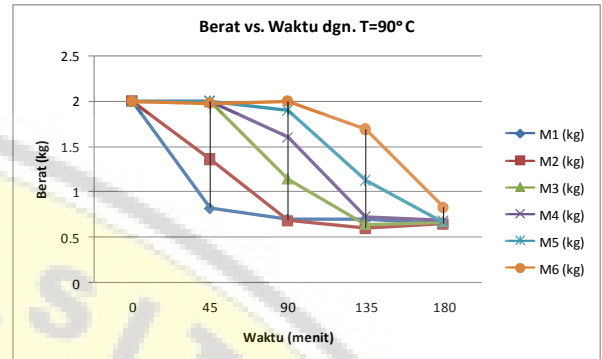


Gambar 6. Parameter eksperimen pengeringan tandan kosong

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dibawah ini disampaikan hasil dari eksperimen.

Pengaruh Ketinggian Ongkok.

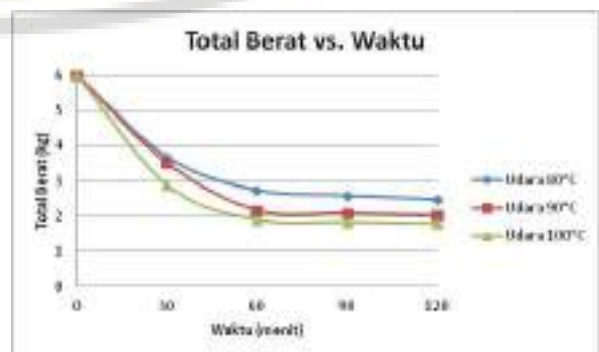


Gambar 7. Grafik Berat vs. Waktu untuk 6 Kompartemen Menggunakan Udara 90°C

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa penurunan berat terjadi pada kompartemen terbawah yang terpapar langsung oleh udara panas. Kemudian penurunan berat lebih lambat terjadi pada kompartemen di atasnya. Pada kompartemen paling atas, hampir tidak terjadi penurunan berat sama sekali, bahkan sampai 90menit eksperimen, walaupun pada akhirnya juga mengalami penurunan berat setelah 3 pengeringan di 3 kompartemen terbawah hampir sempurna. Hal ini dapat dijelaskan bahwa energi untuk pengeringan terprioritaskan pada kompartemen terbawah dahulu, baru sisanya diberikan di kompartemen di atasnya. Apabila waktu pengeringan perlu dilakukan secara cepat, maka ketinggian ongkokan harus dikurangi karena tidak cukup waktu untuk mengeringkan di bagian atas dari kompartemen. Untuk eksperimen selanjutnya, maka dipakai hanya 3 kompartemen saja, mengingat kompartemen di atasnya tidak berpengaruh banyak terhadap pengeringan.

Pengaruh Suhu.

Untuk itu dilakukan eksperimen dengan 3 kompartemen dan diukur kecepatan pengeringannya.

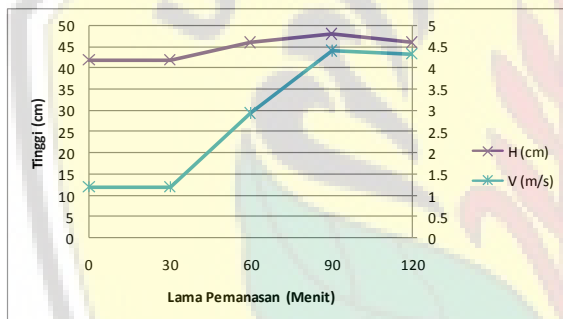


Gambar 8. Grafik Total Berat vs. Waktu untuk 3 Kompartemen Menggunakan Udara 80°C, 90°C, 100°C

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur, maka pengeringan akan semakin cepat. Dan juga setelah 1 jam, maka kemampuan pengeringan sudah berkurang, dan tidak dapat berkurang lagi kecuali suhu udara panas dinaikkan. Dengan demikian dapat diketahui bahwa uap air yang berada di permukaan sampai pengeringan selama 1 jam telah habis teruapkan, dan selanjutnya tinggal uap air yang berada di dalam benda itu sendiri yang masih tersisa. Mengeringkan uap air yang berada di dalam benda tidak efektif lagi, mengingat hanya mengurangi kadar air yang sedikit, namun dibutuhkan waktu yang sangat lama. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa waktu tinggal 1 jam sudah cukup mengeringkan. Juga suhu pengeringan 90°C sudah cukup efektif mengeringkan, dimana penambahan suhu ke 100°C, tidak begitu menambah banyak air yang teruapkan lagi.

Kecepatan Udara dan Ketinggian Onggok

Kondisi di atas dapat tercapai dalam kondisi kecepatan udara dan ketinggian onggok seperti di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Tinggi Onggok dan Kecepatan Udara terhadap Lama Pemanasan

Dari grafik di atas terlihat bahwa sepanjang jangka waktu pengeringan tandan kosong, ketinggian onggok mengalami penambahan sekitar 8%. Namun apabila diperhitungkan sebagai pengurangan berat jenis, maka hal ini menjadi sangat menyolok perbedaannya, dimana beratnya tinggal 30% nya. Pengelembungan onggok ini diakibatkan oleh pengurangan berat jenis, namun penambahan ketinggian ini tidak signifikan akibat onggok tandan kosong kering ini saling mengikat sehingga hanya mengakibatkan perubahan ketinggian yang sedikit.

Yang perlu menjadi perhatian justru peningkatan kecepatan udara setelah udara panas melewati onggok. Setelah onggok menjadi semakin kering, maka berat jenisnya semakin drastis berkurang, sehingga udara panas menjadi mudah melalui sela-sela tandan kosong yang dikeringkan ini. Setelah tandan kosong menjadi semakin kering, maka kecepatan udara menjadi semakin bertambah. Hal ini menjadi tantangan tersendiri ketika kita melakukan desain pengering tandan kosong yang bekerja secara kontinyu. Pada titik awal maka distribusi udara harus lebih

dipermudah, dan pada bagian akhir dari pengering, distribusi udara harus dipersulit. Dengan demikian aliran udara dapat merata ke seluruh titik pengeringan.

Pengering Tandan Kosong untuk 3MW Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa.

Berikut perkiraan dimensi untuk Pengering Tandan Kosong kelas 3 MW.

PLTU Biomassa	3 MWe
Efisiensi	20%
Kebutuhan Energi	15 MJ/s
Kandungan Energi TKKS	11.8 MJ/kg
Aliran Tankos	1.3 kg/s MC = 30%
Aliran Tankos	2.0 kg/s MC = 55%
Berat Jenis	0.25 kg/dm ³
Waktu tinggal	1 jam
Volume Tankos	28.5 m ³ /jam
Panjang lintasan	6 m
Ketinggian onggokan	0.5 m
Lebar Drying Plant	9.5 m

Gambar 10. Dimensi Pengering Tankos dari Hasil Eksperimen dan Perhitungan

Perkiraan kebutuhan tandan kosong di atas, dapat dicukupi oleh Pabrik Kelapa Sawit yang berukuran minimal 45 ton TBS per jam yang bekerja secara kontinyu.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan selesainya desain pengering tandan kosong secara konseptual dan dengan didukung hasil-hasil eksperimen, maka telah dapat diketahui perkiraan dimensi peralatan untuk PLTU Biomassa kapasitas 3 MWe.

Untuk itu perlu dilakukan rekalkulasi dimensi ulang dengan melakukan eksperimen dengan ukuran yang lebih besar dan bekerja secara kontinyu. Komplikasi akibat aliran udara akan lebih memilih untuk mengalir di area tandan kosong yang relatif lebih kering harus bisa diatasi di eksperimen ini.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Laporan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit, Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi - BPPT, Desember 2013.

Notulensi Diskusi:

ETO-303, Agus Kismanto dkk, Perancangan Pengereng Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa.

- **Tanya:** Konsep menarik, apakah sudah diperhitungkan konversi energinya? Kondisi yang dibawah masih diam apakah mungkin dibuat rotasi sehingga lebih cepat kering? (M Faiz Karimy).

- **Jawab:** Rotary sudah dipakai di Malaysia, penelitian ini masih dalam bentuk konsep belum realisasi. Konsep penelitian ini menggunakan konsep gravitasi dan kemiringan. Secara eksak belum dihitung nilai konversi energy tetapi diduga masih ada kelebihan energinya.

