

Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh
Kapang *Trichoderma* sp.
(Pingkan Aditiawati, dkk.)

ISSN 1907-0322

Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh Kapang *Trichoderma* sp.

Biosolubilisasi Gamma Irradiation Result Coal by Mould Trichoderma sp.

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

¹ Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, e-mail : pingkan@sith.itb.ac.id

² Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

³ Dept. Teknik Kimia, FTI ITB

Diterima 07 Maret 2011; Disetujui 24 Mei 2011

ABSTRAK

Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh Kapang *Trichoderma* sp.
Biosolubilisasi batubara adalah proses yang memiliki potensi untuk mengubah batubara padat menjadi bahan bakar cair dengan bantuan mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati kemampuan kapang *Trichoderma* sp. dalam mencairkan batubara dari jenis subbituminus hasil iradiasi gamma. Dosis iradiasi yang digunakan adalah 5, 10, dan 20 kGy dan sebagai pembanding adalah kontrol, yaitu batubara tidak diiradiasi. Metode yang digunakan adalah *submerged culture* dan inkubasi dilakukan pada suhu ruang dan agitasi 150 rpm selama 28 hari. Parameter yang diukur adalah kolonisasi, pH medium dan produk solubilisasi berdasarkan nilai absorbansi pada $\lambda_{250\text{nm}}$ dan $\lambda_{450\text{nm}}$ serta analisis GC/MS untuk perlakuan terbaik. Hasil percobaan 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. Tingkat biosolubilisasi mengalami peningkatan tidak sebanding dengan dosis iradiasi. Dosis terbaik perlakuan adalah 20 kGy dengan produk biosolubilisasi berupa senyawa yang cenderung setara dengan bensin dan solar. Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa pra perlakuan batubara dengan iradiasi gamma memiliki potensi untuk digunakan dalam meningkatkan biosolubilisasi.

Kata kunci : Batubara, Biosolubilisasi, Iradiasi Gamma, *Trichoderma* sp.

ABSTRACT

Biosolubilisasi Gamma Irradiation Result Coal by Mould *Trichoderma* sp.
Biosolubilization of coal is process of converting solid coal to liquid fuel/chemicals by mean of microorganism. The aim of this research was to study the effect of gamma rays irradiation with varian doses of irradiation into solubilization of subbituminous coal by *Trichoderma* sp. The dosage used was 5, 10, and 20 kGy and unirradiated coal as control. The method was submerged culture in MSS+ medium and incubated at room temperature and agitated at 150 rpm for 21th days. The parameters observed were colonization, pH and biosolubilization product based on absorbance value at $\lambda_{250\text{nm}}$ and $\lambda_{450\text{nm}}$ and GC/MS analysis for the best treatment. The results showed that coal biosolubilization could be increased by gamma irradiation. The mould could growth well in medium containing irradiated coal and the medium of pH was decreased after incubation. The biosolubilization was increased but the irradiation dosage of coal didn't affect significantly. The best dose was 20 kGy with product biosolubilization similar to gasoline and solar. Based on the result, the pre-treatment of gamma irradiation on coal has potency to increased biosolubilization.

Key words : Coal, Biosolubilization, Gamma Irradiation, *Trichoderma* sp.

PENDAHULUAN

Batubara menjadi sumber energi yang penting di dunia, seiring dengan semakin terbatasnya cadangan minyak dan gas alam. Laporan International Energy Outlook 2009 dari Departemen Energi AS menunjukkan bahwa cadangan batubara, minyak dan gas alam hingga akhir tahun 2007 sebesar 462,6, 164.5 dan 163.3 triliun ton. Dengan asumsi tingkat konsumsi tahun 2007, cadangan batubara akan memenuhi kebutuhan energi untuk 146 tahun ke depan, sedangkan minyak untuk 50 tahun dan gas alam untuk 63 tahun [1]. Cadangan batubara Indonesia sebesar 20,98 miliar ton yang didominasi oleh jenis lignit (kandungan kalori rendah) sebesar 59%, subbituminus (kandungan kalori sedang) sebesar 27%, dan bituminus mencapai 14%, sedangkan antrasit kurang dari 0,5% [2].

Batubara banyak digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan panas. Umumnya, jenis batubara yang digunakan adalah kualitas rendah dari jenis lignit sebesar 96,4 % sehingga mengakibatkan polusi udara cukup serius. Emisi dari pembakaran lignit terutama berupa sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO₂) dan logam berat [3]. Maka, pembakaran bukan merupakan teknologi yang baik ditinjau dari perlindungan lingkungan. Oleh sebab itu dibutuhkan teknologi baru untuk penanganannya.

Biosolubilisasi adalah salah satu proses yang menjanjikan dengan memanfaatkan mikroba untuk melarutkan atau mencairkan padatan batubara sehingga diperoleh sumber energi dengan produk bersih. Produk biosolubilisasi yang berupa cairan hitam menyimpan 97,5% dari nilai pemanasan lignit mentah [4]. Dibandingkan dengan liquefaksi termal batubara, biosolubilisasi memiliki beberapa keunggulan, yaitu proses dilakukan dalam kondisi suhu dan tekanan atmosfer, mikroba dapat menggunakan hidrogen dari air dan tidak membutuhkan energi eksternal hidrogen untuk membentuk lignit tersolubilisasi. Produk yang dihasilkan pun

tidak menghasilkan SO_x dan NO_x selama proses pembakaran sehingga merupakan sumber energi bersih [5].

Dengan alasan di atas maka biosolubilisasi batubara menjadi menarik untuk diteliti lebih dalam. Akan tetapi, hasil solubilisasi yang rendah dan dibutuhkannya waktu konversi yang lama menjadi hambatan pengembangan biosolubilisasi batubara serta jenis batubara yang berbeda untuk setiap lokasi. Cara yang biasa dilakukan untuk mempercepat proses biosolubilisasi adalah pra perlakuan batubara secara kimia seperti penambahan asam nitrat dan peroksida. Perlakuan ini menyebabkan perubahan gugus fungsi batubara dan meningkatkan *site* adsorpsi enzim [5].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pra perlakuan secara fisika dengan memanfaatkan iradiasi gamma. Iradiasi batubara akan menyebabkan terputusnya ikatan kompleks dan diharapkan dapat meningkatkan *site* adsorpsi enzim. Jamur yang digunakan adalah *Trichoderma* sp yang merupakan hasil isolasi dari batubara subbituminus dan memiliki kemampuan mencairkan batubara [6]. Berdasarkan hal tersebut di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh batubara hasil iradiasi gamma terhadap biosolubilisasi oleh *Trichoderma* sp.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan meliputi *Laminar Air Flow Cabinet* (L AFC), spektrofotometer UV-Vis Genesys®, mikroskop berkamera Nikon® dan *shaker incubator*. Bahan yang digunakan meliputi isolat kapang *Trichoderma* sp. hasil isolasi dari pertambangan batubara, serbuk subbituminus (≤ 100 mesh), medium *Potato Dextrose Broth* (PDB) dan agar (PDA), sukrosa, *Mineral Salt Solution* (MSS/1 g NH₄(SO₄), 0,52 g MgSO₄.7H₂O, 5 g KH₂PO₄, 0,005 g FeSO₄.7H₂O, 0,003 g MnCl₂.4H₂O dan 0,003 g ZnSO₄.7H₂O lalu ditambah

akuades hingga volumenya mencapai 1000 ml dan pH 5,5), sukrosa, larutan fisiologis (NaCl 0,85 %), dan *methylene blue* 1 %. Medium untuk peremajaan kapang adalah PDMA (PDA + MSS + batubara 0,1%, sedangkan medium untuk pengujian biosolubilisasi adalah MSS+ (MSS + sukrosa 0,1% + ekstrak ragi 0,01% + batubara 5%).

Persiapan Serbuk Batubara

Batubara yang digunakan dari jenis subbituminus dengan ukuran partikel ≤ 100 mesh dan berasal dari pertambangan batubara di Lahat - Sumatera Selatan. Sebanyak 5 g sampel batubara dimasukkan ke dalam plastik polietilen dan diiradiasi dengan sinar γ dosis 0, 5, 10, 20 kGy (laju dosis 20 kGy/jam) di iradiator IRKA - PATIR BATAN.

Biosolubilisasi Batubara oleh Kapang *Trichoderma* sp

Isolat kapang *Trichoderma* sp. diremajakan di medium PDMA dalam cawan petri dan diinkubasi pada suhu ruang sampai menghasilkan spora. Sebanyak 5 ml NaCl 0,85% dimasukkan ke dalam cawan petri yang berisi inokulum spora kapang *Trichoderma* sp, lalu spora dilepas dengan bantuan ose. Sebanyak 1 ml (10^6 sel/ml) inokulum spora kapang *Trichoderma* sp. dimasukkan ke dalam tabung Erlenmeyer yang berisi 30 ml medium MSS+. Kultur diinkubasi pada suhu ruang dan agitasi 120 rpm selama 28 hari. Pencuplikan sampel dilakukan pada hari ke- 0, 7, 14, 21 dan 28. Parameter yang diukur adalah kolonisasi, pH medium, solubilisasi dan produk solubilisasi. Biosolubilisasi diukur dengan spektrofotometer pada $\lambda_{250\text{nm}}$ dan $\lambda_{450\text{nm}}$, sedangkan produk biosolubilisasi dianalisis dengan GC/MS untuk perlakuan yang memiliki hasil solubilisasi tertinggi.

Analisis data

Analisis data dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel versi 2003 dan statistik ANOVA ($p \leq 0,05$) dengan SPSS 16.

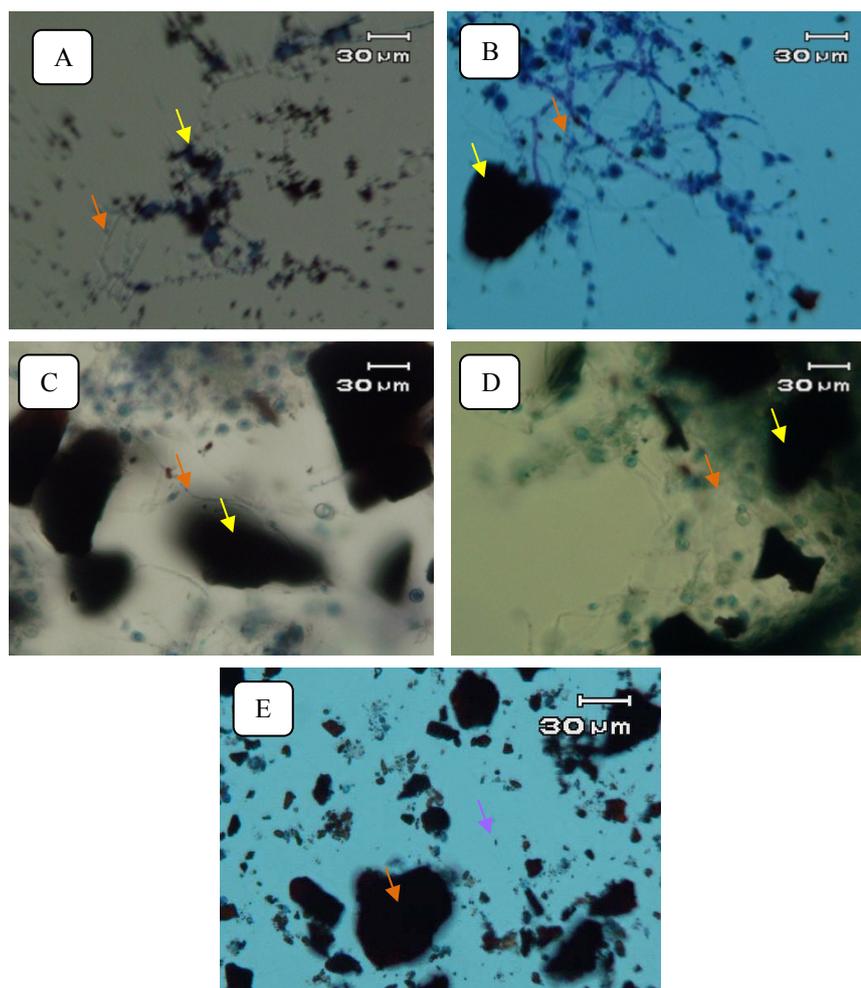
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolonisasi Miselia Kapang pada Batubara dan pH medium

Pengamatan kolonisasi miselia kapang pada batubara dengan perlakuan dosis berbeda sudah terlihat pada hari ke-7 inkubasi, terlihat dari panjang hifa atau kerapatan hifa yang tumbuh (Gambar 1). Hal ini terjadi karena setiap perlakuan dosis mengubah struktur batubara sehingga dihasilkan tingkat kolonisasi yang berbeda. Kolonisasi pada batubara menunjukkan kapang dapat menggunakan batubara sebagai substrat untuk dicairkan dengan bantuan enzim ekstra selular kapang, seperti lakase dan peroksidase [7].

Interaksi yang terjadi pada setiap perlakuan menunjukkan adanya pengaruh iradiasi gamma terhadap jumlah batubara yang terjebak dalam matriks kapang. Jumlah batubara yang terjebak cenderung lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Iradiasi diperkirakan dapat menyebabkan peningkatan *site* adsorpsi sel atau enzim dengan terbukanya gugus-gugus hidrosil dan karbonil akibat pemutusan senyawa kompleks sehingga pertumbuhan jamur yang ditunjukkan dengan kolonisasi miselia lebih tinggi dibanding kontrol.

Terjadinya pertumbuhan kapang *Trichoderma* sp dapat dilihat pula dari perubahan nilai pH yang menjadi lebih asam setelah inkubasi (Gambar 2). Secara statistik tidak menunjukkan adanya pengaruh dosis iradiasi gamma terhadap perubahan pH medium ($p \leq 0,05$). Hal tersebut karena terbentuknya asam-asam organik hasil degradasi komponen lignin pada batubara [8]. Selain itu, penurunan pH dapat terjadi karena desulfurisasi, yaitu proses terlarutnya sulfur batubara dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}). Proses awal terjadinya pencairan batubara dapat dilihat dari kemampuan kapang dalam melakukan interaksi terhadap sulfur organik dalam batubara. Kapang mampu mendegradasi rantai karbon dalam batubara dan menyebabkan ikatan sulfur terlepas dari



Gambar 1. Kolonisasi miselium *Trichoderma* sp pada batubara hasil iradiasi gamma (A : Kontrol 7 hari; B : 5 kGy 7 hari; C : 10 kGy 7 hari; D : 20 kGy 7 hari; E : Kontrol 0 hari; perbesaran 400X;
↙ : spora ; ↘ : batubara; ↘ : miselia).

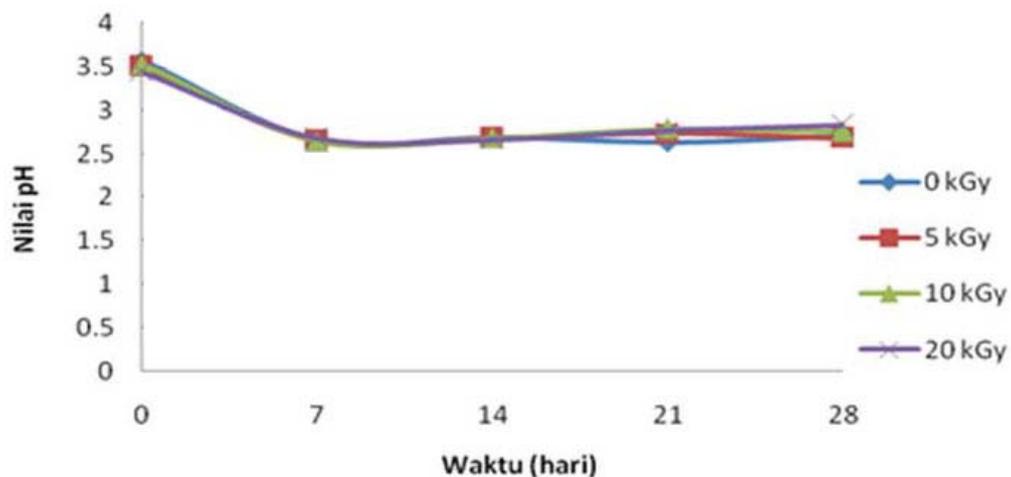
batubara. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi ion sulfat yang terlarut dalam medium sehingga menghasilkan pH yang asam [9].

Akan tetapi setelah hari ke-7, pH cenderung mengalami peningkatan meskipun tidak terlalu tinggi. Peningkatan pH terjadi karena dihasilkannya senyawa kimia alkali seperti amina dari kapang [4]. Selain itu juga dihasilkan senyawa ammonia dari hasil degradasi piridin pada batubara. Ammonia dihasilkan karena terbukanya cincin piridin menjadi pentanol dan ammonia [10]. Menurut Fakoussa dan

Hofrichter [5], senyawa alkali seperti ammonia berperan dalam proses biosolubilisasi karena dapat meningkatkan hidrofilitas sehingga batubara dapat bercampur dengan air dan medium. Kemungkinan lainnya disebabkan oleh sel yang mati langsung berada dalam medium, kemudian terdeaminasi kembali sebagai sumber nitrogen untuk metabolisme kapang sehingga terjadi efek *buffering* [11].

Biosolubilisasi

Isolat kapang *Trichoderma* sp. mampu mengsolubilisasi batubara perlakuan iradiasi



Gambar 2. pH medium kultur kapang *Trichoderma* sp. dalam medium MSS+ yang diinkubasi pada suhu kamar dan agitasi 150 rpm.

dan kontrol berdasarkan pengukuran tingkat biosolubilisasi pada $\lambda_{250\text{nm}}$ dan $\lambda_{450\text{nm}}$ (Gambar 3). Secara statistik, dosis iradiasi tidak berpengaruh terhadap tingkat biosolubilisasi pada $\lambda_{250\text{nm}}$, tetapi berpengaruh pada tingkat biosolubilisasi pada $\lambda_{450\text{nm}}$. Pengukuran pada $\lambda_{250\text{nm}}$ untuk mendeteksi adanya gugus fenolik, sedangkan pada $\lambda_{450\text{nm}}$ bertujuan untuk mendeteksi produk hasil solubilisasi batubara oleh kapang berupa gugus hidroksil (-OH) dan karbonil (-CO) [12]. Peningkatan solubilisasi berdasarkan nilai absorbansi pada $\lambda_{250\text{nm}}$ cenderung sama untuk setiap dosis iradiasi dan kontrol. Peningkatan tajam terjadi hingga hari ke-7 dan setelah itu cenderung stasioner. Tingkat biosolubilisasi pada $\lambda_{450\text{nm}}$ cenderung lebih fluktuatif. Peningkatan yang tinggi terjadi pada perlakuan dosis 10 kGy dan 20 kGy setelah hari ke-14 dan terus meningkat hingga hari ke - 28.

Peningkatan nilai absorbansi pada kedua panjang gelombang berbeda menunjukkan terjadinya pelepasan senyawa yang memiliki gugus fenolik atau aromatik dari batubara ke dalam medium, sedangkan penurunan terjadi akibat penguraian senyawa-senyawa tersebut menjadi senyawa yang lebih sederhana. Perubahan nilai absorbansi ini mempengaruhi pH medium (Gambar 1). Senyawa aromatik dan fenol

bersifat asam. Fenol merupakan senyawa yang mengandung gugus benzena dan hidroksi dan mudah dioksidasi lebih lanjut menjadi asam karboksilat oleh enzim lakase [12].

Secara kualitatif terdapat perbedaan kekeruhan supernatan selama inkubasi. Umumnya supernatan berwarna kekuningan terang atau kuning bening kemudian pada hari selanjutnya menjadi cokelat. Hal tersebut menunjukkan telah ada batubara yang terlarut kemudian bercampur dengan medium dan mengubah warna medium menjadi lebih gelap [13].

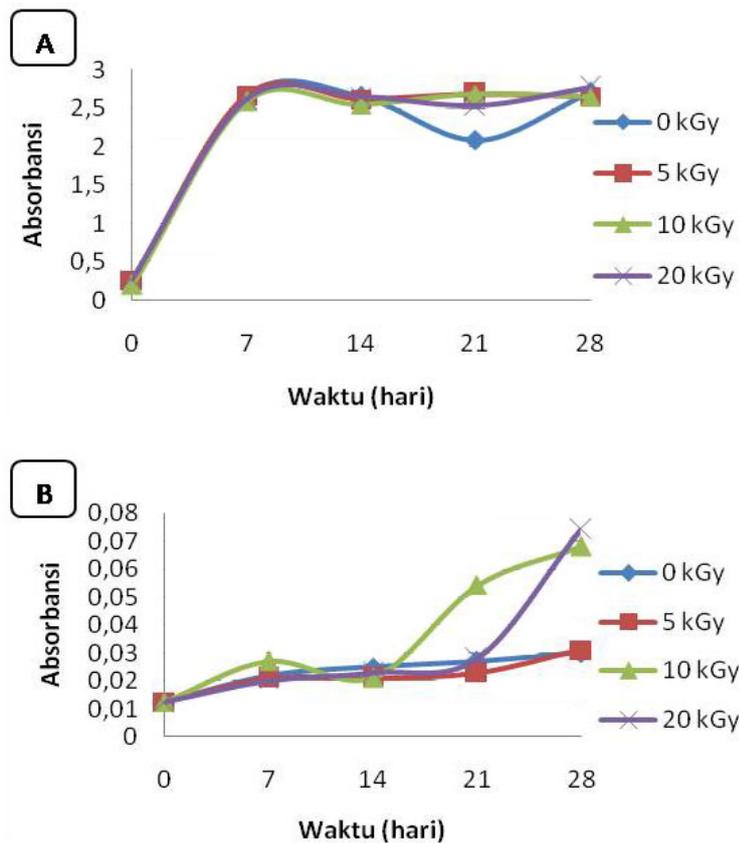
Produk Biosolubilisasi

Persentase area senyawa yang diperoleh dari proses solubilisasi oleh kapang terseleksi bersumber dari supernatan. Dalam pengujian menggunakan GC/MS, sampel yang digunakan adalah perwakilan dari setiap perlakuan dosis iradiasi yang memiliki tingkat solubilisasi terbesar, dimungkinkan pada absorbansi tertinggi tersebut akan mendapatkan hasil yang optimal di mana didapat senyawa yang dibutuhkan dalam pembentukan bahan bakar seperti bensin dan solar. Berdasarkan hal tersebut, maka digunakan sampel-sampel dosis iradiasi 0 kGy pada hari ke-28 inkubasi, dosis iradiasi 5 kGy pada hari ke-

21 inkubasi, sampel dosis iradiasi 10 kGy pada hari ke-21 inkubasi dan sampel dosis iradiasi 20 kGy pada hari ke-28 inkubasi.

Senyawa dari kontrol hasil analisis GC/MS dengan dosis iradiasi 0, 5, 10 dan 20

jumlah rantai karbon yang kurang dari 7. Senyawa-senyawa yang lebih sederhana tersebut dapat lebih mudah digunakan oleh kapang sebagai sumber karbon yang digunakan dalam proses metabolismenya.



Gambar 3. Bisolubilisasi batubara hasil iradiasi gamma oleh *Trichoderma* sp. (A : $\lambda_{250 \text{ nm}}$ dan B : $\lambda_{450 \text{ nm}}$).

kGy membentuk senyawa dengan panjang rantai karbon dan konsentrasi yang berbeda-beda (Tabel 1). Efek radiasi gamma pada suatu materi yang bersifat acak dapat pula mempengaruhi muncul dan tidaknya suatu senyawa [14]. Jumlah senyawa yang terdeteksi hingga dosis 10 kGy mengalami kenaikan dan menurun kembali pada dosis 20 kGy. Pada dosis iradiasi 10 kGy didapat senyawa dengan panjang rantai karbon terpendek, yaitu n-Heptana (C_7H_{16}). Senyawa tersebut tidak terdeteksi pada dosis 20 kGy, karena terjadi pemutusan rantai karbon lebih lanjut menjadi senyawa dengan

Pada kontrol 10 kGy diperoleh rantai karbon yang lebih panjang yang tidak terdapat pada perlakuan lainnya, yaitu n-Docosane ($C_{22}H_{46}$). Senyawa tersebut didapat dari hasil iradiasi yang mengalami pemutusan rantai-rantai karbon di mana awalnya memiliki panjang rantai karbon lebih panjang dari C_{22} .

Bisolubilisasi batubara hasil iradiasi gamma dan kontrol oleh kapang *Trichoderma* sp. menyebabkan hilangnya senyawa-senyawa hidrokarbon dengan jumlah rantai karbon kurang dari 12. Senyawa yang tetap terdeteksi adalah 3,3-dimetilheksana. Senyawa pada kontrol yang semula ada

Tabel 1. Senyawa hasil biosolubilisasi batubara menggunakan GC/MS

No.	Nama Senyawa	% Area / 5 µl							
		Kontrol				Perlakuan			
		0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy	0 kGy H-28	5 kGy H-21	10 kGy H-21	20 kGy H-28
1	n-Heptana (C ₇ H ₁₆)	-	-	3,71	-	-	-	-	-
2	2,3,3-Trimetilpentana (C ₈ H ₁₈)	-	3,33	-	-	-	-	-	-
3	3,3-Dimetilheksana (C ₈ H ₁₈)	-	23,37	22,92	-	-	-	-	-
4	n-Oktana (C ₈ H ₁₈)	11,07	6,26	6,28	22,16	10,53	-	-	-
5	2,4-Dimetilheptana (C ₉ H ₂₀)	19,43	17,73	16,32	-	20,37	17,62	15,88	18,61
6	2,4-Dimetil-1-heptena (C ₉ H ₁₈)	-	5	4,67	5,717	-	-	-	-
7	4-Metiloktana (C ₉ H ₂₀)	4,5	4,93	4,39	-	-	-	3,29	3,78
8	n-Nonana (C ₉ H ₂₀)	-	2,12	-	-	-	-	-	-
9	2,3,4-Trimetilheksana (C ₉ H ₂₀)	-	9,53	9,67	-	-	-	-	-
10	1-Iodononana (C ₉ H ₁₉ I)	-	-	2,19	-	-	-	-	-
11	1-Iododekana (C ₁₀ H ₂₁ I)	-	4,52	-	4,42	-	-	-	-
12	6-Etil-2-metiloktana (C ₁₁ H ₂₄)	-	5,23	4,98	-	-	-	-	-
13	n-Undekana (C ₁₁ H ₂₄)	-	-	-	-	-	-	-	29,79
14	Dodekana (C ₁₂ H ₂₆)	29,22	-	-	25,76	-	-	-	-
15	2,4-Dimetildekana (C ₁₂ H ₂₆)	6,73	-	-	-	-	-	-	-
16	2,4,6-Trimetil-1-nonena (C ₁₂ H ₂₄)	-	-	1,57	-	-	-	-	-
17	Isododekana (C ₁₂ H ₂₆)	-	-	-	7,14	-	-	-	-
18	3,7-Dimetildekana (C ₁₂ H ₂₆)	-	-	5,03	15,65	-	-	-	-
19	4,7-Dimetildekana (C ₁₂ H ₂₆)	-	-	-	-	-	-	-	6,94
20	4-Metil-1-undekana (C ₁₂ H ₂₄)	-	-	-	5,53	-	-	-	-
21	Dodekana-1,1-difluoro (C ₁₂ H ₂₄ F ₂)	5,49	-	-	-	-	-	-	-
22	3,7-Dimetilundekana (C ₁₃ H ₂₈)	-	-	-	-	31,41	31,5	27,19	-
23	2,8-Dimetilundekana (C ₁₃ H ₂₈)	-	-	-	11,03	-	2,85	2,61	2,83
24	4,7-Dimetilundekana (C ₁₃ H ₂₈)	-	16,07	13,58	-	7	17,59	15,85	10,45
25	n-Tetradekana (C ₁₄ H ₃₀)	18,03	-	-	-	17,89	18,6	18,51	14,63
26	n-Pentadekana (C ₁₅ H ₃₂)	5,53	1,92	2,03	2,61	-	1,66	1,55	1,43
27	Heksadekana (C ₁₆ H ₃₄)	-	-	-	-	4,79	5,22	6	4,31
28	Nonadekana (C ₁₉ H ₄₀)	-	-	-	-	4,65	4,95	6,18	3,98
29	Eikosana (C ₂₀ H ₄₂)	-	-	-	-	1,04	-	1,65	1,19
30	2,6,10,14-Tetrametilheptadekana (C ₂₁ H ₄₄)	-	-	-	-	2,32	-	1,29	2,07
31	n-Dokosana (C ₂₂ H ₄₆)	-	-	2,67	-	-	-	-	-
Total % Area		100	100	100	100	100	100	100	100

Keterangan : Kontrol : MSS+ batubara; Perlakuan : MSS + batubara + kapang *Trichoderma* sp.

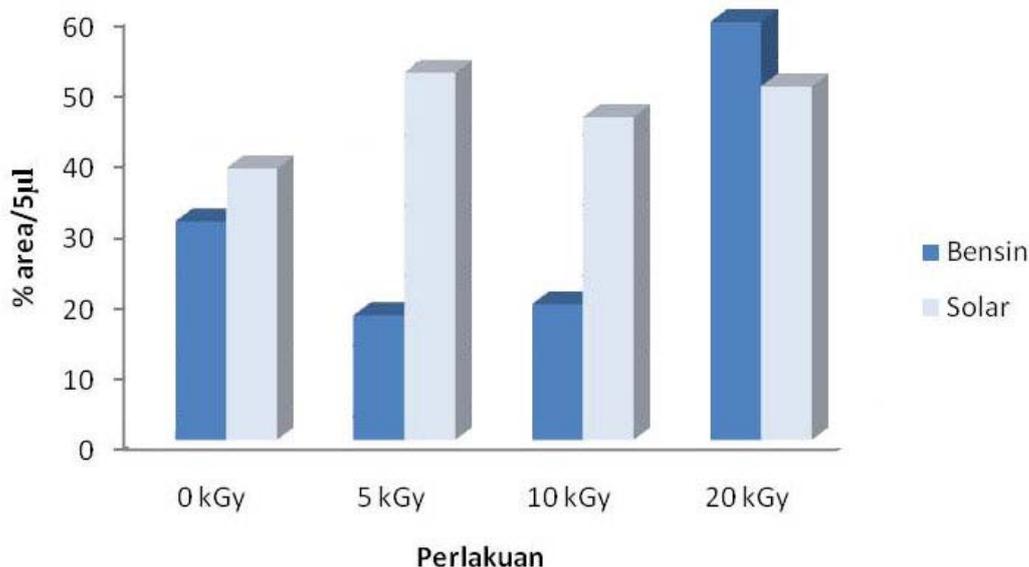
menjadi hilang setelah diberi perlakuan dan diinkubasi misalnya pada n-heptana (C₇H₁₆) dengan dosis 10 kGy. Selama inkubasi, kapang menggunakan sumber karbon pada senyawa batubara tersebut untuk proses metabolismenya dan terjadinya proses solubilisasi batubara.

Produk biosolubilisasi pada batubara hasil iradiasi lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Biosolubilisasi batubara pada dosis iradiasi 5, 10 dan 20 kGy menghasilkan senyawa hidrokarbon sebanyak 8, 11 dan 12, sedangkan kontrol sebanyak 9 senyawa. Hal ini terjadi karena proses biodegradasi oleh kapang *Trichoderma*

sp. dari senyawa rantai karbon yang lebih panjang dari C_{22} menjadi lebih sederhana. Atau aktivitas enzimatis kapang menyebabkan tersolubilisasinya senyawa-senyawa baru dari batubara. Selain itu, biosolubilisasi batubara hasil iradiasi menghasilkan senyawa dengan rantai karbon pendek ($C \leq 13$) yang lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Proses biosolubilisasi ini menyebabkan pemutusan rantai karbon oleh kapang *Trichoderma* sp. menjadi lebih sederhana dan sebagian digunakan untuk proses metabolisme kapang [4].

persentase berkisar antara 17,62 sampai 30,89 (Gambar 4). Hal tersebut menunjukkan bahwa dosis tersebut dapat mengoptimalkan proses degradasi batubara oleh kapang *Trichoderma* sp. dari senyawa kompleks menjadi lebih sederhana dan hasil solubilisasi yang didapat berpotensi memproduksi senyawa komponen bensin.

Komponen utama solar adalah hidrokarbon dengan panjang rantai karbon 10 sampai 13. Persentase area tertinggi dihasilkan dengan dosis iradiasi 5 kGy dengan masa inkubasi 21 hari, yaitu 51,94, untuk persentase yang dihasilkan pada dosis



Gambar 4. Persentase area per 5 µl senyawa komponen bensin dan solar hasil biosolubilisasi batubara dalam berbagai dosis oleh kapang *Trichoderma* sp.

Formulasi kimia yang masuk ke dalam fraksi bensin adalah hidrokarbon yang memiliki jumlah atom karbon senyawa sebanyak 4 sampai 12 [15]. Hasil degradasi batubara oleh kapang *Trichoderma* sp. berpotensi sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak yang setara dengan bensin. Hasil yang optimal diperoleh pada dosis iradiasi 20 kGy dengan masa inkubasi 28 hari dengan menghasilkan persentase area yang lebih tinggi, yaitu 59,12, sedangkan yang lain dengan

iradiasi 0, 5 dan 20 kGy berkisar antara 38,41 sampai 50,01. Dengan demikian dosis iradiasi yang optimal untuk pembentukan solar adalah dosis 5 kGy dengan masa inkubasi 21 hari. Pada dosis 20 kGy dengan masa inkubasi 28 hari selain baik untuk pembentukan komponen senyawa bensin, baik pula untuk pembentukan komponen senyawa solar. Biosolubilisasi batubara hasil iradiasi gamma dalam berbagai dosis oleh kapang *Trichoderma* sp. berpotensi sebagai bahan alternatif pengganti minyak bumi

(bensin dan solar) yang jumlah produksinya sudah terbatas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas maka dapat disimpulkan bahwa biosolubilisasi oleh kapang *Trichoderma* sp. dapat ditingkatkan dengan iradiasi gamma. Kapang *Trichoderma* sp dapat tumbuh dengan baik dalam medium batubara hasil iradiasi gamma dan mampu mengsolubilisasi batubara hasil iradiasi gamma pada $\lambda_{250\text{nm}}$ dan $\lambda_{450\text{nm}}$ lebih tinggi dibandingkan kontrol. Dosis iradiasi batubara yang menghasilkan tingkat biosolubilisasi tertinggi adalah 5 kGy dan 20 kGy dengan masa inkubasi masing-masing 28 dan 21 hari dengan produk biosolubilisasi yang cenderung setara dengan solar dan bensin.

DAFTAR PUSTAKA

1. IEA. International Energy Outlook 2009 (2009).
2. ESDM, Indonesia Energy Outlook 2010 (2010).
3. XU, X.H., CHEN C.H., and QI H.Y., Development of coal combustion pollution control for SO₂ and NO_x in China, *Fuel Processing Technology*, **62**(2/3), 153-160 (2000).
4. 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).
5. FAKOUSSA, R.M. and HOFRICHTER, M., Biotechnology and microbiology of coal degradation, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **52**, 25-40 (1999).
6. 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).
7. RALPH, J.P. and D.E.A. CATCHESIDE, Decolourisation and Depolymerisation of Solubilised Low Rank Coal by The White-rot Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **42**, 536-542 (1994).
8. SCOTT, C.D., FAISON, B.D., and WOODWARD, C.A., Anaerobic Liquefaction/Solubilization of Coal by Microorganism and Isolated Enzyme. Presented at The Liquefaction Contractors Review Meeting, USA Dept. of Energi (1991).
9. TAKASHI, O. and Y. IZUMI. Microbial desulfurization of organic sulfur compounds in petroleum, *Biosci. Journal Biotechnol. Biochem.* **63**(1), 1-9 (1999).
10. DU Y., T. XIUXIANG, S. KAIYI, and L.I. YANG, Degradation of Lignite Model Compounds by the Action of White Rot Fungi. China: School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jianguo (2010).
11. KIRK, T. K., S. CROAN, M. TIEN, K. E. MURTAGH, and R. L. FARRELL. Production of Multiple Ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*: Effect of Selected Growth Conditions and Use of Mutant Strain, *Enzyme Microb. Technol.* **8**, 27-32 (1986).
12. 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).
13. COHEN M.S., FELDMAN K.A., BROWN C.S., and GRAY, E.T., Isolation and Identification of the Coal Solubilizing Agent Produced by *Trametes versicolor*. *Appl. Environ. Microbiol.*, **56**, 3285-3294 (1990).
14. HALL, E.J., *Radiobiology Of Radiobiologist*, Lipicontt Williams and Walkin (1999).
15. Philadelphia, AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Properties of fuels. [http://www. Afdc.energy.gov.pdf](http://www.Afdc.energy.gov.pdf), 29 September 2009 (2001).
-