

Karakterisasi Produk Biosolubilisasi Batubara Oleh Kapang T4 Hasil Isolasi dari Tanah Pertambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan

^{1,3}Irawan Sugoro, ²Sandra Hermanto, ³D. Indriani, ³P. Aditiawati, ⁴D. Sasongko

¹Pusat Aplikasi Teknologi Radiasi – BATAN Pasar Jumat, ²Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, ³Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati – ITB,

⁴Departemen Teknik Kimia, FTI ITB

irawan_sugoro@yahoo.com

Abstrak

Biosolubilisasi batubara adalah teknologi yang memiliki potensi untuk mengubah batubara padat menjadi bahan bakar cair/senyawa kimia dengan bantuan mikroorganisme. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi produk biosolubilisasi batubara oleh kapang T4 hasil isolasi dari tanah di area pertambangan batubara Tanjung Enim Sumatera Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara kapang T4 dengan batubara yang dilihat dari adanya kolonisasi miselia di permukaan batubara. Kadar asam humat mengalami peningkatan hingga hari ke-7, sedangkan kadar asam fulvat terus meningkat hingga hari ke-28. Analisa gugus fungsi batubara hasil biosolubilisasi dengan FTIR memperlihatkan terjadinya perubahan struktur batubara yang didominasi oleh penurunan serapan C=C aromatic dan C-O fenolik. Karakterisasi produk biosolubilisasi batubara oleh kapang T4 dengan GC-MS menunjukkan terbentuknya senyawa-senyawa baru dan senyawa yang mengalami peningkatan antara lain naftalena dan senyawa alkana rantai pendek.

Kata kunci : Biosolubilisasi, batubara, isolat kapang T4, produk biosolubilisasi.

Abstract

Biosolubilization of coal is a potential technology of converting solid coal to liquid fuel/chemicals at ambient condition. The objective of this research was to characterize coal biosolubilization product by T4 fungus which has been isolated from coal mining soil at Tanjung-Enim – South Sumatera. Results showed that interaction has occurred between fungus and coal based on mycelia colonization on the coal surface. Humic acid concentration increased until 7th days incubation, but the concentration of fulvic acid increased until the end of incubation (28th days). FTIR Analysis of the functional groups of coal biosolubilized results show the occurrence of coal structural changes dominated by the decline in C=C aromatic and C-O phenolic vibration. Characterization of coal biosolubilization by T4 mold with GC-MS indicated formation of new compounds and compounds which have increased include naphthalene and short-chain alkanes.

Key words : Biosolubilization, coal, T4 fungus isolate, biosolubilization product.

1. PENDAHULUAN

Biosolubilisasi adalah salah satu teknologi yang menjanjikan dengan memanfaatkan mikroba untuk mengubah padatan batubara menjadi fase cair sehingga diperoleh sumber energi dengan produk bersih. Penelitian biosolubilisasi diawali dengan ditemukannya mikroba pendegradasi batubara yang pertama kali dilaporkan oleh Fakoussa pada tahun 1981 dalam (Cohen *et.al.*, 1982). Sejak saat itu, sejumlah bakteri dan fungi yang

memiliki kemampuan mengsolubilisasi batubara ditemukan. Dalam perkembangannya, yang banyak digunakan untuk mengsolubilisasi batubara adalah fungi dari kelompok kapang, terutama karena sifat metabolismenya (saprofit) dan umumnya memiliki enzim pendegradasi lignin yang merupakan komponen asal pembentuk batubara. Jenis batubara yang menjadi bahan untuk biosolubilisasi adalah dari jenis kualitas rendah seperti lignit (Fakoussa *et.al.*, 1999).

Di Indonesia, jumlah batubara lignit mencapai 56% dari total cadangan batubara nasional (ESDM, 2010).

Dibandingkan dengan liquefaksi termal batubara, biosolubilisasi memiliki beberapa keuntungan, yaitu proses dilakukan dalam kondisi suhu dan tekanan atmosfer. Selain itu, mikroba dapat menggunakan hidrogen dari air dan tidak membutuhkan energi eksternal hidrogen untuk membentuk batubara tersolubilisasi. Produk yang dihasilkan dari proses biosolubilisasi batubara tidak mengandung sulfur, yang berarti tidak akan menghasilkan SO_x selama proses pembakaran (Fakoussa *et.al.*, 1999).

Dengan alasan tersebut, biosolubilisasi batubara menjadi menarik untuk diteliti lebih dalam. Akan tetapi, hasil solubilisasi yang rendah dan dibutuhkan waktu konversi yang lama serta karakteristik produk yang bervariasi menjadi hambatan pengembangan biosolubilisasi batubara (Yin *et.al.*, 2009). Hal tersebut terjadi karena 2 hal mendasar yang mempengaruhi biosolubilisasi, yaitu struktur batubara dan mikroba. Struktur batubara yang kompleks dan karakteristik batubara di setiap daerah yang berbeda-beda akan mempengaruhi pertumbuhan mikroba pengsolubilisasi, sedangkan mikroba berperan sebagai katalis atau penghasil enzim pengsolubilisasi (Reed, 1990).

Biosolubilisasi batubara dapat dilakukan dengan cara kultur permukaan dan terendam. Perkembangan terkini menunjukkan bahwa tipe kultur yang banyak digunakan dalam penelitian skala laboratorium adalah kultur permukaan, karena untuk mempermudah aplikasi produksi batubara cair secara *in situ*. Kapang yang memiliki kemampuan solubilisasi tinggi akan diinokulasikan ke batubara di area pertambangan dan diharapkan akan dihasilkan batubara cair. Penelitian yang dilakukan oleh Odom *et.al.* (1991) menunjukkan bahwa batubara lignit dapat disolubilisasi sebanyak 95% setelah 2 hari inkubasi di atas permukaan miselium *Neurospora* sp. Penelitian lainnya dengan menggunakan kapang *Trametes versicolor* menghasilkan tingkat solubilisasi sebesar 75,5% setelah 14 hari inkubasi. Produk biosolubilisasi yang dihasilkan dari kultur permukaan berupa cairan hitam menyimpan

97,5% dari nilai kalor lignit, yang berarti bahwa hampir tidak ada energi hilang selama proses biosolubilisasi. Hal ini pun menunjukkan suatu proses yang efisien dari transfer energi tersimpan dalam padatan lignit menjadi minyak cair (Shi *et.al.*, 2009). Produk biosolubilisasi batubara berupa senyawa aromatik dan alifatik dengan berat molekul rendah (Patel *et.al.*, 1992 dan Shi *et.al.*, 2009).

Pemakaian kultur terendam kurang berkembang karena tingkat biosolubilisasi yang rendah dan juga sulitnya pemisahan produk dengan medium. Disamping itu, untuk produksi membutuhkan bioreaktor dengan skala besar dan pra perlakuan mengubah batubara menjadi serbuk terlebih dahulu sehingga tidak ekonomis. Penelitian yang dilakukan oleh Holker *et.al.* (1999) dengan menggunakan kultur terendam menunjukkan bahwa lignit hanya dapat disolubilisasi oleh *Trichoderma atroviride* sebesar 9,3% setelah 40 hari inkubasi. Produk biosolubilisasi pun cenderung berfluktuatif jumlahnya, karena terjadi pemakaian produk oleh kapang untuk pertumbuhannya (Sugoro *et.al.*, 2009). Fokus penelitian yang berkembang saat ini adalah mencoba menemukan mikroba yang tepat dan mengisolasi enzim pengsolubilisasi batubara. Mikroba yang berpotensi dan enzim pengsolubilisasi batubara dapat diketahui berdasarkan produk yang dihasilkannya (Reed, 1990; Shi *et.al.*, 2009).

Dalam penelitian ini, kapang yang akan dikarakterisasi produk biosolubilisasinya adalah kapang T4. Kapang ini merupakan hasil isolasi dari tanah pertambangan batubara di Tanjung Enim – Sumatera Selatan dan menunjukkan positif uji enzim biosolubilisasi seperti peroksidase, Mn-P dan fenoloksidase (*Unpublished*). Pemanfaatan kapang *indigenous* ini diharapkan dapat memudahkan saat pengaplikasian, karena secara alamiah telah teradaptasi dengan substrat batubara. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan karakterisasi produk biosolubilisasi batubara dari kapang T4 berdasarkan analisis asam humat, asam fulvat dan GC-MS serta analisis gugus fungsi batubara hasil biosolubilisasi.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Gas Chromatography Mass Spectrometer (GC-MS) Shimadzu QP 2010 untuk analisa hidrokarbon hasil biosolubilisasi, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Perkin Elmer untuk identifikasi profil batu bara sebelum dan setelah biosolubilisasi, Spektrofotometer UV-Vis *Spectronic Genesys* untuk analisa aktifitas enzim pensolubilisasi, mikroskop, *Laminar Air Flow Cabinet* (LAFC), *Shaker*, autoklaf, refrigerator, inkubator, pH meter HANNA *Instruments* HI 8520, saringan berukuran 100 mesh, desikator, oven, vortex Heidolph REAX 2000, *hot plate*, *magnetic stirrer*, dan peralatan gelas lainnya untuk preparasi sampel.

Bahan yang digunakan meliputi batubara kualitas rendah (lignit) berbentuk serbuk (<100 mesh), medium *Mineral Salt Solution* (MSS/1 g $\text{NH}_4(\text{SO}_4)$, 0,52 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 g KH_2PO_4 , 0,005 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,003 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 0,003 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ lalu ditambah akuades hingga volumenya mencapai 1000 ml dan pH 5.5), sukrosa, larutan fisiologis (NaCl 0,85 %), dan asam laktat 10 %. Medium untuk pembuatan kultur inokulum spora adalah PDMA (PDA : MSS (1 :1) + batubara 0,1%) dan medium untuk pengujian biosolubilisasi adalah MSS+ (MSS + sukrosa 0,1% + ekstrak ragi 0,01% + batubara 5%). Isolat kapang yang digunakan adalah T4 yang merupakan hasil isolasi dari tanah pertambangan batubara di Tanjung Enim Sumatera Selatan.

Biosolubilisasi Batubara

Pengukuran tingkat biosolubilisasi batubara dilakukan untuk menseleksi isolat kapang yang diperoleh. Kultur inokulum spora sebanyak 10 % v/v (10^6 sel/ml) diinokulasikan ke dalam 30 ml medium MSS+ dan diinkubasi menggunakan *shaking inkubator* dengan kecepatan 120 rpm dan suhu ruang selama 28 hari. Pencuplikan sampel kultur dilakukan pada hari ke-0, 3, 7, 14, 21 dan 28 untuk dilakukan pengamatan pola kolonisasi miselia kapang dan biosolubilisasi batubara berupa analisis asam humat dan fulvat, analisis gugus fungsi dengan FTIR dan produk biosolubilisasi dengan GC-MS.

Pengukuran Asam Fulvat dan Asam Humat

Terhadap setiap sampel dilakukan perlakuan asam yakni dengan menambahkan asam klorida (HCl) 4 N hingga pH mencapai 1. Setelah pH mencapai nilai yang diinginkan kemudian dilakukan sentrifugasi selama 20 menit dengan kecepatan 8000 rpm. Dari proses tersebut didapatkan supernatan dan pelet yang terpisah didasar tabung sentrifugasi. Supernatan yang didapatkan kemudian dipindahkan ke dalam tabung terpisah untuk kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 280 nm. Setelah proses asidifikasi menggunakan HCl 4 N, maka pellet yang didapatkan dari hasil sentrifugasi diperlakukan lebih lanjut yakni dengan membilasnya menggunakan aquadest hingga pH nya mencapai nilai 4. Setelah itu dilakukan pengukuran absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 450 nm (Fakoussa *et.al.*, 1999).

Analisis Profil Batubara dengan FTIR

Sampel batubara sebelum dan setelah proses biosolubilisasi dianalisis dengan FTIR pada panjang gelombang 4000- 450 cm^{-1} . Sampel produk hasil biosolubilisasi terlebih dahulu dihilangkan kandungan airnya dengan alat rotary evaporator kemudian 0,2 g sampel dibuat pelet dalam KBr (Shi, 2009) dengan rasio 1:100. Sampel digerus dan dicampur dengan serbuk KBr kering dalam lumpang agate atau *vibrating Ball Mill* hingga benar-benar homogen. Campuran tersebut dimasukan kedalam pencetak khusus menggunakan spatula mikro, kemudian dimasukan pencetak ke dalam *handy press*. Tongkang *handy press* dilepaskan lalu cakram KBr dikeluarkan, kemudian dimasukan ke dalam KBr *disc holder*. Spectrum dari sampel batubara discan pada range frekuensi 4000-450 cm^{-1} .

Analisis Produk Solubilisasi Batubara oleh Kapang dengan Menggunakan GC-MS

Supernatan dan pelarut dicampur dengan perbandingan 1:1, pelarut yang digunakan adalah benzene: heksana: dietil eter dengan perbandingan 3:1:1. campuran tersebut dimasukan kedalam corong buchner lalu diaduk sampai bercampur kemudian didiamkan

beberapa saat sampai terbentuk fase atas dan bawah, fase atas dipakai untuk mengidentifikasi jenis senyawa dan menentukan kadar hasil solubilisasi batubara dengan menggunakan GC-MS selanjutnya dimasukan ke dalam vial untuk dianalisis dengan alat GC-MS. Kontrol yang digunakan adalah batubara yang dilarutkan dalam medium *minimal salt*, kemudian diekstrak dengan pelarut yang sama. Kondisi optimum GC-MS yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1 . Kondisi Optimum GC-MS

Spesifikasi	Keterangan
Nama kolom	(RTX-1MS) Restex
Panjang kolom	30 m
Diameter kolom	0,25 mm
Ketebalan kolom	0,25 µm
Fase diam	<i>Polymethylsiloxane</i>
Suhu oven	50 °C
Suhu injeksi	280 °C
Cara injeksi	Split
Tekanan	90,7 kPa
Total aliran	19,9 mL/menit
Aliran kolom	1,54 mL/menit
Kecepatan linear	45 cm/detik
Volume injeksi	5 µl
Fase gerak	Gas helium

(Silva et al., 2007).

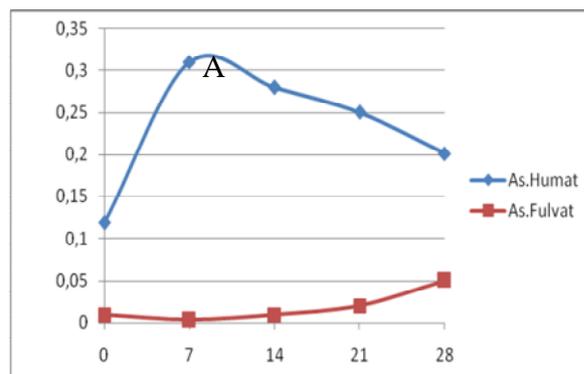
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Asam Humat dan Asam Fulvat

Kadar asam humat dan fulvat supernatan isolat kapang T4 menunjukkan pola yang berbeda. Kadar asam humat mengalami kenaikan hingga hari ke-7 dan turun hingga hari ke-28, sedangkan kadar asam fulvat mengalami kenaikan hingga hari ke-28. Kadar asam humat selalu lebih tinggi dibandingkan asam fulvat. Hal ini memperlihatkan kecenderungan pola perubahan asam humat dan asam fulvat yang berbanding terbalik, dimana ketika nilai absorbansi asam humat mulai mengalami penurunan, maka absorbansi asam fulvat mengalami kenaikan. Kecenderungan pola perubahan asam humat yang naik kemungkinan disebabkan adanya aktifitas enzim lignin peroksidase

mendegradasi lignin menjadi senyawa fenolik seperti asam humat.

Penurunan nilai absorbansi asam humat disebabkan oleh adanya penguraian asam humat terlarut menjadi senyawa turunannya seperti asam fulvat atau terdepolimerisasi menjadi gugus-gugus penyusunnya seperti gugus fenolik, karboksilik, enolik, alifatik dan lainnya. Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi asam fulvat yang terlarut dalam medium mulai mengalami peningkatan.

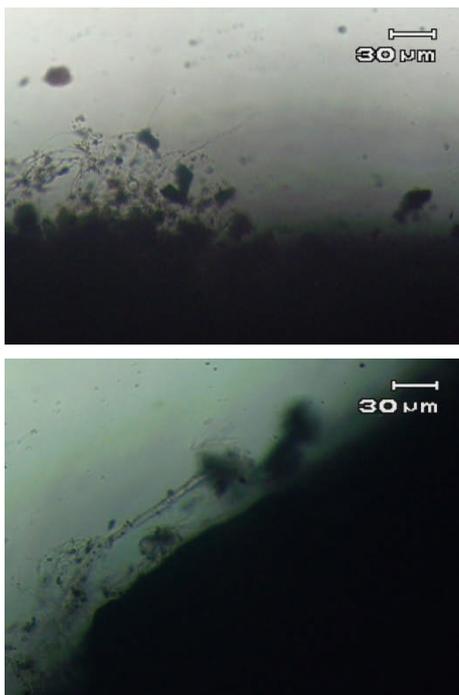


Gambar 1. Perubahan nilai absorbansi asam humat dan fulvat supernatan medium hasil biosolubilisasi batubara oleh kapang T4 dalam medium MSS+ yang diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 150 rpm.

Menurut Fataftah et.al. (2001), asam fulvat adalah substansi terkecil dari humat dan dapat terlarut dalam semua rentang pH tinggi dan dapat dipresipitaskan pada pH < 1. berdasarkan literatur tersebut, ketika pH medium mulai mengalami peningkatan kembali pada akhir masa percobaan maka kelarutan asam humat dalam medium akan berkurang dan akan mengendap, sedangkan asam fulvat yang terkandung dalam medium tetap dapat terlarut. Hal ini pulalah yang menyebabkan penurunan nilai absorbansi asam humat yang berimplikasi pada kenaikan nilai absorbansi asam fulvat.

Perubahan nilai kadar asam humat dan fulvat menunjukkan adanya pengaruh penambahan kapang T4. Hal ini dapat dilihat dari adanya interaksi kapang dengan batubara. Miselia kapang T4 mampu mengkolonisasi batubara (Gambar 2). Selama inkubasi, produksi hifa kapang semakin meningkat dan mulai mengelilingi partikel-partikel batubara seiring dengan lamanya masa inkubasi.

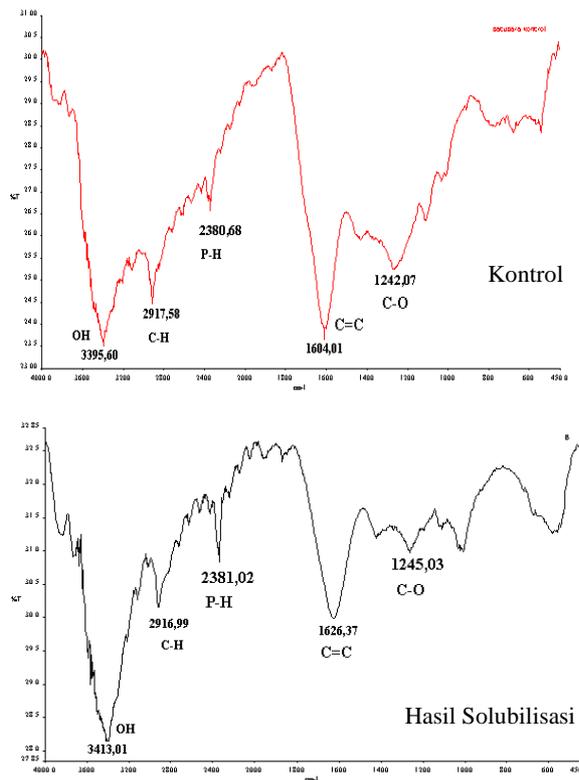
Terjadinya kolonisasi membuktikan bahwa kapang T4 dapat menggunakan substrat batubara untuk proses metabolismenya dan dapat mensolubilisasi batubara dengan bantuan enzim sehingga dihasilkannya senyawa yang lebih sederhana. Enzim-enzim yang terikat di permukaan hifa dapat kontak dengan lignin yang ada pada batubara, sehingga proses solubilisasi dapat berlangsung (Cathcheside and Ralph, 1994).



Gambar 2. Kolonisasi batubara oleh isolat kapang T4 dalam medium MSS+ yang diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 150 rpm (A : hari ke-7 dan B : hari ke-21).

Profil Batubara Hasil Analisis FTIR Sebelum dan Setelah Biosolubilisasi

Analisis berikutnya adalah identifikasi gugus fungsi dengan menggunakan FTIR untuk mengkarakterisasi batubara lignit sebelum dan setelah proses biosolubilisasi. Sampel endapan batubara yang digunakan adalah sampel dari hasil absorbansi solubilisasi tertinggi, yaitu pada hari ke-7 inkubasi. Spektrum hasil analisa FTIR pada batubara hasil biosolubilisasi dengan kontrol lignit menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (gambar 3).



Gambar 3. Profil batubarahasil analisa FTIR batubara sebelum dan setelah biosolubilisasi oleh kapang T4 dalam medium MSS+ yang diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 150 rpm.

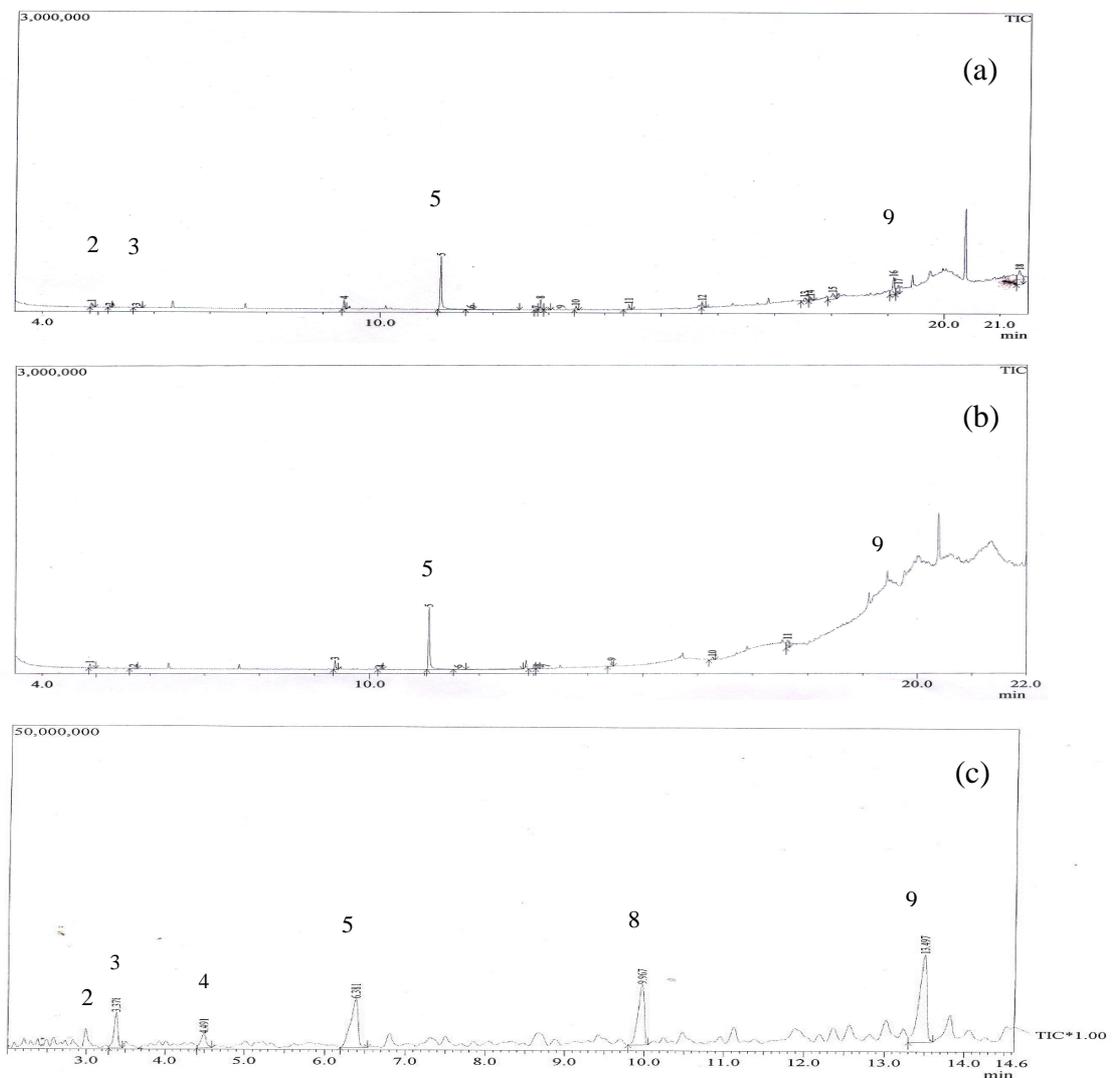
Batubara lignit kontrol mengandung gugus hidroksil fenol (O-H) pada daerah serapan 3200-3550 cm⁻¹, gugus alkana (C-H) pada daerah serapan 2850-3000 cm⁻¹, gugus (C=C) aromatik pada daerah serapan 1500-1600 cm⁻¹, dan gugus C-O fenol pada daerah serapan 970-1250 cm⁻¹. Setelah terjadi proses solubilisasi terjadi perubahan spektrum sampel yang dihasilkan terutama pada daerah C-H alkana (2916 cm⁻¹), C=C aromatik (1626 cm⁻¹) dan C-O fenol (1245 cm⁻¹), dimana serapan ketiga gugus fungsi tersebut mengalami penurunan pada batubara hasil biosolubilisasi jika dibandingkan dengan kontrol (tanpa solubilisasi).

Menurut Fakoussa and Hofricter (1999), perubahan ini disebabkan degradasi yang dilakukan oleh kapang terhadap batubara yang merupakan proses oksidatif dengan mengurangi kandungan metoksi, fenolik, dan alifatik lignin dan memecah cincin aromatik serta membentuk kelompok karbonil baru. Penurunan kandungan gugus fungsi pada sampel yang dibandingkan dengan kontrol menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi

pada batubara lignit yang dibantu oleh kapang T4.

Perubahan komposisi batubara akibat aktivitas kapang T4 juga didukung oleh hasil analisis GC-MS berikutnya dimana terjadi perbedaan pola kromatogram antara supernatan kontrol dengan hasil biosolubilisasi kapang T4 setelah 7 hari inkubasi. Jumlah senyawa yang terdeteksi pada kontrol adalah sebanyak 18 buah dan pada hasil biosolubilisasi oleh T4 sebanyak 11 buah. Hasil kromatogram tersebut juga memperlihatkan adanya puncak-puncak tertentu dengan persentase area yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol. Hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya

senyawa-senyawa baru yang tidak dapat terdeteksi oleh GC-MS dan senyawa tersebut disebut UCM (*unresolved complex mixture*). Senyawa-senyawa tersebut bisa berupa senyawa dari golongan sikloalkana bercabang, poliaromatik, rantai alkana bercabang banyak yang biasanya sulit didegradasi oleh mikroorganisme (Doerffer, 1992). Besar kemungkinan senyawa UCM tersebut berasal dari batubara hasil solubilisasi oleh kapang T4. Senyawa yang secara signifikan meningkat adalah naftalena. Kadar awalnya sebesar 30,38% dan meningkat menjadi 61,22% setelah 7 hari inkubasi. Naftalena sendiri merupakan bagian dari senyawa asam humat dan fulvat.



Gambar 4. Kromatogram hasil biosolubilisasi oleh isolat kapang T4 : (a) Hasil solubilisasi (b) Kontrol dan (c) komponen hidrokarbon minyak solar.

Hasil identifikasi senyawa pada kontrol diperoleh rantai karbon yang lebih panjang yang tidak terdapat pada hasil biosolubilisasi kapang T4, yaitu n-heneicosylcyclopentana ($C_{26}H_{52}$) dan nonakosana ($C_{29}H_{60}$). Senyawa-senyawa tersebut didegradasi menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Dibandingkan dengan kontrol, telah terjadi peningkatan persentase area pada rantai karbon pendek pada keempat sampel seperti peningkatan persentase senyawa C_9H_{18} , $C_{10}H_{18}$, $C_{12}H_{26}$, dan $C_{14}H_{30}$. Degradasi senyawa-senyawa yang ada pada batu bara (kontrol) menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana terjadi karena adanya enzim-enzim ekstraseluler. Degradasi senyawa alifatik rantai panjang seperti n-nonakosana ($C_{29}H_{60}$) dan senyawa lainnya terjadi karena adanya enzim lignin peroksidase (LiP) yang memutus ikatan-ikatan nonfenolik. Untuk senyawa-senyawa siklik dan siklik aromatik seperti naftalen ($C_{10}H_8$), n-heneisiklopentana ($C_{26}H_{52}$) dan senyawa lainnya menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana karena adanya aktivitas dari enzim lakase dan mangan peroksidase (MnP). Hasil selengkapnya seperti pada tabel 1.

Penurunan komposisi dan konsentrasi senyawa mengindikasikan terjadinya degradasi (Walker and Colwell, 1974). Hal ini didukung dari penurunan konsentrasi senyawa dengan rantai karbon yang lebih panjang dan bertambahnya konsentrasi senyawa rantai karbon yang lebih pendek. Proses degradasi atau solubilisasi ini menyebabkan pemutusan rantai karbon oleh kapang menjadi lebih sederhana dan sebagian digunakan untuk proses metabolisme kapang.

Jika dibandingkan dari ketiga kromatogram diatas, (gambar 4) menunjukkan bahwa produk solubilisasi menghasilkan beberapa senyawa hidrokarbon baru yang setara dengan komponen minyak solar (C9-C13) yaitu dengan nilai persentasi area sebesar 78,06% untuk produk biosolubilisasi, sedangkan nilai persentasi area kontrol (37,97%). Hal ini menunjukkan bahwa hasil degradasi batubara oleh kapang T4 ini berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan energi alternatif pengganti bahan bakar minyak yang setara dengan minyak solar.

Tabel 1. Perbandingan persen area senyawa hidrokarbon kontrol (tanpa perlakuan) dengan hasil biosolubilisasi batubara oleh kapang T4

No.	Nama Senyawa	% Area	
		Kontrol	T4
1	2,4-dimetil-1-heptena (C_9H_{18})	0,64	-
2	2,4-dimetilheptana (C_9H_{20})	-	3,33
3	4-metiloktana (C_9H_{20})	1,04	2,15
4	3-etil-2-metilheksana (C_9H_{20})	1,82	-
5	Naftalena ($C_{10}H_8$)	30,38	61,22
6	Undekana,3,7-dimetil ($C_{11}H_{24}$)	-	-
7	3,7-Dimetildekana ($C_{12}H_{26}$)	3,42	6,83
8	Dekana,3,7,-dimetil ($C_{12}H_{26}$)	-	-
9	n-dodekana ($C_{12}H_{26}$)	0,67	1,44
10	5-metil-5-propilnonana ($C_{13}H_{28}$)	-	1,60
11	5-isobutilnonana ($C_{13}H_{28}$)	-	1,49
12	5-butilnonana ($C_{13}H_{28}$)	0,93	-
13	n-tetradekana ($C_{14}H_{30}$)	2,45	5,15
14	4,6-dimetildodekana ($C_{14}H_{30}$)	4,00	-
15	4,6-dimetildodekana ($C_{14}H_{30}$)	1,70	-
16	2,6,10-trimetiltetradekana ($C_{17}H_{36}$)	0,48	-
17	n-heptadekana ($C_{17}H_{36}$)	7,56	-
18	2-metilheksadekana ($C_{17}H_{36}$)	2,42	10,88
19	n-oktadekana ($C_{18}H_{38}$)	2,43	1,92
20	n-nonadekana ($C_{19}H_{40}$)	11,69	-
21	2,6,10,14-tetrametilheksadekana ($C_{20}H_{42}$)	6,6	-
22	n-dokosana ($C_{22}H_{46}$)	-	4,00
23	n-heneicosylcyclopentana ($C_{26}H_{52}$)	3,05	-
24	n-nonakosana ($C_{29}H_{60}$)	18,73	-
Total % Area		100	100
Total senyawa		18	11
% area komponen setara solar		37,97	78,06

4. KESIMPULAN

Biosolubilisasi batu bara lignit oleh kapang T4 menghasilkan asam humat yang mengalami peningkatan hingga hari ke-7 inkubasi dan selanjutnya menurun hingga hari ke 28 yang mengindikasikan terkonversinya asam humat menjadi asam fulvat. Hasil analisa gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan terjadinya perubahan struktur batubara hasil biosolubilisasi kapang T4 yang didominasi oleh penurunan nilai serapan C=C aromatic dan C-O fenolik. Selanjutnya karakterisasi produk biosolubilisasi batubara oleh kapang T4 dengan GC-MS menunjukkan kemungkinan

terbentuknya senyawa-senyawa baru dan senyawa yang mengalami peningkatan antaralain naftalena dan beberapa senyawa alifatik rantai pendek yang setara dengan minyak solar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Catcheside D. E., Mallett K J. 1991. *Solubilization of Australian Lignites by Fungi and other Microorganisms*. Energy & Fuels, 5(1): 141–145.
2. Cohen M S, Gabriele P D. 1982. *Degradation of coal by the fungi Polyporus versicolor and Poriamonticola*. Applied and Environmental Microbiology, 44(1): 23–27.
3. Doerffer, K. 1990. *Principle of Gas Chromatography*. Penerbit ITB. Bandung
4. ESDM. 2010. *Hand Book of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2010*.
5. Fakoussa RM, PJ Frost. 1999. *In Vivo Decolorization of Coal-derived Humic Acids by Lakase-excreting Fungus Trametes versicolor*. Appl Micorbiol Biotechnol 52: 60-65.
6. Fataftah, A.K., D.S Walia., Gains B., Shaban I. Khotob. 2001. *A Comparative Evaluation of Known Liquid Humic Acid Analysis Methods* In : Ghabbour E.A., Davies G., eds. *Humic Substances: Structures, Models and Functions*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 337-342.
7. Holker, U., S. Ludwig, T. Scheel, and M. Hofer. 1999. *Mechanisms of Coal Solubilization by Deuteromycetes Trichoderma atroviridae and Fusarium oxysporum*. App, Microbiol. Biotechno. 52: 57 – 59.
8. Silva, M.E., C.J. Vengadajellum, H.A. Janjua, S.T.L. Harrison, S.G. Burton dan D.A. Cowan. 2007. *Degradation of low rank coal by Trichoderma atroviride* ES11. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 34:625–631.
9. Odom, B., M. Coolen dan N.C. Mishra. 1991. *Genetics of coal solubilization by Neurospora crassa*. Resources, Conservation and Recycling, 5 297-301
10. Reed, L. 1990. *Research Opportunities in Coal Bioprocess*, In : *Bioprocessing and Biotreatment of Coal*. Ed. Wise, D.L. Marcel Dekker Inc., New York.
11. Selvi, AP, Banerjee RB, Ram L.C. Singh G. 2009. *Biodepolymerization Studies of Low Rank Indian Coals*. World J Microbiol Biotechnol 25:1713–1720
12. Shi K Y, Tao X X, Yin S D., Du Y. Lv ZP. 2009. *Bio-solubilization of Fushun lignite*. The 6th Proceeding Conference on Mining Science & Technology in Procedia Earth and Planetary Science I, 627–633.
13. Stevenson, FJ. 1994. *Humus chemistry. Genesis, composition, reactions*. Wiley, New York, pp 24-58
14. Tao XX, Pan LY, Shi KY, Chen H, Yin SD, Luo ZF. 2009. *Bio-solubilization of Chinese Lignite I : Extracellular Protein Analysis*. Mining Science and Tech., (19) 358-362
15. Walker, J.D. and R.R. Colwell. 1974. *Microbial petroleum degradation: Use of Mixed hydrocarbon substrates*. Apply Microbiol. 27 (6): 1053-1060.
16. Xu, X.H., Chen C H, Qi H Y. 2000. *Development of Coal Combustion Pollution Control for SO₂ and NO_x in China*. Fuel Processing Technology, 62(2/3): 153–160.
17. YIN Su-dong, TAO Xiu-xiang, SHI Kai-yi. 2009. *Bio-solubilization of Chinese Lignite II: Protein Adsorption onto the Lignite Surface*. Canada: Department of Mechanical Engineering, University of Calgary. China: School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou.