

Pratritmen Kimia terhadap Tandan Kosong Sawit Menggunakan NH_4OH Konsentrasi Rendah untuk Meningkatkan Produksi Biogas

Chemical Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch using Low Concentration of NH_4OH to Enhance Biogas Production

IIN PARLINA

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung 820 Geostech, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15314
iin.parlina@bppt.go.id

ABSTRACT

Indonesia is the biggest producer of palm oil in the world with potential amount of empty fruit bunch (EFB) byproduct as much as 22 million tons/year. So far there have been no advanced technologies employed by palm oil industries in Indonesia to increase the added value of their EFB except the one that converts EFB into electricity through combustion technology. The rest of the EFB is still returned to the plantation land for mulching purposes that will be naturally degraded by the environment. However these practices could release CH_4 gas into the atmosphere that then cause global warming effect. Bioconversion to treat EFB into chemicals and bioenergy is a promising climate change mitigation technology. It can give benefits not only to avoid the CH_4 emission into the atmosphere, but also to convert the CH_4 into energy that can substitute the consumption of electricity and fossil fuel. However, the biomass recalcitrance is the most limiting factor in achieving a fully-optimized conversion. Therefore, pretreatment technology by breaking the EFB's recalcitrance plays a significant role in increasing EFB to CH_4 conversion. Consequently, this technology could optimize its potential climate change mitigation from oil palm industry and plantation view points. Breaking recalcitrant characteristic of EFB is a costly process but it should be addressed first. In this research, low concentration of NH_4OH is used as a chemical pretreatment of EFB. It is considered to be a cheaper process. Moreover, it could significantly increase the production of CH_4 at around 33.8% higher than that of untreated EFB.

Keywords: empty fruit bunch, pretreatment, biogas, ammonium hydroxide, low concentration

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia memiliki potensi hasil samping limbah padat tandan kosong sawit (TKS) sekitar 22 juta ton/tahun. Selama ini belum ada pemanfaatan TKS yang maksimal untuk meningkatkan nilai tambah dari TKS kecuali konversi menjadi listrik melalui teknologi pembakaran. Biasanya, sebagian besar limbah TKS dikembalikan ke lahan perkebunan sebagai penutup tanah (mulsa) yang selanjutnya akan didegradasi secara alami oleh lingkungan. Namun, proses ini justru memiliki potensi emisi CH_4 ke atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Teknologi biokonversi TKS untuk menjadi bahan kimia dan energi dapat menjadi pilihan teknologi yang menjanjikan dalam pencegahan perubahan iklim. Manfaat teknologi ini tidak hanya dapat mencegah terjadinya emisi alami CH_4 ke atmosfer tetapi juga dapat memanfaatkan gas CH_4 menjadi energi untuk substitusi konsumsi listrik dan bahan bakar fosil. Namun, sifat rekalsitransi biomassa TKS menjadi faktor pembatas paling utama dalam konversi TKS menjadi gas CH_4 . Oleh karena itu, teknologi pratritmen diperlukan untuk mengurangi karakteristik rekalsitransi TKS sehingga efisiensi konversi menjadi CH_4 dapat lebih optimal. Teknologi pratritmen untuk memecah sifat rekalsitransi dalam TKS masih tergolong mahal namun harus bisa dilakukan agar konversi TKS ke gas CH_4 menjadi lebih tinggi. Dalam riset ini, pratritmen TKS digunakan bahan kimia NH_4OH konsentrasi rendah. Teknologi pratritmen dengan NH_4OH konsentrasi rendah ini dinilai lebih murah biayanya. Selain itu, proses pratritmen ini dapat meningkatkan produksi CH_4 cukup signifikan yaitu sekitar 33,8% lebih tinggi bila dibandingkan tanpa pratritmen.

Kata kunci: tandan kosong sawit, pratritmen, biogas, amonium hidroksida, konsentrasi rendah.

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) adalah salah satu sumber penghasil minyak tanaman pangan yang paling produktif di dunia. Pada tahun 2007 kontribusi minyak kelapa sawit sebesar 35,90% dari hasil total minyak nabati. Namun dalam prosesnya, jumlah residu (limbah) biomassa yang dihasilkan menimbulkan kekhawatiran karena berpotensi menghasilkan emisi gas CH_4 yang dapat memicu pemanasan global penyebab perubahan iklim. Residu biomassa dari proses produksi kelapa sawit dunia secara total lebih dari 100 juta ton per tahun yaitu dengan asumsi setiap hektar perkebunan kelapa sawit dapat menghasilkan residu sekitar 21,625 ton per tahun. Tandan kosong sawit (TKS) memberikan kontribusi 20,44% dari total residu yang dihasilkan⁽¹⁾. Indonesia sebagai salah satu negara produsen kelapa sawit memiliki luas perkebunan hampir 7,8 juta hektar dan menghasilkan 23,5 juta ton CPO pada tahun 2011⁽²⁾. Dalam proses produksi, industri kelapa sawit umumnya menghasilkan 1,13 kg TKS per kg produk minyak sawit⁽³⁾. Oleh karena itu, Indonesia dihadapkan dengan produksi limbah biomassa TKS sekitar 26.4 juta ton setiap tahun dan kemungkinan meningkat jumlahnya di masa depan⁽³⁾.

TKS dihasilkan pada tahap setelah proses ekstraksi minyak dari buah. Oleh karena melewati proses ekstraksi yang menggunakan kukus, TKS memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan kesulitan dalam transportasi dan pemanfaatannya. Kadar air TKS adalah lebih dari 60% sehingga tidak efisien jika digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran karena perlu adanya upaya mengurangi kadar air. Dengan demikian, penggunaan TKS secara konvensional yaitu dikembalikan ke lahan perkebunan sebagai pupuk atau mulsa (penutup tanah). Pilihan lain yang diterapkan oleh industri yaitu membakar dan membuang TKS di tempat pembuangan sampah⁽⁴⁾.

Karena jumlahnya yang melimpah namun pengetahuan dalam pemanfaatan yang masih lemah, TKS memiliki nilai komersial kurang dioptimalkan. Selain itu, TKS menjadi masalah karena densitasnya yang padat dan juga potensinya mengemisikan CH_4 meskipun dalam kecepatan yang relatif lambat⁽⁵⁾. Pilihan pemanfaatan TKS sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit membutuhkan biaya transportasi yang tinggi. Selain itu, proses degradasi oleh mikroorganisme anaerob berjalan lambat namun dapat langsung menghasilkan gas rumah kaca CH_4 meskipun dalam laju yang rendah. Pilihan teknologi yang lebih canggih yang diterapkan oleh beberapa

industri kelapa sawit yaitu dengan memanfaatkan limbah padat TKS tersebut untuk dikonversi menjadi listrik melalui teknologi pembakaran dan boiler serta generator listrik. Namun, pilihan teknologi ini juga memiliki kekurangan berupa emisi gas CO_2 ke lingkungan. Pemanfaatan TKS lainnya yang kemungkinan dapat dilakukan di masa depan adalah dengan melakukan konversi serat TKS menjadi bahan komposit dan juga bahan bakar terbarukan generasi 2 (biomasa lignoselulosa).

Biofuel generasi kedua dari biomassa lignoselulosa termasuk TKS kini mendapat perhatian karena memiliki potensi yang cukup besar untuk menggantikan bahan bakar fosil, rendah daya saingnya terhadap sektor pangan, dan juga adanya manfaat lingkungan dari pengurangan emisi gas rumah kaca. Bahan biomasa lignoselulosa memiliki produktivitas yang tinggi per hektar dan membutuhkan input relatif rendah per unit biomassa yang dihasilkan⁽⁶⁾. Mengingat semua keunggulan ini, biomassa lignoselulosa dinyatakan sebagai sumber daya yang paling berkelanjutan untuk bioenergi. Selain itu, hasil produk pengolahannya dapat diintegrasikan dengan infrastruktur energi yang telah ada secara lebih mudah dibandingkan dengan sumber lainnya⁽⁷⁾. Misalnya dengan konversi TKS menjadi energi listrik dapat diintegrasikan dengan sistem grid yang telah ada.

Konversi biokimia dari TKS menjadi produk berharga seperti bioethanol dan biogas diharapkan secara signifikan dapat mengurangi efek bencana perubahan iklim dengan mengurangi emisi CH_4 akibat degradasi alamiah TKS. Caranya yaitu dengan meningkatkan laju konversi CH_4 yang dihasilkan dan mengumpulkannya untuk dimanfaatkan sebagai energi terbarukan. Hanya saja, karakteristik rekalsitransi biomassa dari TKS yang membuat proses konversi CH_4 menjadi lambat dan membutuhkan proses praitritmen untuk meningkatkan degradabilitas TKS menjadi CH_4 . Hal ini menyebabkan harga proses pretreatment cukup mahal karena biasanya dilakukan dengan menggunakan asam basa kuat atau pada kondisi operasi yang ekstrim. Pencarian teknologi praitritmen yang murah dan efektif untuk mengatasi rekalsitransi biomassa menjadi masalah teknis (*technical gap*) yang harus dicari solusinya agar teknologi konversi biomassa menjadi gas CH_4 bisa berjalan dengan optimal.

Praitritmen dengan menggunakan bahan alkali/basa (*alkali pretreatment*) adalah salah satu metode praitritmen kimia yang memiliki harga lebih murah jika dibandingkan dengan praitritmen dengan menggunakan bahan asam

(acid pretreatment). Alkali pretreatment akan menghasilkan perubahan secara kimiawi untuk mengurangi rekalsitransi dengan cara delignifikasi atau pelarutan lignin dalam biomassa.

Ammonia adalah salah satu bahan yang sering digunakan untuk delignifikasi dan memiliki harga yang relatif murah dibandingkan dengan jenis basa lainnya. Penggunaan ammonia dalam bentuk ammonium hidroksida dalam konsentrasi larutan yang rendah dipadukan dengan penggabungan hidrolisate paska pretratmen dan inokulum pada proses produksi biogas diharapkan akan mampu meningkatkan konversi TKS menjadi biogas (CH₄) secara optimal.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menemukan kondisi praitritmen dengan menggunakan ammonium hidroksida konsentrasi rendah yang dapat menghasilkan peningkatan produksi biogas.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

TKS yang merupakan residu dari pohon kelapa sawit (*Elaeisis guineensis*), setelah proses ekstraksi minyak, kemudian dikeringkan, digiling, lalu diayak untuk mendapatkan ukuran partikel yang sama.

2.2 Metode

Proses praitritmen menggunakan bahan ammonium hidroksida dilakukan dengan cara perendaman pada berbagai kondisi (konsentrasi, dan waktu perendaman). Konsentrasi yang dipakai adalah 4%, 6% b/b (berat ammonium hidroksida per berat biomassa). Waktu perendaman yang dilakukan adalah 1 (satu) dan 3 (tiga) hari. Terdapat 2 (dua) perlakuan paska praitritmen, yaitu metode pertama dilakukan pencucian dan pengeringan sebelum proses biogas sedangkan metode kedua dilakukan pencampuran secara langsung inokulum dengan bahan padat (TKS) bersama dengan fraksi cairnya.

Proses biogas dilakukan secara *batch* dengan menggunakan metode respirometri di mana gas yang keluar dalam proses akan langsung dideteksi secara otomatis dan digital.

2.3 ANALISIS

Analisis kimia standar untuk mengevaluasi kinerja proses praitritmen adalah analisis komposisi biomassa dengan menggunakan metode standar dari *National Renewable Energy Laboratory* (NREL)-USA, sedangkan untuk proses biogas, dilakukan analisis potensi biometana (*Biomethane Potential Analysis/BMP*) yang menjadi dasar perhitungan untuk metode respirometri.

Hasil produksi biogas dari kontrol (tanpa praitritmen) dan dengan praitritmen dibandingkan untuk melihat adanya perbedaan komposisi lignoselulosa akibat proses praitritmen terhadap kinerja proses biogas.

Hasil analisis juga didukung dengan data hasil observasi visual menggunakan mikroskop melalui metode *scanning electron microscopy* (SEM) untuk memperlihatkan efek permukaan akibat praitritmen. Alat yang digunakan adalah SEM Hitachi dengan menggunakan percepatan tegangan 20 kV.

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Praitritmen

Pada umumnya, praitritmen dilaksanakan dengan menggunakan kondisi operasi yang ekstrim (*severe condition*) untuk mampu menghasilkan daya degradasi rekalsitransi secara optimal. Namun hal ini berimplikasi pada biaya yang mahal dan kontrol harus dilakukan dengan baik. Praitritmen dengan menggunakan metode perendaman oleh zat basa dinilai memiliki daya yang cukup merusak (efek pelarutan terhadap lignin/delignifikasi) namun memiliki biaya instalasi dan operasi yang lebih rendah. Hal ini memerlukan pencarian batas kondisi operasi yang optimal sepadan dengan biaya yang dikeluarkan.

Praitritmen dengan menggunakan zat basa diharapkan mampu mengubah komposisi kandungan lignoselulosa dari TKS sehingga nantinya dapat diketahui dan dianalisis faktor peningkatan biokonversi secara lebih komprehensif. Adapun hasil praitritmen TKS dengan menggunakan ammonium hidroksida dalam konsentrasi rendah menghasilkan perubahan kimia yang ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil analisis komposisi TKS dengan menggunakan metode NREL

Konsentrasi (b/b)	ASL-A (%)	ASL (%)	Arabinosa (gram)	Galaktosa (gram)	Glukosa (gram)	Xilosa (gram)
4%	7.101	10.33685	0.1016	0.0484	4.817	3.3337
6%	7.158	10.30567	0.1076	0.0509	5.2267	3.5427

Tabel 2. Hasil akhir analisis komposisi biomass paska praitritmen

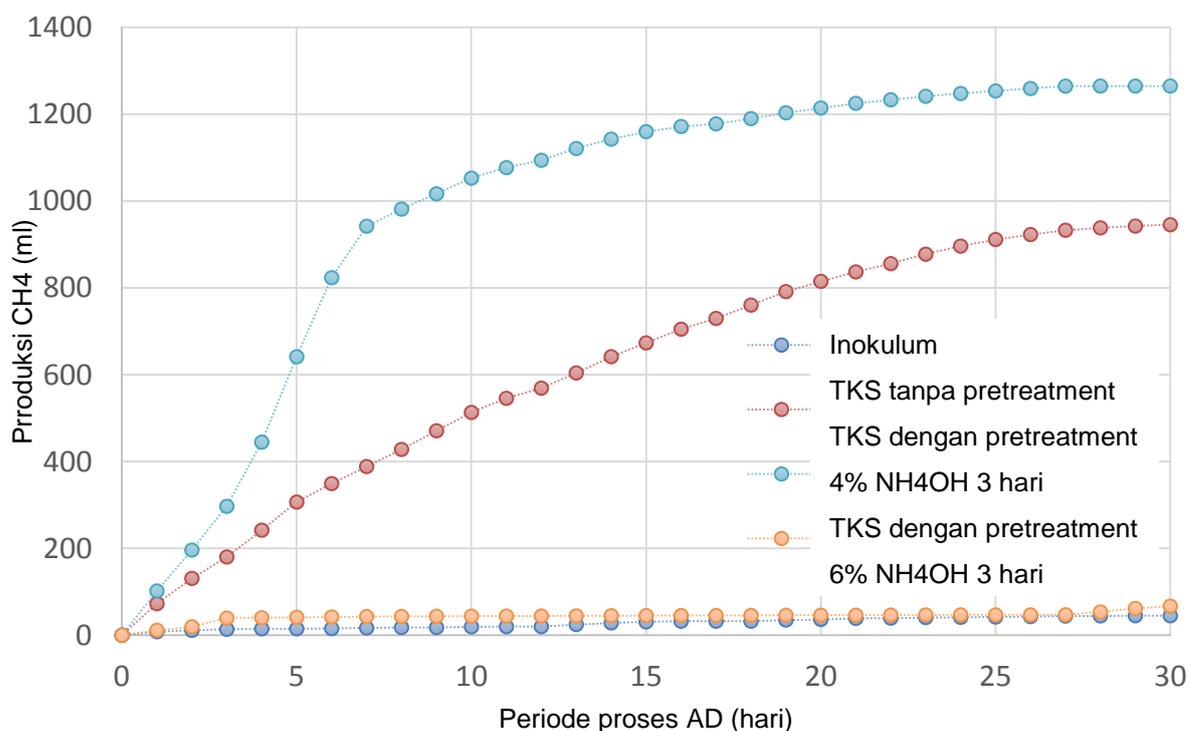
Konsentrasi (b/b)	Arabinosa (%)	Galaktosa (%)	Glukosa (%)	Xilosa (%)	Sellulosa (%)	Hemisellulosa (%)
4%	0.520601	0.253639	25.24341	17.08197	25.49705	17.60257
6%	0.545305	0.263818	27.09034	17.95401	27.35416	18.49931

Tabel 1 dan 2 di atas menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan signifikan dalam komposisi TKS antara praitritmen yang menggunakan amonium hidroksida konsentrasi 4% dan konsentrasi 6% dalam kondisi perendaman selama 3 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi rendah tersebut belum cukup melakukan perubahan kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa secara signifikan. Namun bukan berarti tidak akan terjadi peningkatan CH₄ karena jika proses praitritmen dilanjutkan tanpa adanya penyaringan dan pengeringan biomasa hasil

praitritmen, proses praitritmen akan berlangsung secara simultan bersama proses konversi biogas. Proses ini memerlukan waktu minimal sekitar 30 hari.

3.2 Proses Konversi TKS menjadi Biogas

Profil dari pengaruh praitritmen terhadap peningkatan produksi biogas diamati dengan menggunakan metode respirometer secara *batch*. Kontrol yang digunakan adalah inokulum dan TKS yang tidak dilakukan praitritmen terlebih dulu.



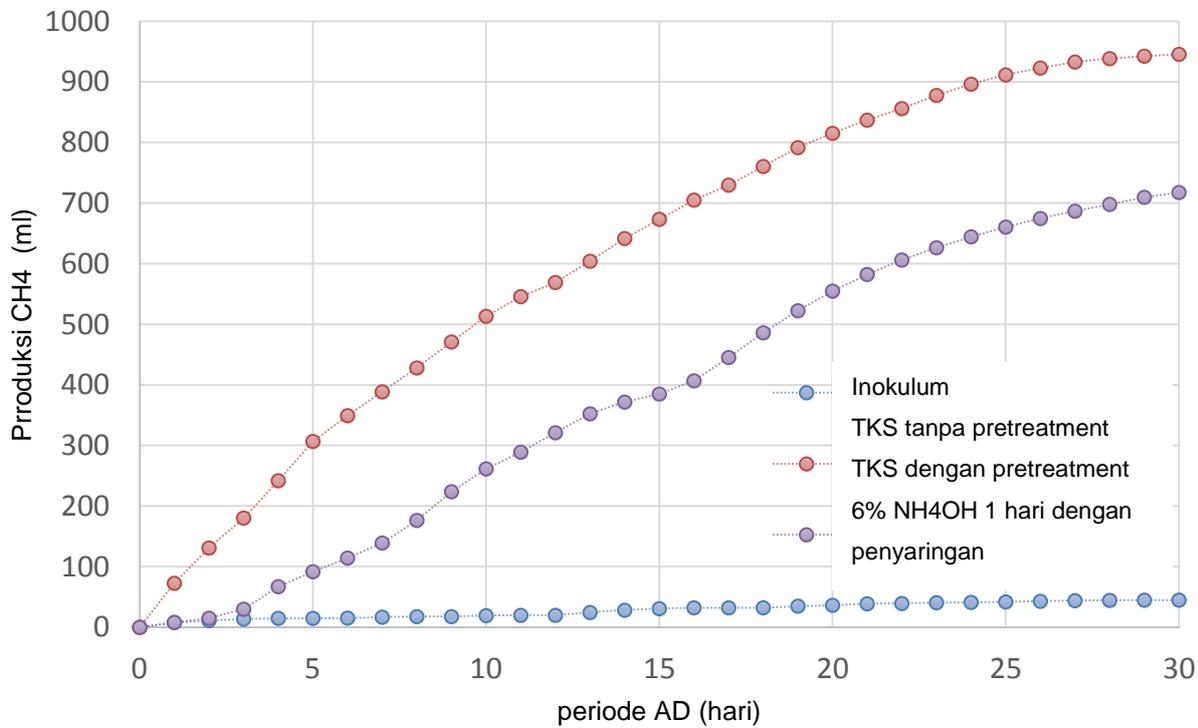
Gambar 1. Hasil perbandingan produksi CH₄ dengan menggunakan 4% dan 6% NH₄OH dengan lama proses perendaman 3 hari tanpa dilakukan pemisahan fraksi cair dan padat paska praitritmen

Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa terdapat peningkatan produksi CH₄ yang diakibatkan oleh proses praitritmen dengan menggunakan 4% amonium hidroksida selama perendaman 3 (tiga) hari yang dilanjutkan langsung dengan proses konversi biogas tanpa melalui proses pengeringan dan filtrasi. Namun,

ketika konsentrasi NH₄OH ditingkatkan menjadi 6% yang terjadi adalah inhibisi sehingga bakteri yang berada dalam proses biogas tidak mampu menerima kondisi konsentrasi amonium hidroksida yang tinggi di dalam fraksi cair.

Untuk membandingkan hasil proses biogas yang didahului dengan dan tanpa filtrasi pengeringan, berikut ditampilkan hasil praitritmen TKS dengan menggunakan konsentrasi NH_4OH 6% perendaman 3 hari.

TKS yang sudah ditreatmen kemudian disaring, dibasuh dengan air dan dikeringkan dalam oven 60°C selama 24 jam. Hasil dari proses ini kemudian ditampilkan oleh Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil perbandingan produksi CH_4 dengan menggunakan 6% NH_4OH

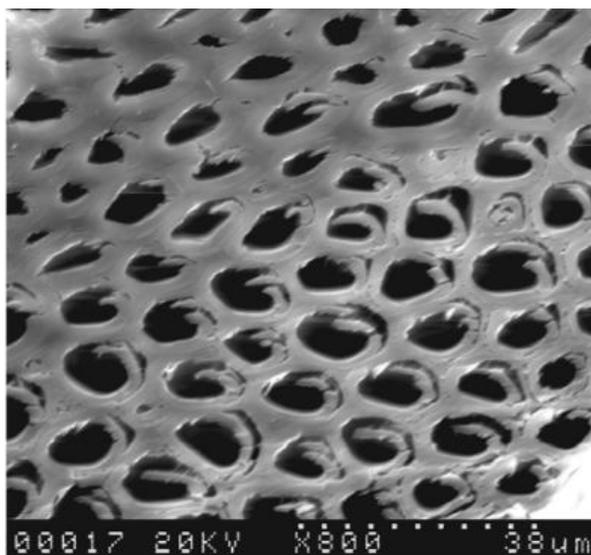
Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa, perubahan kimia yang ditunjukkan oleh Tabel 1 dan 2 yang tidak mampu memberikan perubahan signifikan pada komposisi lignoselulosa TKS, namun kehadirannya dalam fraksi cair dalam proses anaerobik memiliki pengaruh pada peningkatan atau penurunan CH_4 . Kehadiran 4% b/b NH_4OH dari praitritmen yang dilanjutkan dengan proses konversi biogas memiliki efek peningkatan CH_4 sedangkan penambahan 6% b/b NH_4OH justru menghambat proses biogas.

Namun, jika dilakukan penyaringan dan pembasuhan terlebih dulu, TKS yang dipraitritmen tidak menunjukkan pertambahan

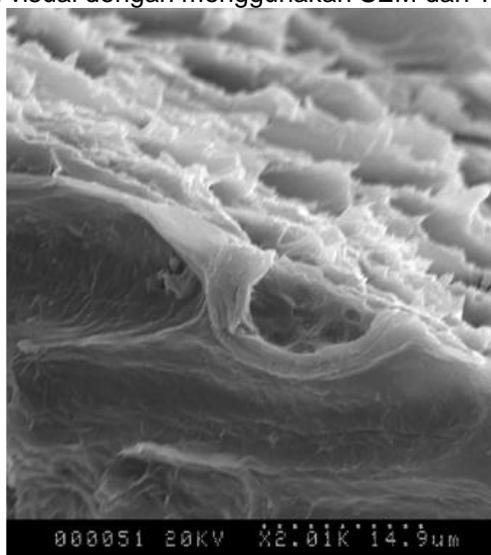
CH_4 menandakan bahwa faktor utama perubahan komposisi tidak cukup membuat bakteri bisa bekerja dengan baik.

3.3 Hasil Observasi Visual Menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Untuk memperkuat hasil analisis tentang mekanisme praitritmen dan produksi biogas dari biomasa, maka dilakukan analisis permukaan secara visual dengan menggunakan SEM. Perolehan gambar visual permukaan biomassa pasca praitritmen dan selama proses ditampilkan melalui Gambar 3 dan 4 berikut ini.



Gambar 3. Hasil observasi visual dengan menggunakan SEM dari TKS yang belum dipratritmen

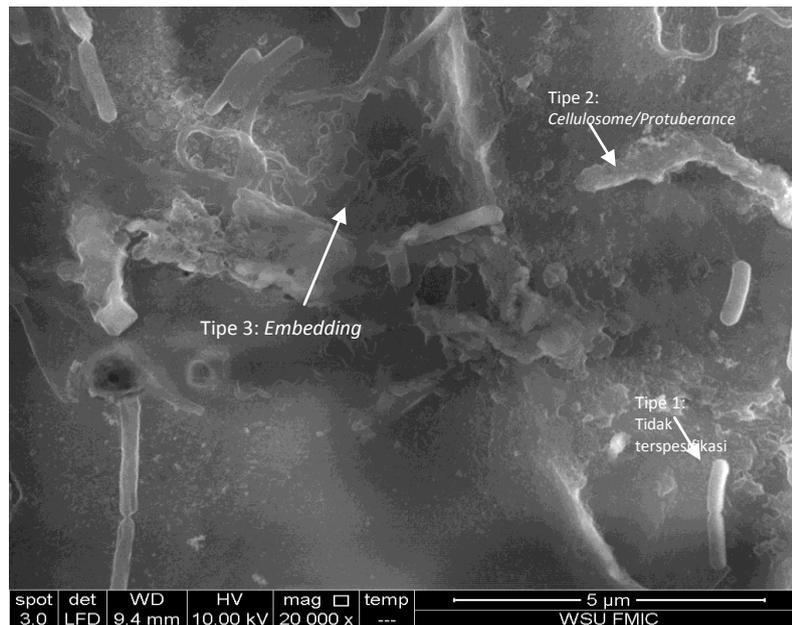


Gambar 4 Hasil observasi visual dengan menggunakan SEM dari TKS dengan pasca praitritmen 4% NH_4OH selama perendaman 3 hari

Gambar 3 menunjukkan bahwa permukaan mulus dari potongan melintang TKS sebelum praitritmen menjadi lebih kasar setelah dilakukan perendaman dengan menggunakan zat basa NH_4OH . Namun belum cukup signifikan untuk melakukan abrasi dan perubahan permukaan yang berdampak pada daya degradabilitas dari TKS. Padahal maksud praitritmen dimaksudkan untuk meningkatkan luasan permukaan sehingga dapat lebih banyak dan mudah dilekati oleh bakteri pada proses produksi biogas. Hal ini mengindikasikan kekuatan praitritmen masih perlu ditingkatkan, misalnya berupa penambahan lama perendaman atau peningkatan konsentrasi. Hanya saja, seperti yang dibahas pada bagian sebelumnya bahwa kehadiran konsentrasi

senyawa NH_4OH tertentu pada fraksi cair selama produksi biogas yang terlalu tinggi akan dapat mengakibatkan terhambatnya proses biogas. Jika konsentrasi NH_4OH akan ditingkatkan, maka penyaringan dan pembasuhan memegang peran yang krusial untuk menghilangkan sisa ion dari NH_4OH yang terlarut dalam fraksi cair ataupun yang terbawa dan menempel pada permukaan biomasa.

Observasi visual juga perlu dilakukan pada biomasa TKS dalam proses biogas untuk melihat efek pelekatan bakteri terhadap permukaan TKS yang dipratritmen maupun tanpa praitritmen. Observasi ini diharapkan agar dapat dilihat jumlah bakteri yang melekat dan jenis pelekatan yang terjadi.



Gambar 5. Pelekatan bakteri pada proses biogas yang dipermudah dengan adanya praitritmen

Gambar 4 di atas menunjukkan adanya pelekatan bakteri pada biomassa dalam proses biogas. Seperti yang diketahui bahwa proses hidrolisis sebagai tahapan paling awal dari proses konversi biogas sangat bergantung pada bagaimana melekatnya bakteri ke permukaan biomassa termasuk TKS. Biomassa dengan karakteristik rekalsitransi yang mengandung lignin sebagai barrier akan menghalangi proses pelekatan bakteri untuk melakukan proses pembentukan biogas.

Gambar 4 juga menunjukkan secara jelas konsep protuberansi dari pelekatan bakteri terhadap permukaan biomas. Konsep protuberansi *cellulosome* ini yang diduga kuat menjadi faktor penentu dalam proses biokonversi biomassa terutama untuk proses produksi biofuel misalnya bioethanol dan biogas. Makin baik proses protuberansi maka semakin mudah terdegradasi biomassa dan akan makin banyak hasil konversinya.

Dari hasil yang ada dapat dikatakan bahwa praitritmen dengan kondisi tidak ekstrim (*low severe condition*) dengan menggunakan prosedur konvensional (melalui proses penyaringan, pembasuhan, dan pengeringan) tidak mampu memberikan efek peningkatan CH_4 . Namun, ketika prosedur konvensional tidak dilakukan, tetapi mengikutkan reagen pretreatment ke dalam fraksi cair untuk proses anaerob produksi biogas, terjadi peningkatan CH_4 selama zat reagen tidak menghambat proses biologis.

Adanya peningkatan CH_4 untuk praitritmen TKS menggunakan NH_4OH yang direndam selama 3 hari kemungkinan besar disebabkan adanya penambahan waktu kontak antara

NH_4OH dengan biomassa di dalam reaktor biogas. Sehingga proses praitritmen secara kontinu dan simultan berlangsung bersama proses biologis anaerob yang dilakukan oleh bakteri. Selain itu, keberadaan NH_4OH akan menjaga kondisi alkalinitas proses biogas yang menyebabkan lancarnya proses asidifikasi yang menjadi prekursor CH_4 . Juga, keberadaan nitrogen dalam NH_4OH juga akan memberikan pengaruh positif untuk kinerja bakteri.

Namun yang perlu diperhatikan adalah adanya batasan maksimum NH_4OH yang bisa disertakan dalam fraksi cair proses biogas karena terlalu banyaknya bentuk NH_3 bebas justru akan menghambat proses biogas yang dalam hal ini terjadi pada penambahan 6% b/b NH_4OH .

Dengan menggunakan praitritmen kimia amonium hidroksida, dengan metode perendaman sebelum proses biogas, dengan kondisi tertentu, proses produksi CH_4 dari TKS dapat ditingkatkan. Output utama dalam proses AD yang dapat digunakan untuk menentukan parameter terbaik dari praitritmen efektif adalah berapa banyak produksi CH_4 meningkat dibandingkan dengan biomassa yang tidak diberikan praitritmen. Namun, kendala pencarian proses parameter dalam proses biogas membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menghasilkan konversi yang tinggi. Bisa saja eksperimen dirancang untuk mencoba setiap kondisi dan kombinasi parameter (konsentrasi dan lama praitritmen) dan kemudian mengevaluasi produksi CH_4 , namun hal ini akan memakan waktu yang lama. Sehingga hipotesis yang tepat mengenai kombinasi parameter praitritmen paling optimal untuk diuji coba akan

sangat diperlukan. Selain itu, perlu juga diketahui mekanisme sejati bagaimana pengaruh praitritmen terhadap peningkatan proses biokonversi pada sisi makromolekular maupun mikromolekular sehingga pengetahuan komprehensif dan penerapan kondisi operasi optimal untuk pretreatment yang bisa meningkatkan hasil biokonversi akan bisa dicapai. Tentu saja untuk mencapai ini diperlukan penelitian lebih lanjut. Selain itu, probabilitas kemungkinan mengapa dalam penelitian ini hasil CH₄ lebih baik diperoleh dengan penambahan 4% b/b NH₄OH daripada 6% seperti yang disampaikan sebelumnya perlu dieksplorasi lebih dalam.

Peningkatan 33.8% CH₄ dari proses praitritmen TKS dibandingkan dengan TKS yang tidak diproses memberikan harapan bahwa pencampuran NH₄OH konsentrasi rendah memiliki potensi penerapan yang bisa dilakukan di kawasan industri dan perkebunan kelapa sawit di Indonesia, apalagi dengan status Indonesia sebagai penyandang gelar produsen kelapa sawit terbesar di dunia.

4 KESIMPULAN

Teknologi praitritmen biomasa TKS diharapkan mampu memberikan perubahan fisika, kimia, dan karakteristik biomassa yang dapat meningkatkan degradabilitasnya untuk dikonversi menjadi sumber energi terbarukan dan mengurangi dampak pemanasan global. Namun, kendala proses yang mahal menghambat implementasi proses ini dalam skala besar untuk bisa terwujud. Oleh karena itu, diperlukan adanya sistem teknologi praitritmen yang murah dan aplikatif.

Penggunaan NH₄OH konsentrasi rendah mengindikasikan adanya peningkatan konversi TKS menjadi biogas pada aplikasi parameter kondisi yang tepat. Dari penelitian dihasilkan bahwa perendaman TKS oleh 4% b/b NH₄OH selama 3 hari dapat meningkatkan produksi CH₄ hingga 33.8% dibandingkan dengan TKS yang tidak dilakukan praitritmen. Namun penambahan 6% b/b NH₄OH selama 3 hari justru menghambat proses produksi biogas.

Penelitian ini juga menghasilkan kesimpulan bahwa penerapan senyawa basa konsentrasi rendah seperti NH₄OH untuk peningkatan CH₄ tidak perlu diikuti dengan metode konvensional antara praitritmen-biogas yaitu penyaringan, pembasuhan, dan pengeringan. Hal ini akan justru menambah nilai tambah proses dan mengurangi biaya operasional implementasi. Selain itu keberadaan NH₄OH dinilai lebih memberikan keuntungan selama berada pada batas minimal toleransi bakteri terhadap NH₄OH.

Walaupun demikian, penelitian ini masih membutuhkan kerja riset lebih lanjut untuk pembuktian hipotesis teori mekanisme yang ada.

Menemukan parameter proses praitritmen yang tepat untuk memberikan hasil CH₄ tertinggi dapat digunakan sebagai usaha dalam melakukan mitigasi perubahan iklim yang menjanjikan di bidang pertanian dan industri seperti industri kelapa sawit, terutama dalam produksi kelapa sawit di Indonesia yang terus meningkat.

PERSANTUNAN

Kepada IIE-AMINEF yang telah memberikan kesempatan beasiswa master di USA sehingga saya dapat melakukan beberapa proyek penelitian di Washington State University. Utamanya kepada Prof. Shulin Chen, Allan Gao, dan Yu Liang atas bimbingan yang diberikan selama melakukan penelitian di sana. Saya sampaikan terima kasih juga atas izin tugas belajar yang diberikan Direktur PTL-BPPT dan bimbingan dari Kepala Bagian Program Anggaran PTL-BPPT Pak Muhammad Hanif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Geng, A., (2013), Conversion of oil palm empty fruit bunch to biofuels: INTECH Open Access Publisher.
2. Hamzah, F., Idris, A., & Shuan, T. K., (2011), Preliminary study on enzymatic hydrolysis of treated oil palm (*Elaeis*) empty fruit bunches fibre (TKS) by using combination of cellulase and β 1-4 glucosidase. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1055-1059.
3. Hu, F., & Ragauskas, A., (2012), Pretreatment and lignocellulosic chemistry. *BioEnergy Research*, 5(4), 1043-1066.
4. Ishola, M. M., Millati, R., Syamsiah, S., Cahyanto, M. N., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J., (2012), Structural changes of oil palm empty fruit bunch (OPTKS) after fungal and phosphoric acid pretreatment. *Molecules*, 17(12), 14995-15012.
5. Jacobsen, S. E., & Wyman, C. E., (2000), Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes. Paper presented at the Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals.
6. Kelly-Yong, T. L., Lee, K. T., Mohamed, A. R., & Bhatia, S., (2007), Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source

of renewable energy worldwide. *Energy Policy*, 35(11), 5692-5701.

7. Mat Salleh, N. F. D., Halim, K., Hamid, K., & Hussain, N. H., (2013), Removal of silica bodies on oil palm empty fruit bunch surfaces and application for biogas production. Paper presented at the Advanced Materials Research.
8. Nieves, D. C., Karimi, K., & Horváth, I. S., (2011), Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPTKS). *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1097-1101.
9. Obidzinski, K., (2013, Monday, 8 Jul 2013), FACT FILE – Indonesia world leader in palm oil production. Retrieved from <http://blog.cifor.org/17798/fact-file-indonesia-world-leader-in-palm-oil-production?fnl=en>
10. Tahar, A., (2013), Electricity from Biomass: Indonesia's Potential in the Palm Oil Sector and How to Tap it?
11. Parlina, Iin., (2016), "Pretreatment Method Using a Mixture of Ammonium Carbonate and Ammonium Hydroxide to Enhance the CH₄ Generation of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OP-TKS), (Magister Sains Master Thesis), WSU.