

Biosolubilisasi Lignit Mentah Hasil Iradiasi Gamma dan oleh *Trichoderma asperellum*

Biosolubilization of Raw and Gamma Irradiated Lignite by Trichoderma asperellum

Irawan Sugoro^{1,2}, Dea Indriani Astuti¹, Dwiwahju Sasongko³ dan
Pingkan Aditiawati¹

¹ Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati - ITB

² Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

³ Dept. Teknik Kimia - Fakultas Teknologi Industri ITB

irawans@batan.go.id

Diterima 15 November 2011; Disetujui 23 Maret 2012

ABSTRAK

Biosolubilisasi Lignit Mentah Iradiasi Gamma dan oleh *Trichoderma asperellum*.

Biosolubilisasi batubara adalah proses mengubah padatan batubara menjadi bahan bakar cair dengan bantuan mikroorganisme. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan biosolubilisasi batubara lignit hasil iradiasi gamma (10 kGy) dengan lignit mentah oleh kapang terseleksi *Trichoderma asperellum*. Perlakuan terdiri dari A (MSS + lignit iradiasi gamma 5% + *T. asperellum*) dan B (MSS + lignit mentah 5% + *T. asperellum*) dengan kultur *sub-merged*. Parameter yang diukur adalah pH medium, kolonisasi, analisis logam dengan Analisis Aktivasi Neutron (AAN) dan produk biosolubilisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis $\lambda_{250\text{nm}}$ and $\lambda_{450\text{nm}}$. Sampel yang memiliki tingkat biosolubilisasi tertinggi akan dianalisis lanjut dengan FTIR dan GCMS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat biosolubilisasi kapang *T. asperellum* pada lignit mentah (B) lebih tinggi dibandingkan dengan lignit iradiasi gamma (A) berdasarkan karakteristik produk biosolubilisasi batubara lignit yang meliputi analisis senyawa fenolik dan aromatik terkonjugasi. Analisis logam menunjukkan terjadinya pengurangan kandungan logam batubara saat proses biosolubilisasi. Analisis produk biosolubilisasi dengan FTIR memperlihatkan kemiripan spektra pada kedua perlakuan. Analisis GCMS menunjukkan kisaran jumlah rantai karbon yang terdeteksi pada produk biosolubilisasi untuk perlakuan A dan B adalah $C_6 - C_{35}$ dan $C_{10} - C_{35}$ yang didominasi oleh senyawa asam aromatik, alifatik dan fenil ester. Produk biosolubilisasi pada kedua perlakuan dapat digunakan sebagai pengganti minyak bumi dan direkomendasikan untuk dilakukan deoksigenasi sehingga kualitas bahan bakar dapat ditingkatkan.

Kata Kunci : Biosolubilisasi, lignit, iradiasi gamma, *Trichoderma asperellum*

ABSTRACT

Biosolubilization of Raw and Gamma Irradiated Lignite by *Trichoderma*

***asperellum*.** Biosolubilization is a promising technology for converting solid coal to liquid oil by addition of microorganism. Aim of this research is to compare between gamma irradiated lignite (10 kGy) with raw lignite in biosolubilization by selected fungi *Trichoderma asperellum*. Treatments were A (MSS + gamma irradiated lignite 5% + *T. asperellum*) and B (MSS + raw lignite 5% + *T. asperellum*) with sub-merged culture. There were two parameters observed i.e. biosolubilization product based on absorbance value at $\lambda_{250\text{nm}}$ and $\lambda_{450\text{nm}}$ and metal analysis by neutron activation analysis (NAA). The highest biosolubilization will be analyzed by FTIR and GCMS. The results showed that biosolubilization of raw lignite (B) was higher than sterilized lignite (A) based on absorbance value at $\lambda_{250\text{nm}}$ and $\lambda_{450\text{nm}}$. The metal of lignite was decreased after incubation. FTIR analysis showed that both of treatment had similar spectra on biosolubilization products. GCMS analysis showed that both of treatment had different number of hydrocarbon, i.e. $C_6 - C_{35}$ (A) and $C_{10} - C_{35}$ (B) and dominated by aromatic acids,

aliphatic and phenylethers. Both of treatment product had the potency as oil substituted but its recommended to deoxygenate for higher quality.

Keyword: Lignite, biosolubilization, gamma irradiation, *Trichoderma asperellum*

PENDAHULUAN

Biosolubilisasi batubara adalah proses mengubah padatan batubara menjadi fase cair dengan bantuan mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur [1]. Biosolubilisasi memiliki beberapa kelebihan, yaitu produk yang dihasilkan tidak menghasilkan SO_x dan NO_x selama proses pembakaran. Dibandingkan dengan pencairan batubara secara termal, biosolubilisasi tidak memerlukan suhu dan tekanan tinggi [2]. Jenis batubara yang banyak digunakan adalah kualitas rendah atau lignit.

Sejumlah strain jamur dan bakteri *filamentous* diketahui mampu berinteraksi dengan batubara kualitas rendah dengan proses ekstraselular [1]. Produk yang dihasilkan berupa senyawa yang setara dengan minyak bumi, tetapi masih dalam jumlah yang sangat kecil. Biosolubilisasi batubara sangat ditentukan oleh agen biologi, jenis batubara dan kondisi lingkungan. Struktur dan kompleksitas batubara yang berbeda di setiap daerah mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pengsolubilisasi, sedangkan mikroorganisme berperan sebagai katalis atau penghasil enzim pengsolubilisasi [3].

Selain itu, permukaan batubara yang bersifat hidrofobik menjadi kendala terjadinya kontak enzim dengan batubara. Sifat hidrofobik dapat dikurangi dengan perlakuan pendahuluan batubara secara kimia seperti penambahan asam nitrat dan peroksida. Perlakuan ini menyebabkan perubahan gugus fungsi batubara sehingga lebih hidrofilik dan meningkatkan *site adsorpsi* enzim [4]. Selain itu pra perlakuan dapat dilakukan secara fisika dengan memanfaatkan iradiasi gamma. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa biosolubilisasi batubara dapat ditingkatkan dengan iradiasi gamma. Kapang dapat

tumbuh dengan baik dalam medium yang mengandung batubara hasil iradiasi dan pH medium menjadi lebih asam. Produk yang dihasilkan berpotensi sebagai bahan bakar. Jenis batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah subbituminus dan kapang *Trichoderma* sp. hasil isolasi dari batubara [5].

Dalam penelitian ini akan dilakukan biosolubilisasi dengan menggunakan batubara lignit mentah dan hasil sterilisasi iradiasi gamma. Kapang yang digunakan adalah *Trichoderma asperellum* hasil isolasi dari tanah pertambangan batubara dan telah terseleksi sebagai agen biosolubilisasi batubara lignit [6]. Sterilisasi batubara akan dilakukan dengan iradiasi gamma pada dosis 10 kGy [5]. Pemanfaatan lignit mentah dimaksudkan untuk mengetahui apakah terjadi interaksi kapang terseleksi dengan mikroorganisme indigenus batubara seperti bakteri, khamir atau kapang lainnya. Senyawa penyusun batubara yang bersifat kompleks dan heterogen diharapkan akan mudah disolubilisasi dengan adanya interaksi tersebut.

METODE KERJA

Alat dan bahan

Alat-alat utama yang digunakan adalah kromatografi gas - spektrometer massa (GCMS) Shimadzu QP 2010, spektrofotometer UV-Vis Spectronic Genesys 2 dan spektrometer Fourier Transform Infra Red (FTIR). Bahan-bahan yang digunakan adalah batubara jenis lignit dengan ukuran ≤ 100 mesh yang berasal dari Sumatera Selatan, Minimal Salt Solution (MSS/ 1 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,52 g $\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 g KH_2PO_4 , 0,005 g FeSO_4 , 0,003 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 0,003 g MnCl_2 serta ekstrak ragi 0,1 g dan sukrosa 1 g lalu ditambah akuades hingga volumenya

mencapai 1000 ml), *Potato Dextrose Agar* (PDA), benzena, heksana, dietil eter, serbuk KBr kering dan isolat kapang *Trichoderma asperellum* koleksi Laboratorium Mikrobiologi Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati - Institut Teknologi Bandung.

Persiapan serbuk batubara

Batubara diambil dari pertambangan secara aseptik. Batubara digerus dengan mortar secara aseptik pula di dalam LAF dan disaring menggunakan penyaring ukuran 100 mesh dan diayak. Sampel batubara yang berhasil tersaring ditimbang 25 g dan ditempatkan dalam plastik polietilen. Sebagian disterilisasi dengan iradiasi gamma 10 kGy. Sampel kemudian disimpan di kulkas pada suhu 4°C hingga digunakan.

Biosolubilisasi batubara

Perlakuan terdiri dari A (MSS + lignit iradiasi gamma + *T. asperellum*) dan B (MSS + lignit mentah + *T. asperellum*). Sebanyak 10% v/v (10^6 sel/ml) spora diinokulasikan ke dalam medium perlakuan dan diinkubasi pada suhu ruang dan agitasi 120 rpm. Pencuplikan sampel dilakukan pada hari ke-0, 3, 7, 14, 21 dan 28. Parameter yang diukur adalah kolonisasi, pH medium, analisis kandungan logam dengan metode NAA, dan analisis produk biosolubilisasi dengan spektrofotometer pada $\lambda 250\text{nm}$ dan $\lambda 450\text{nm}$, FTIR dan GCMS.

Analisis logam dengan Analisis Aktivasi Neutron (AAN)

Sampel batubara dan baku dikemas dalam kantong polietilen dan diaktivasi dengan neutron yang mempunyai fluks 10^{13} n $\text{cm}^{-2}\text{det}^{-1}$ di reaktor G.A.Siwabessy dan analisis data di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN, Serpong. Setelah diaktivasi, dilakukan proses pendinginan. Hal ini bertujuan untuk memberi kesempatan agar nuklida yang mempunyai waktu paro pendek dapat meluruh. Pencacahan dilakukan dengan perangkat spektrometer gamma. Pencacahan bertujuan untuk mengetahui jenis dan jumlah logam mineral yang terkandung dalam sampel

berdasarkan energi atau puncak yang dihasilkannya.

Pengukuran Biosolubilisasi Batubara dengan Spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran biosolubilisasi dilakukan dengan melakukan analisis senyawa fenolik dan aromatik terkonjugasi. Produk biosolubilisasi (supernatan) yang diperoleh selama waktu sampling dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 250 dan 450 nm [7].

Analisis Gugus Fungsi Hasil Biosolubilisasi Batubara dengan Spektrometer FTIR

Analisis Spektrometer FTIR ini dapat digunakan untuk karakterisasi produk biosolubilisasi batubara. Produk biosolubilisasi batubara dianalisis dengan FTIR pada kisaran frekuensi $4000\text{-}450\text{ cm}^{-1}$. Produk biosolubilisasi (supernatan) yang akan diuji ditentukan dari nilai biosolubilisasi tertinggi. Produk (supernatan) yang diperoleh dihilangkan airnya menggunakan alkohol 70% dengan perbandingan 3:1. Kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 55°C hingga cairan menguap dan tersisa residu produk. Residu produk yang akan diuji dicampurkan dengan serbuk KBr kering hingga menyatu menggunakan lumpang dan serbuk campuran produk dimasukkan ke dalam *disk holder*. Kemudian direkam dengan alat spektrometer FTIR. Kontrol yang digunakan ekstrak produk batubara mentah dan batubara steril pada hari ke-0.

Analisis Hasil Biosolubilisasi Batubara dengan Spektrometer GCMS

Supernatan dan pelarut dicampur dengan perbandingan 1:1. Pelarut yang digunakan adalah benzena : heksana : dietil eter dengan perbandingan 3:1:1. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu divortex dan didiamkan sampai terbentuk fase atas dan bawah. Fase atas dipakai untuk mengidentifikasi jenis senyawa dan menentukan kadar hasil

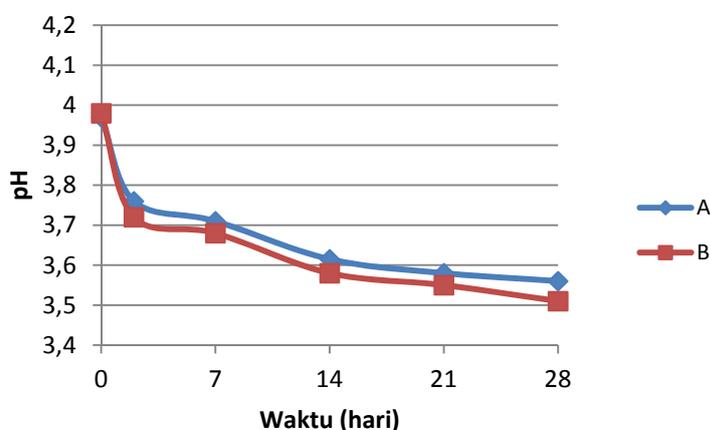
solubilisasi batubara dengan menggunakan GCMS [8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan pH Media

Media kultur perlakuan yang diuji dalam proses biosolubilisasi menunjukkan terjadinya perubahan pH selama inkubasi hingga hari ke-28 (Gambar 1). Pengaruh perlakuan terhadap nilai pH disebabkan adanya kombinasi agen pengsolubilisasi pada masing-masing perlakuan. Adanya kombinasi penambahan spora kapang *Trichoderma asperellum* dan mikroorganisme indigenus menciptakan kondisi yang lebih asam dibuktikan oleh nilai pH media perlakuan B (MSS + batubara mentah 5% + *Trichoderma* sp.) yang menunjukkan nilai pH yang paling rendah. Penurunan pH

asperellum dan terdeteksinya bakteri pada medium perlakuan B (Gambar 2). Penurunan pH dapat disebabkan oleh pembentukan asam-asam organik berupa asam karboksilat, asam fulvat yang merupakan senyawa humat yang terdapat dalam batubara [9]. Batubara yang mengandung senyawa sulfur [10] diduga mengalami desulfurisasi yaitu pelarutan sulfur ke dalam media cair dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}) menyebabkan terbentuknya asam sulfat sehingga menciptakan kondisi media asam [11]. Keasaman media juga disebabkan dalam proses biosolubilisasi batubara terbentuk produk berupa fenol, aldehida dan gugus keton [12]. Fenol merupakan senyawa yang mengandung gugus benzena dan hidroksi, bersifat asam dan mudah dioksidasi lebih lanjut menjadi asam karboksilat. Keton juga bersifat asam karena terbentuk dari oksidasi alkohol



Gambar 1. Nilai pH pada media perlakuan A dan B yang diinkubasi pada suhu ruang dan agitasi 120 rpm.

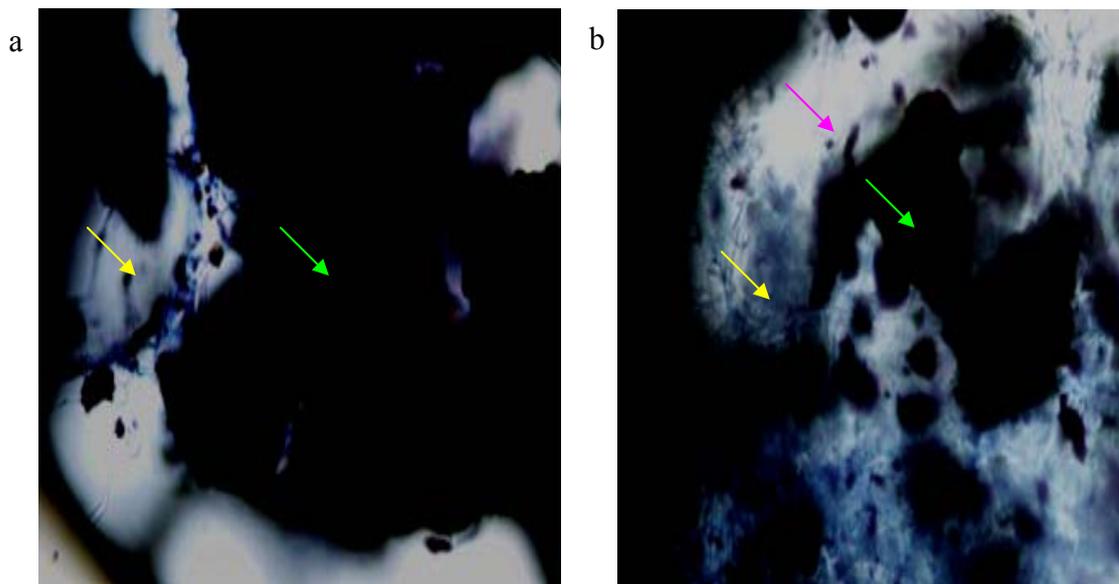
mengindikasikan terjadinya proses biosolubilisasi [2].

Penurunan pH dalam media kultur menunjukkan telah terjadinya aktivitas metabolisme dilakukan baik oleh mikroorganisme indigenus maupun oleh kapang *T. asperellum* bahkan kolaborasi di antara keduanya. Hal tersebut terbukti dengan adanya pertumbuhan kapang *T.*

sekunder. Keberadaan senyawa asam organik terkait erat dengan aktivitas degradasi kapang yang melibatkan enzim di antaranya lignin peroksidase, fenol oksidase, dan mangan peroksidase [5].

Analisis kandungan logam dengan NAA

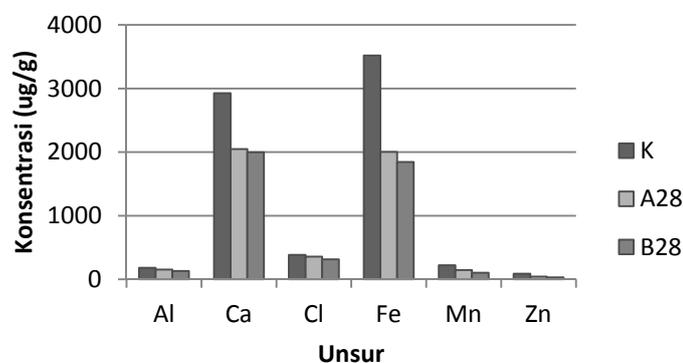
Salah satu indikator utama terjadinya biosolubilisasi adalah berkurangnya



Gambar 2. Kolonisasi kapang *T. asperellum* pada batubara perlakuan A dan B setelah 21 hari inkubasi (↘ : batubara; ↘ : miselia; ↘ : bakteri).

kandungan logam dalam batubara. Analisis NAA memperlihatkan bahwa biosolubilisasi menyebabkan terjadinya pengurangan logam Al, Ca, Cl, Fe, Mn dan Zn setelah 21 hari inkubasi pada kedua perlakuan (Gambar 3). Beberapa makromolekul batubara berikatan ionik atau kovalen dengan logam yang menyebabkan batubara sulit untuk bereaksi dengan enzim yang berperan dalam proses biosolubilisasi. Logam-logam tersebut dapat terlepas akibat dihasilkannya chelat oleh kapang *T. asperellum*. yang terlihat pada perlakuan A yang mengalami pengurangan

kandungan logam pada batubara hasil biosolubilisasi. Demikian pula halnya dengan perlakuan B yang pengurangan kandungan logamnya lebih tinggi dibandingkan perlakuan A karena adanya chelat dihasilkan pula oleh mikroorganisme indigenus (Gambar 2). Ketika ion-ion logam mengalami *chelating*, maka akan terjadi pecahnya ikatan ionik dan makromolekul cenderung menjadi lebih polar dan larut dalam media air. Senyawa-senyawa yang berperan sebagai *chelator* adalah asam oksalat, asam salisilat dan EDTA. *Chelator*



Gambar 3. Kandungan logam pada batubara perlakuan A dan B setelah 28 hari inkubasi.

yang dihasilkan oleh mikroorganisme biasanya dalam konsentrasi yang sedikit [7,13].

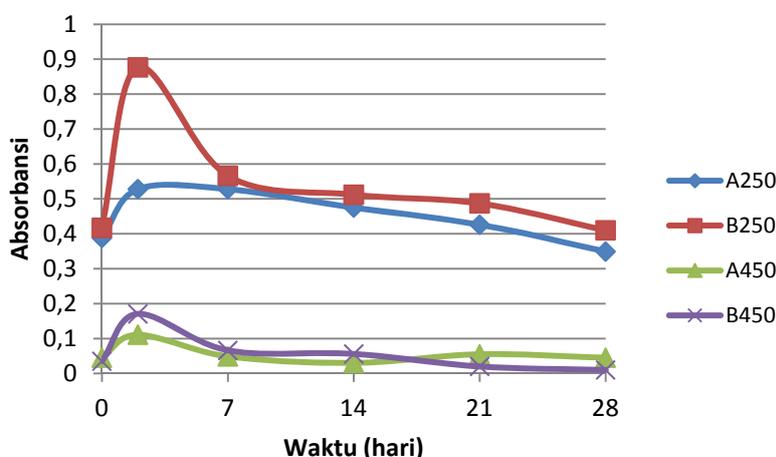
Analisis produk biosolubilisasi dengan spektrofotometer

Batubara tersusun dari senyawa lignin yang mengandung senyawa fenolik dan aromatik terkonjugasi [7]. Aktivitas biosolubilisasi oleh mikroorganisme indigenus maupun kapang *T. asperellum* mengakibatkan terlarutnya batubara bercampur dengan medium dan menyebabkan terlepasnya senyawa yang mengandung gugus fenolik maupun aromatik. Batubara yang terlarut mengakibatkan perubahan warna pada medium sehingga pengukuran tingkat biosolubilisasi dilakukan berdasarkan gugus kromofor yang terbentuk. Tingkat biosolubilisasi ditentukan dengan mengukur gugus kromofor dengan absorbansi pada $\lambda_{250\text{nm}}$ dan $\lambda_{450\text{nm}}$ menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran pada $\lambda_{250\text{nm}}$ digunakan untuk mengukur adanya senyawa fenolik sedangkan $\lambda_{450\text{nm}}$ untuk mengukur adanya senyawa aromatik terkonjugasi [7].

Pengukuran hasil biosolubilisasi terhadap senyawa fenolik dengan $\lambda_{250\text{nm}}$ menunjukkan bahwa perlakuan A dan B

memiliki nilai absorbansi tertinggi pada hari kedua inkubasi, yaitu secara berturut-turut 0,528 dan 0,876 (Gambar 4). Meningkatnya nilai absorbansi diduga telah terjadinya proses biosolubilisasi batubara lignit padat yang diurai menjadi batubara terlarut. Batubara terlarut mengandung senyawa fenol yang merupakan hasil penguraian senyawa lignin penyusun terbesar batubara. Senyawa lignin diuraikan oleh adanya aktivitas enzim lignin peroksidase yang mampu mengoksidasi unit non fenolik lignin [11]. Keberadaan senyawa fenol didukung pula dengan kondisi pH yang menurun pada hari inkubasi ke-2 (Gambar 8). Senyawa fenol merupakan senyawa yang mengandung gugus benzen dan hidroksi yang bersifat asam dan mudah dioksidasi. Nilai absorbansi berangsur-angsur menurun pada hari inkubasi selanjutnya meskipun ada pula sedikit kenaikan nilai absorbansi. Perubahan tersebut disebabkan proses biosolubilisasi terus berlangsung. Diduga aktivitas mikroorganisme tersebut menghasilkan enzim lakase yang mampu mendegradasi unit fenolik [15, 16].

Pengukuran absorbansi pada senyawa aromatik terkonjugasi pada $\lambda_{450\text{nm}}$ juga menunjukkan nilai tertinggi pada hari kedua inkubasi untuk perlakuan A dan B, yaitu 0,111 dan 0,171. Nilai absorbansi yang tinggi



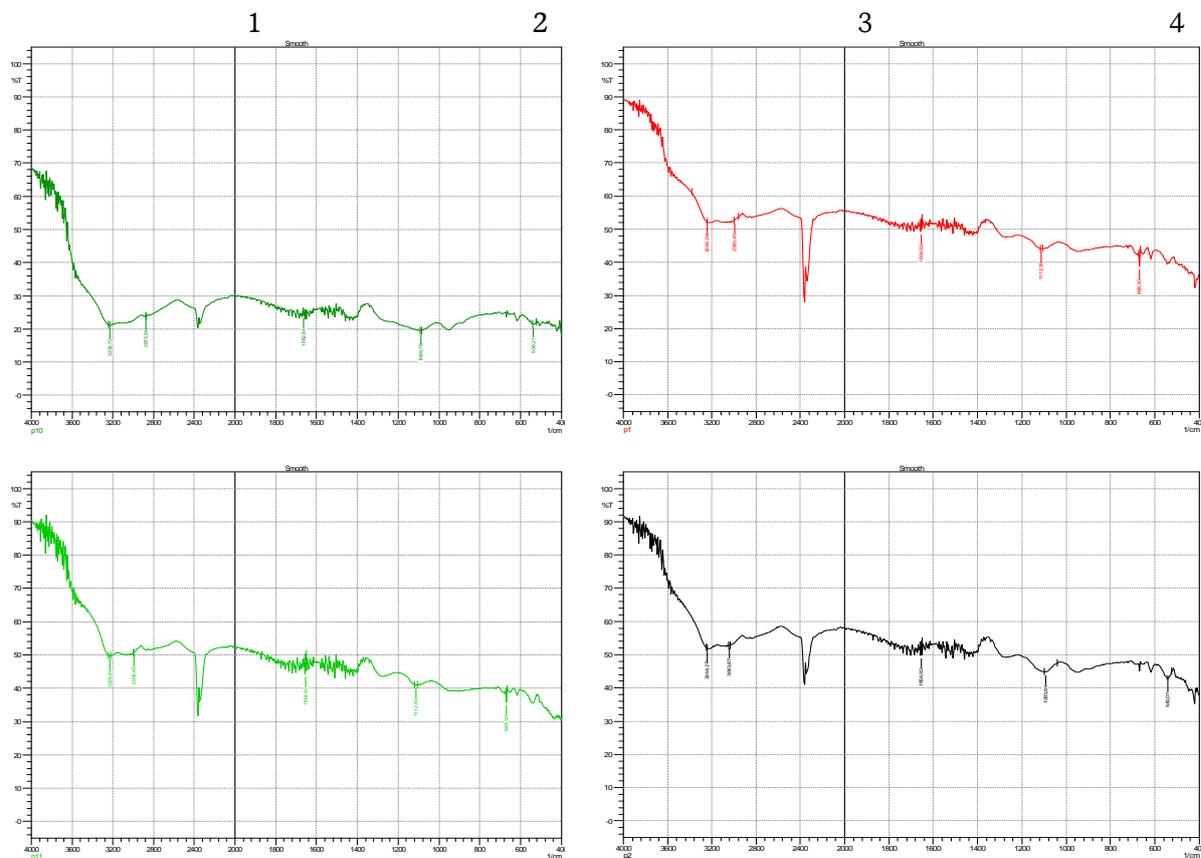
Gambar 4. Nilai absorbansi supernatan kultur perlakuan A dan B yang diinkubasi pada suhu ruang dan agitasi 120 rpm.

diduga disebabkan dilepaskannya senyawa-senyawa yang memiliki gugus aromatik terkonjugasi seperti asam humat yang terdapat pada permukaan batubara akibat aktivitas kapang *T. asperellum*. atau hasil interaksinya dengan mikroorganisme indigenus yang ada pada batubara mentah. Nilai absorbansi pada hari inkubasi selanjutnya, hampir semua media perlakuan menunjukkan penurunan dan fluktuasi kenaikan hanya sedikit terjadi terutama pada hari inkubasi ke-21 untuk media perlakuan B. Pendegradasian senyawa aromatik berupa naftasena penyusun utama senyawa humat didegradasi menjadi senyawa naftalena [14]. Secara kualitatif terdapat perbedaan kekeruhan supernatan selama masa inkubasi. Supernatan umumnya berwarna kuning bening hingga berwarna coklat. Perbedaan warna ini menunjukkan telah adanya batubara yang

terlarut kemudian bercampur dengan media dan mengubah warna media menjadi lebih gelap [12].

Analisa produk biosolubilisasi dengan spektrometer FTIR

Identifikasi gugus fungsi produk biosolubilisasi dilakukan dengan menggunakan FTIR pada masing-masing perlakuan. Sampel yang digunakan merupakan produk biosolubilisasi tertinggi berdasarkan nilai absorbansi $\lambda_{450\text{nm}}$ dari masing-masing perlakuan, yaitu hari ke-2 (Gambar 4) batubara dan kontrol (lignit mentah dan steril). Hasil spektrum inframerah dari produk biosolubilisasi pada media perlakuan disajikan pada Gambar 5. Gugus fungsi utama yang terdeteksi pada produk biosolubilisasi terdiri dari hidroksil fenol O-H ($3200\text{-}3550\text{ cm}^{-1}$), karboksil COOH ($3300\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$), karbonil C=O (1600 cm^{-1}),

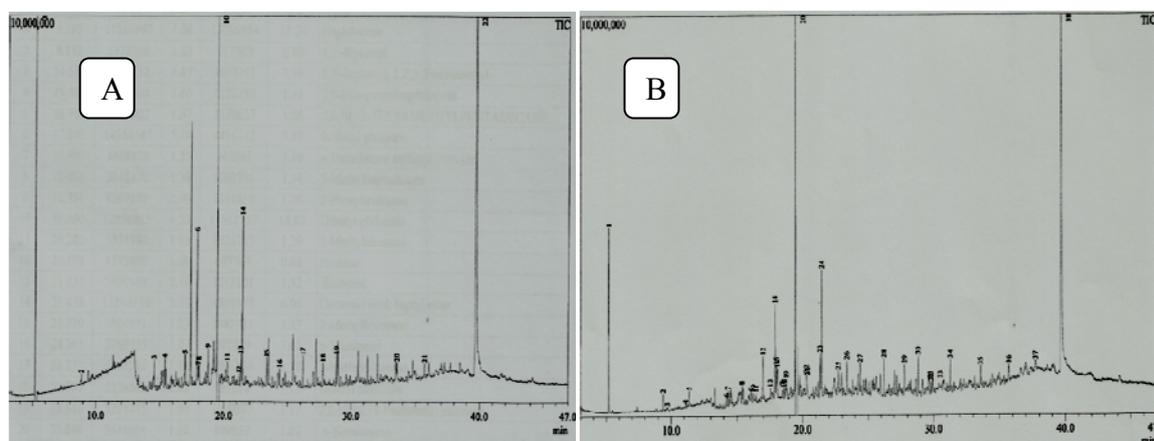


Gambar 5. Hasil FTIR produk biosolubilisasi (1) Batubara iradiasi gamma, (2) perlakuan A, (3) lignit mentah dan (4) perlakuan B pada hari ke-2 inkubasi.

ikatan eter C-O-C ($1000-1300\text{ cm}^{-1}$) dan ikatan gugus samping aromatik ($1000-500\text{ cm}^{-1}$). Dibandingkan dengan kontrol, produk biosolubilisasi perlakuan mengalami penurunan ketajaman puncak yang mengindikasikan semakin tingginya konsentrasi gugus-gugus fungsi tersebut. Penurunan yang sangat tajam terjadi pada perlakuan batubara mentah (B).

Peningkatan gugus karboksil (COOH) mengindikasikan produk banyak mengandung cincin samping dan oksigen. Hal tersebut disebabkan pada proses

Sampel yang digunakan adalah supernatan media perlakuan hari ke-2 yang menunjukkan nilai tertinggi pada analisis senyawa fenolik dan aromatik terkonjugasi di masing-masing perlakuan (Gambar 5). Pola kromatogram dari perlakuan A dan B menunjukkan pola yang berbeda (Gambar 6). Senyawa yang terdeteksi pada perlakuan adalah 22 dan 33 senyawa. Perbedaan ini akibat adanya pengaruh perlakuan dimana mikroorganisme indigenus batubara yang turut berperan dalam menghasilkan produk biosolubilisasi pada perlakuan B.



Gambar 6. Kromatogram produk biosolubilisasi perlakuan A dan B.

biosolubilisasi melibatkan enzim yang bersifat oksidatif seperti peroksidase. SUGORO dkk. [6], menyatakan bahwa *T. asperellum* yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan enzim lignin peroksidase (LiP) dan mangan peroksidase (MnP). Perlakuan B menunjukkan penurunan persen transmitan yang cukup besar dibandingkan dengan perlakuan A. Diduga agen pengsolubilisasi yang beragam ditambah dengan keberadaan kapang *Trichoderma* sp. mengakibatkan batubara lignit tersolubilisasi secara maksimal.

Analisis produk biosolubilisasi dengan GCMS

Identifikasi senyawa yang dihasilkan dari proses biosolubilisasi menggunakan GCMS dinyatakan dalam persen area.

Kisaran jumlah rantai karbon yang terdeteksi adalah $C_6 - C_{35}$ dan $C_{10} - C_{35}$. Senyawa yang terdeteksi dengan konsentrasi tertinggi untuk perlakuan A dan B adalah 2,6-di-tert-butyl-4-[(2-octadecyloxycarbonyl)ethyl]-fenol ($C_{35}H_{62}O_3$), yaitu 50,93 dan 55,33% area. Senyawa yang terdeteksi ini merupakan produk biosolubilisasi yang memiliki rantai karbon terpanjang. Senyawa dengan rantai karbon terpendek untuk perlakuan A adalah naftalen ($C_{10}H_8$) sebesar 4,06 % area dan untuk perlakuan B adalah 1-sikloheksileikosan (C_6H_{11}) sebesar 0,60% area.

Produk yang dihasilkan memiliki berat molekul rendah dan struktur sederhana dibandingkan dengan batubara (C_{661}) [17]. Jenis senyawa yang mendominasi produk

biosolubilisasi adalah asam aromatik, alifatik dan fenil ester. Penelitian yang dilakukan oleh YIN dkk. [12] menghasilkan produk biosolubilisasi dengan rantai karbon yang lebih sedikit, yaitu ($C_5 - C_{24}$). Akan tetapi senyawa yang mendominasi adalah sama, yaitu asam aromatik, alifatik, dan fenilester. Kemungkinan penyebabnya adalah jenis mikroorganisme dan batubara yang berbeda. Produk biosolubilisasi yang dihasilkan oleh kedua perlakuan dapat digunakan sebagai pengganti minyak bumi. Akan tetapi masih adanya produk yang mengandung oksigen, maka perlu dilakukan deoksigenasi sehingga kualitas bahan bakar dapat ditingkatkan. Adanya oksigen pada produk biosolubilisasi menyebabkan nilai kalor menjadi rendah.

KESIMPULAN

Tingkat biosolubilisasi kapang *T. asperellum* pada lignit mentah (B) lebih tinggi dibandingkan dengan lignit iradiasi gamma (A) berdasarkan karakteristik produk biosolubilisasi batubara lignit yang meliputi analisis senyawa fenolik dan aromatik terkonjugasi. Analisis logam menunjukkan terjadinya pengurangan kandungan logam batubara saat proses biosolubilisasi. Analisis produk biosolubilisasi dengan FTIR memperlihatkan kemiripan spektra pada kedua perlakuan. Analisis GCMS menunjukkan kisaran jumlah rantai karbon yang terdeteksi pada produk biosolubilisasi untuk perlakuan A dan B adalah $C_6 - C_{35}$ dan $C_{10} - C_{35}$ yang didominasi oleh senyawa asam aromatik, alifatik dan fenil ester. Produk biosolubilisasi pada kedua perlakuan dapat digunakan sebagai pengganti minyak bumi dan direkomendasikan untuk dilakukan deoksigenasi sehingga kualitas bahan bakar dapat ditingkatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada DIKTI melalui program Hibah

Stranas 2010 yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. FAISON, B. D., C. D. SCOTT, and D N. H. DAVISON. Biosolubilization of coal in aqueous and non-aqueous media. *Journal of American Chemical Society* 85: 196 (1989).
2. FAKOUSSA RM, and P.J. FROST. In Vivo Decolorization of Coal-derived Humic Acid by Lakase-excreting Fungus *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol Biotechnol*, (52): 60-65 (1999).
3. WISE, D.L. *Bioprocessing dan Biotreatment of Coal*. Marcel Dekker Inc., New York (1990)
4. FAKOUSSA, R.M. and HOFRICHTER, M., *Biotechnology and microbiology of coal degradation*. *Appl. Microbiol and Biotechnol*, (52): 25-40 (1999).
5. ADITIAWATI, P., SUGORO, I., INDRIANI, I. dan SASONGKO, D. Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh Kapang *Trichoderma asperellum*. *Jurnal Ilmiah ATIR* Vol.7(1) : 11-19 (2011).
6. SUGORO, I., INDRIANI, D., SASONGKO, D. dan ADITIAWATI, P. Karakterisasi Produk Biosolubilisasi Lignit oleh Kapang Indigenus dari Tanah Pertambangan Batubara di Sumatera Selatan. *Jurnal Persatuan Biologi Indonesia* Vol.7 (2) : 299 - 308 (2011).
7. SELVI, A.P., BANERJEE R.B., RAM L.C. and SINGH G., Biodepolymerization Studies of Low Rank Indian Coals. *World J Microbiol Biotechnol* 25:1713-1720 (2009).

-
8. SUGORO, I., PIKOLI M.R., KURAESIN T., dan ADITIAWATI P., Isolasi dan Seleksi Kapang Pengsolubilisasi Batubara. *Jurnal Biologi & Lingkungan Al-Kauniyah UIN Syahid*, (2) : 30 - 34 (2009).
 9. SPEIGHT, J.G. *The Chemistry dan Technology of Coal, 2nd edition, Revised and Expdaned*, Marcel Dekker Inc., New York (1994).
 10. HAMMEL, K.E. Extracellular Free Radical Biochemistry of Ligninolytic Fungi. *New. J. Chem.* 20 : 195 - 198 (1996).
 11. SHI, K.Y., TAO, X.X., YIN, S. D., and DU, Y. LV. ZP., Bio-solubilization of Fushun lignite. The 6th Proceeding Conference on Mining Science & Technology in Procedia Earth and Planetary Science I627-633 (2009).
 12. YIN S., XIUXIANG, T., KAIYI, S. and ZHONGCHAO, T. Biosolubilisation of Chinese lignite. *Energy*. 34: 775-781 (2009).
 13. FAKOUSSA, R.M. The Influence of Different Chelator on The Solubilization/Liquefaction of Different Pretreated and Natural Lignite. *Fuel Process Technol.* 40:183 - 192 (1994).
 14. COHEN, S.M., WILSON, B.W. and R.M. BEAN, R.M. Enzymatic solubilization of coal. In: Wise, L.D. (editor). *Bioprocessing and Biotreatment of Coal*. Marcel Dekker Inc. New York (1990).
 15. ZYLSTRA, GJ and KIM, E. Aromatic Hydrocarbon Degradation by *Sphingomonas yanoikuyae* B1. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* : 408-414 (2007).
 16. CHAHAL, P.S. and CHAHAL, D.S. *Lignocellulosic Waste : Biological Conversion*. In : Martin, A.M. (editor). *Bioconversion of Waste Material to Industrial Products*. Blackie Academic and Professional. London (2008).
 17. PEREZ J., MUNOZ-DORADO, J. DE LA RUBIA, T and MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An Overview. *Int. Microbiol.* 5:53-63 (2002).
 18. BRENNER, K., YOU, L. and ARNOLD, F.H. Engineering Microbial Consortia : A New Frontier in Synthetic Biology. *Trends in Biotechnology*. 26 (9): 483 - 490 (2008).
-