

AKTIVITAS BIODESULFURISASI DIBENZOTIOFENA DALAM MODEL MINYAK TETRADEKANA PADA RASIO MINYAK AIR DAN KONSENTRASI *RESTING SEL* ISOLAT BAKTERI SBJ8

I Gede Krisna Putra Pratama¹, Ida Bagus Wayan Gunam², G.P. Ganda Putra²

¹Mahasiswa Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Unud

²Dosen Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Unud

Email: krisnaputra93@gmail.com¹

Email koresponden: ibwgunam@unud.ac.id²

ABSTRACT

This study aims to determine the best ratio of oil / water and concentration of resting cells and determine the time course of resting cells bacteria isolates SBJ8 to be known the biodesulfurization capability in two-phase media using media mineral salt sulfur free-tetradecane (MSSF-TD). Oil/water ratio used in this study is 1 : 1 , 1 : 2 and 1 : 4 in combination with cell concentration by OD₆₆₀ 10, 20, and 30. The study was conducted using 200 mg · l⁻¹ dibenzothiophene as a source of sulfur dissolved in tetradecane as a model of petroleum (oil phase). Isolates were incubated for 24 hours at 37°C and the residue analyzed by gas chromatography mass selective (GC-MS). Testing the degradation of resting cells is accomplished by two replications. The results showed that the ratio of oil water 1 : 4 by and cell concentration OD₆₆₀ 30 shows the results of the highest degradation of 84.84% and the time course of 24 hours resting cells show degradation rate dibenzothiophene up to 81.84%.

Keywords : *Biodesulfurization, dibenzothiophene, tetradecane, resting cells*

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu sumber daya yang sangat penting dan sangat dibutuhkan pada era modern seperti sekarang ini. Berbagai aktivitas manusia saat ini sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya energi. Hingga saat ini, sumber energi yang digunakan sebagian besar diperoleh dari minyak bumi (Hidayati, 2013).

Penggunaan energi minyak bumi yang digunakan pada sektor perindustrian dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Senyawa So_x yang dihasilkan dari hasil pembakaran yang tidak sempurna adalah salah satu faktor utama penyebab polusi udara dan penyebab utama hujan asam (Kabe *et al.*, 1992). Bahan bakar yang berasal dari fosil mengandung berbagai macam senyawa heterosiklik, yang terdapat dalam bentuk dibenzotiofena dan benzotiofena. Dibenzotiofena (DBT) merupakan senyawa sulfur organik yang khas dalam bahan bakar fosil yang mendominasi bahan bakar fosil sebesar 70% (Pikoli *et al.*, 2013).

Senyawa sulfur yang berasal dari bahan bakar fosil dapat dihilangkan dengan melakukan proses hidrosulfurisasi. Proses hidrosulfurisasi memiliki beberapa kelemahan seperti biaya yang mahal, energi yang tinggi dan senyawa sulfur aromatik sangat sulit dihilangkan dengan proses ini (Park *et al.*, 2003). Metode lain yang dapat digunakan untuk menghilangkan senyawa sulfur pada minyak adalah metode biosulfurisasi. Biosulfurisasi adalah suatu metode untuk menurunkan senyawa sulfur dengan memanfaatkan mikroorganisme. Keuntungan utama biosulfurisasi dibandingkan dengan hidrosulfurisasi adalah proses ini tidak memerlukan kondisi reaksi yang tinggi, biaya relatif lebih murah, dan lebih hemat energi (Sohrabi *et al.*, 2012).

Biosulfurisasi dengan menggunakan *growing* sel merupakan tahapan awal untuk mempelajari pertumbuhan dan aktivitas biosulfurisasi isolat pada dua fase media pertumbuhan yang memiliki sumber karbon dan berbagai macam nutrisi untuk pertumbuhan sel. Sedangkan *resting* sel merupakan tahap lanjutan dari *growing* sel, tahap ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sel dalam memanfaatkan sumber sulfur pada minyak tanpa menggunakan nutrisi pada media. Berdasarkan penelitian Gunam *et al.* (2013) telah dilakukan percobaan tentang *resting* sel untuk mengetahui pengaruh dari rasio fase minyak/air terhadap aktivitas biosulfurisasinya. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa rasio fase minyak air 1:4 dengan absorbansi OD₆₆₀ sebesar 25 menggunakan strain bakteri *Sphingomonas subartica* T7b memiliki tingkat degradasi terbaik hampir mencapai 100%.

Issassam *et al.* (2016) telah melakukan isolasi bakteri pendegradasi sulfur yang diambil dari tanah tercemar minyak bumi selama bertahun-tahun di daerah Samboja, Kutai, Kalimantan Timur telah menemukan bakteri isolat SBJ8 yang mampu mendegradasi 200 mg·l⁻¹ dibenzotiofena dengan taraf tertinggi sebesar 80,83% dibandingkan berbagai isolat lain yang mampu mendegradasi sulfur aromatik. Penelitian tersebut menggunakan model minyak tetradekana dengan substrat dibenzotiofena. Tujuan dilakukannya *resting* sel pada penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan rasio minyak/air dan konsentrasi sel terbaik terhadap kemampuan biosulfurisasi dan pola *time course resting* sel isolat bakteri SBJ 8 pada pengujian aktivitas biosulfurisasi dibenzotiofena dalam model minyak tetradekana.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bioindustri dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana dan Laboratorium Forensik Polda Bali, dari November 2015 hingga Maret 2016.

Bahan

Isolat yang diuji adalah isolat bakteri SBJ8 yang diperoleh dari isolasi tanah tercemar minyak bumi dari Samboja, Kalimantan Timur (Issasam *et al.*, 2016). Media untuk menumbuhkan dan media untuk pengujian biodesulfurisasi dilakukan dalam sistem 2 lapis, yaitu medium yang mengandung mineral dan bebas sulfur dan tetradekana. Komposisi medium adalah sebagai berikut: KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , NH_4Cl , NaCl , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , FeCl_3 , $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, glukosa (Merck) dan senyawa sulfur aromatik yang telah terkonsentrasi (CA). Bahan kimia lainnya: Dibenzotiofena (Aldrich), Tetradekana (Merck), Minyak bumi (crude oil).

Alat

Peralatan yang digunakan adalah spatula, *ice box*, *blue ice*, plastik, timbangan analitik (Shimadzu), labu takar, labu Erlenmeyer, batang gelas bengkok, jarum ose, cawan petri, tabung reaksi, bunsen, pipet mikro (Thermo scientific), incubator (Memmert), *autoclave* (Hirayama), *laminar flow* (Kojair), *waterbath shaker* (Memmert), *magnetic stirrer*, *hot plate*, *sentrifuge* (K3 series), *freezer*, lemari pendingin, *vortex*, pH meter (Schot instrument), spektrofotometer (Thermo scientific), *gas chromatography* (Agilent Technologies 6890N), *mass selective detector* (Agilent Technologies 5973), kolom HP 5 MS (30 m x 0,32 mm x 0,25 μm).

Prosedur Percobaan

Pembuatan Media Pertumbuhan

Pembuatan media pertumbuhan MSSF-CA cair untuk media pertumbuhan mikroba yang mengandung senyawa sulfur aromatik terkonsentrasi (CA) yaitu dengan melarutkan 11,4 g KH_2PO_4 , 28,85 g Na_2HPO_4 , 10 g NH_4Cl , 0,375 g NaCl , 10,165 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 3,6746 g CaCl_2 , 1,351 g FeCl_3 , 0,0085 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,0495 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1% (b/v) glukosa, 0,1% (v/v) senyawa sulfur aromatik terkonsentrasi (CA) dalam akuades sampai volume 1000 ml. Untuk pembuatan media uji degradasi dibenzotiofena MSSF-TD cair sama dengan pembuatan media MSSF-CA cair, namun tidak menggunakan CA melainkan menggunakan dibenzotiofena yang dilarutkan dalam model minyak tetradekana.

Peremajaan dan Perbanyakan Kultur

Strain bakteri ditumbuhkan pada media MSSF-CA. Kultur kerja dipersiapkan dengan menginokulasi isolat yang telah diremajakan (dari kultur stok) sebanyak 0,5 ml ke dalam 3 buah tabung reaksi yang masing-masing berisi 5 ml media MSSF-CA dan 5 μ l sulfur aromatik (CA), diinkubasi pada suhu 37°C selama 96 jam dengan kecepatan putaran *shaker* 150 rpm. Setelah masa inkubasi, 2 tabung reaksi yang berisi suspensi sel ditumbuhkan lagi pada media MSSF-CA pada Erlenmeyer 250 ml yang berisi 150 ml media MSSF untuk dilakukan perbanyakan sel isolat dan penambahan 0,75 ml CA, diinkubasi pada suhu 37°C selama 96 jam dan digojog dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm hingga didapat kultur kerja.

Preparasi *Resting* Sel

Isolat bakteri ditumbuhkan pada media MSSF-CA cair. Pemanenan sel dilakukan setelah masa inkubasi selama 4 hari. Sel dikumpulkan dengan cara disentrifugasi pada kecepatan 5.000 rpm selama 20 menit pada suhu 4°C. Sel yang telah dipanen dikumpulkan, dicuci sebanyak dua kali dengan larutan NaCl 0,85% (pH 7) dan kemudian diendapkan pada larutan NaCl 0,85% dan diatur konsentrasi menjadi OD₆₆₀ 30, 20 dan 10. Sel tersebut dapat langsung digunakan atau dapat disimpan pada *freezer* dengan suhu -75°C (Gunam *et al.*, 2013).

Biodesulfurisasi dengan *Resting* Sel

Reaksi dilakukan dengan menambahkan 1 ml tetradekana yang mengandung 200 mg · l⁻¹ DBT dan penambahan 4, 2, dan 1 ml suspensi sel isolat yang telah tercampur dengan larutan NaCl dengan rasio fase minyak/fase air 1:4, 1:2 dan 1:1 dengan *optical density* pada panjang gelombang 660nm (OD₆₆₀) yang telah diatur konsentrasi selnya. Untuk percobaan tentang pengaruh konsentrasi sel terhadap aktivitas *resting* sel divariasikan konsentrasi selnya dimulai dari OD 10, 20, dan 30. Kemudian diinkubasi pada suhu 37°C dengan menggunakan *waterbath shaker* dengan kecepatan 150 rpm yang dilakukan selama 24 jam. Setelah proses biodesulfurisasi selama 24 jam dengan melakukan sentrifugasi fase minyak dapat dipisahkan dengan dari fase air. Fase minyak dianalisis dengan menggunakan GC untuk mengetahui residu DBT. Fase air dianalisis tingkat keasamannya dengan pH meter (Gunam *et al.*, 2013).

Penentuan *Time Course Resting* Sel

Suspensi sel isolat (OD₆₆₀) diinokulasikan pada media uji yang terdiri dari campuran DBT dan suspensi sel dengan konsentrasi dibenzotiofena 200 mg · l⁻¹ yang dilarutkan dalam tetradekana. Volume suspensi sel ditambahkan dengan penambahan model minyak tetradekana sebanyak 1 ml. Sebelum diinkubasi OD (*Optical Density*) diukur dengan melihat tingkat

kekeruhan yang dianalisis pada panjang gelombang 660nm dengan menggunakan spektrofotometer. Isolat kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam di *waterbath shaker* dengan kecepatan 150 rpm.

Variabel yang diamati

Variabel yang diamati adalah derajat keasaman (pH) (Gunam *et al.*, 2006) menggunakan pH meter pada fase air, sedangkan pada fase minyak dianalisis residu DBT menggunakan GC (Hernandez-Maldonado dan Yang, 2003 yang dimodifikasi), Persentase tingkat degradasi DBT dihitung dengan menggunakan persamaan: Tingkat degradasi DBT (%) = $\frac{(200 - \text{residu DBT})}{200} \times 100\%$.

Data yang diperoleh dari serangkaian pengujian dianalisis secara deskriptif dan data ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodesulfurisasi dengan *Resting* Sel

Hasil dari proses biodesulfurisasi dengan *resting* sel selama 24 jam pada DBT 200 mg · l⁻¹ mengalami perubahan pH, residu DBT dan degradasi yang disajikan pada Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1. Rata-rata pH setelah inkubasi *resting* sel selama 24 jam pada DBT 200 mg · l⁻¹ dalam tetradekana menggunakan isolat SBJ8 pada konsentrasi dan rasio yang berbeda

Rasio \ OD	OD		
	30	20	10
1:4	3,61 ± 0,06	4,02 ± 0,03	4,08 ± 0,49
1:2	3,79 ± 0,05	4,11 ± 0,03	4,12 ± 0,02
1:1	4,00 ± 0,01	4,21 ± 0,04	4,42 ± 0,07

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi sel dan rasio minyak/air maka pH akan semakin rendah. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi konsentrasi sel maka aktivitas desulfurisasi sulfur juga akan semakin tinggi (Luo *et al.*, 2003). Rasio minyak/air juga berpengaruh terhadap aktivitas biodesulfurisasi, semakin tinggi rasio minyak/air maka aktivitas biodesulfurisasi sulfur juga akan semakin tinggi (Gunam *et al.*, 2013). Penurunan pH mengindikasikan adanya aktivitas biodesulfurisasi dibenzotiofena yang disebabkan oleh mikroorganisme (Aditiawati *et al.*, 2013). Semakin tinggi aktivitas biodesulfurisasinya maka

akan menyebabkan penurunan pH. Senyawa sulfur yang terdegradasi dalam bentuk SO_3^{2-} dan SO_4^{2-} tersebut akan larut pada fase air sehingga akan terbentuk asam yang dapat menyebabkan pH mengalami penurunan (Monticello, 2000).

Tabel 2. Rata-rata residu DBT ($mg \cdot l^{-1}$) setelah inkubasi *resting* sel selama 24 jam pada DBT 200 $mg \cdot l^{-1}$ dalam tetradekana menggunakan isolat SBJ8 pada konsentrasi dan rasio yang berbeda.

Rasio \ OD	OD		
	30	20	10
1:4	30,32±30,32	125,47±8,98	127,84±29,49
1:2	116,62±16,79	125,63±12,75	129,58±1,64
1:1	121,61±12,09	143,35±15,04	147,95±14,55

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi dan rasio fase minyak air maka residu dari dibenzotiofena tersebut akan semakin rendah. Hal tersebut dipengaruhi oleh aktivitas biodesulfurisasi, semakin tinggi konsentrasi sel dan rasio minyak air maka aktivitas biodesulfurisasi akan semakin tinggi sehingga residu dibenzotiofena akan semakin rendah. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Prasetya *et al.* (2016) juga menunjukkan bahwa semakin tinggi aktivitas biodesulfurisasinya maka residu dari dibenzotiofena akan semakin rendah.

Tabel 3. Rata-rata tingkat degradasi (%) *resting* sel selama 24 jam pada DBT 200 $mg \cdot l^{-1}$ dalam tetradekana menggunakan isolat SBJ8 pada konsentrasi dan rasio yang berbeda

Rasio \ OD	OD			Rata-rata
	30	20	10	
1:4	84,84	37,26	36,08	52,73
1:2	41,69	37,18	35,21	38,03
1:1	39,19	28,27	26,02	31,16
Rata-rata	55,24	34,24	32,44	

Tabel 3 menunjukkan bahwa kemampuan degradasi biodesulfurisasi dengan *resting* sel berkisar antara 26,02 - 84,84%. Perlakuan dengan rasio 1:4, dengan OD_{660} 30 memiliki tingkat degradasi tertinggi yaitu 84,84%, Sedangkan perlakuan 1:1, dengan OD_{660} 10 memiliki tingkat degradasi terendah yaitu 26,02%. Berdasarkan rata-rata degradasi dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi dan rasio minyak air maka degradasi juga akan semakin tinggi. Rata-rata degradasi berdasarkan rasio minyak/air dari rasio 1:4-1:1 berkisar antara 52,73%-31,16%. Rasio

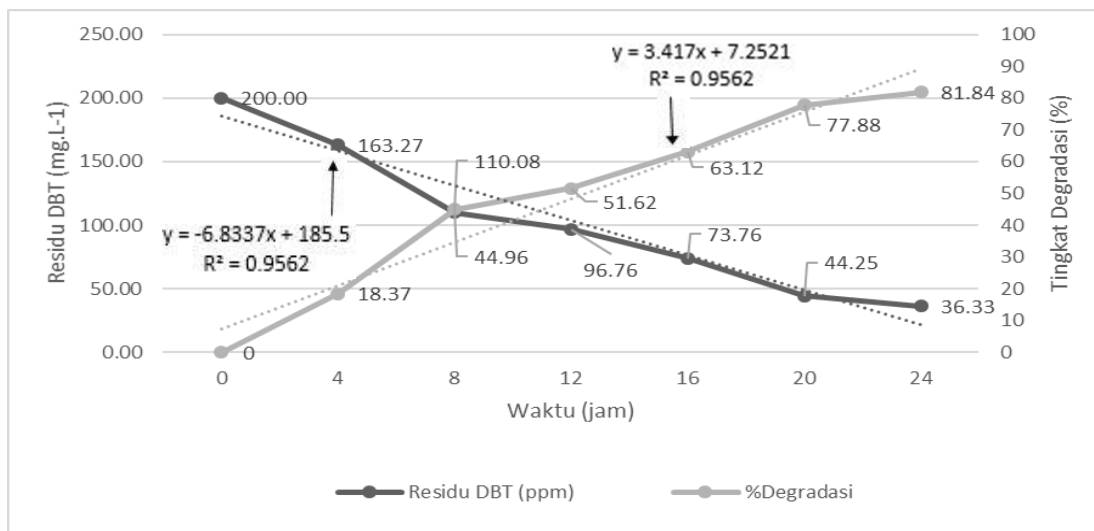
minyak/air yang semakin rendah maka diikuti dengan aktivitas desulfurisasi yang rendah. Hal tersebut terjadi karena ketersediaan air untuk sel menjadi hal yang penting bagi desulfurisasi dengan menggunakan mikroorganisme (Luo *et al.*, 2003). Pada penelitian Gunam *et al.* (2013) menunjukkan bahwa semakin besar rasio minyak/air, aktivitas desulfurisasi menunjukkan peningkatan. Sedangkan rata-rata degradasi berdasarkan konsentrasi sel dimulai dari konsentrasi 30-10 berkisar antara 55,24%-32,44%.

Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi sel yang digunakan maka aktivitasnya cenderung mengalami peningkatan. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi konsentrasi sel maka jumlah sel juga akan ikut meningkat, sehingga aktivitas biodesulfurisasi juga semakin meningkat yang menyebabkan perlakuan dengan konsentrasi sel yang lebih tinggi memiliki aktivitas yang lebih tinggi pula (Maghsoudi *et al.*, 2001). Pada penelitian yang dilakukan oleh Luo *et al.* (2003) juga menunjukkan semakin tinggi konsentrasi sel maka desulfurisasi DBT juga meningkat.

Penelitian terdahulu tentang biodesulfurisasi dengan *resting* sel diketahui bahwa perbandingan 1:4 antara fase minyak dan fase air dengan konsentrasi OD₆₆₀ 25 memiliki tingkat degradasi hampir mencapai 100% (Gunam *et al.*, 2013). Pada penelitian yang dilakukan oleh Hou *et al.* (2005) telah diketahui bahwa aktivitas *resting* sel selama 20 jam mampu mendegradasi DBT hingga mencapai lebih dari 90%. Sedangkan pada penelitian ini dengan rasio 1:4 dan konsentrasi 30 memiliki tingkat degradasi terbaik mencapai 84,84%. Hal tersebut kemungkinan dapat terjadi karena strain bakteri pendegradasi sulfur yang berbeda.

Time Course Resting Sel Isolat Bakteri SBJ 8

Berdasarkan hasil dari proses biodesulfurisasi dengan menggunakan *resting* sel isolat bakteri SBJ 8 sebelumnya dapat diketahui bahwa perlakuan dengan rasio 1:4 dan konsentrasi OD₆₆₀ 30 memiliki rata – rata kemampuan degradasi terbaik yaitu sebesar 84,84%. Berdasarkan konsentrasi dan rasio fase minyak/air terbaik tersebut, pola *time course resting* sel disajikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Time course resting* sel selama 24 jam pada DBT 200 mg · l⁻¹ dalam tetradekana menggunakan isolat SBJ8 pada rasio minyak air 1:4 dan konsentrasi OD₆₆₀ 30.

Berdasarkan Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa terjadi pola peningkatan degradasi *resting* sel setiap 4 jam dan disertai dengan penurunan residu dibenzotiofena. Pada 4 jam pertama diketahui degradasi sebesar 18,37%, kemudian 8 jam 44,96%, 12 jam 51,62%, 16 jam 63,12%, 20 jam 77,88% dan pada 24 jam diketahui degradasi mencapai 81,84%. Penurunan residu DBT juga terlihat, yang semula DBT 200 mg · l⁻¹ pada 0 jam kemudian mengalami penurunan hingga residu mencapai 36,33 mg · l⁻¹ pada 24 jam inkubasi. Pola yang terbentuk pada *time course* isolat bakteri SBJ8 merupakan pola yang mengalami peningkatan dengan rata-rata degradasi mencapai 3,41% /jam dan penurunan residu DBT dengan rata-rata mencapai 6,82 mg · l⁻¹ /jam. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Supata *et al.* (2010) dengan menggunakan bakteri pendegradasi sulfur isolat KWN5 juga menunjukkan bahwa aktivitas degradasi mencapai 72,13% pada optimasi suhu, kemudian mengalami degradasi menjadi 75,21% pada optimasi pH dan degradasi 70,13% pada optimasi sumber karbon. Pada penelitian Izumi *et al.* (1994) diketahui bahwa strain bakteri *Rhodococcus erythropolis* D-1 mampu mendegradasi DBT selama 150 menit dengan *resting* sel. Sedangkan penelitian yang dilakukan Mohebali *et al.* (2006) diketahui bahwa reaksi dengan *resting* sel menggunakan strain bakteri *Gordonia alkanivorans* RIPI90A mampu mendegradasi DBT selama 6 jam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Perbandingan rasio minyak/air 1:4 dengan kombinasi konsentrasi (OD_{660}) 30 resting sel isolat bakteri SBJ 8 memiliki aktivitas biodesulfurisasi terbaik dengan kemampuan degradasi tertinggi sebesar 84,84%.
2. Pola time course resting sel isolat bakteri SBJ8 merupakan pola yang mengalami peningkatan dengan rata-rata degradasi mencapai 3,41% /jam dan penurunan residu DBT dengan rata-rata mencapai $6,82 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ /jam selama waktu inkubasi 24 jam.

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui aktivitas biodesulfurisasi dengan metode imobilisasi sel agar dapat dibandingkan aktivitasnya dengan penggunaan metode *resting* sel ini yang nantinya dapat diterapkan di industri refining minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiawati, P., Akhmaloka, D.I. Astuti, Sugilubin, and M.R. Pikoli. 2013. Biodesulfurization of Subbituminous Coal by Mixed Culture Bacteria Isolated from Coal Mine Soil of South Sumatera. *Journal Biotechnology* 12 (1): 46-53.
- Gunam, I.B.W., Y. Yaku, M. Hirano, K. Yamamura, F. Tomita, T. Sone, and K. Asano. 2006. Biodesulfurization of Alkylated Forms of Dibenzothiophene and Benzothiophene by *Sphingomonas subartica* T7b. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 101 (4): 322-327.
- Gunam, I.B.W., K. Yamamura, I.N. Sujaya, N.S. Antara, W.R. Aryanta, M. Tanaka, F. Tomita, T. Sone, and K. Asano. 2013. Biodesulfurization of Dibenzothiophene and Its Derivates Using Resting and Immobilized Cells of *Sphingomonas subartica* T7b. *J. Microbiol. Biotechnol.* 23(4):473 – 482.
- Hernandez-Maldonado, A. J. and R. T. Yang. 2003. Desulfurization of Commercial Liquid Fuels by Selective Adsorption via π Complexation with Cu(I)-Y Zeolites. *Ind. Eng. Chem Res.* 42:3103-3110.
- Hidayati, N. 2013. Studi Konversi Batubara Menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair Melalui Pirolisis dan Hidrorengkah Katalitik Dengan CoMo/ZAA Sebagai Katalis. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Hou, Y., Y. Kong, J. Yang, J. Zhang, D. Shi, and W. Xin. 2005. Biodesulfurization of Dibenzothiophene by Immobilized Cells of *Pseudomonas stutzeri* UP-1. *Fuel* 84:1975-1979.

- Issasam, B., I.B.W. Gunam, dan N.M. Wartini. 2016. Pengujian Bakteri Potensial Pendegradasi *Dibenzothiophene* (DBT) yang diisolasi dari Tanah yang Terkontaminasi Minyak Bumi di Samboja. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 4 (2):95-100.
- Izumi, Y., T. Ohshiro, H. Ogino, Y. Hine, and M. Shima. 1994. Selective Desulfurization of Dibenzothiophene by *Rhodococcus erythropolis* D-1. *Applied and Environmental Microbiology*. 60(1): 223 – 226.
- Kabe, T., Ishihara, A. and Tajima, H. 1992. Hydrodesulfurization of Sulfur-containing Polyaromatic Compound In Light Oil. *Ind. Eng. Chem. Res.* 31: 1577-1580.
- Luo, M.F., X. Jianmin, G. Zhongzuan, L. Huizhou, and C. Jiayoung. 2003 Biodesulfurization of Dibenzothiophene and 4,6-Dimethyldibenzothiophene in Dodecane and Straight-Run Diesel Oil. *Korean J. Chem. Eng.* 20(4): 702-704.
- Maghsoudi, S., M. Vossoughi, A. Kheirloom, E. Tanaka, and S. Katoh. 2001. Biodesulfurization of Hydrocarbons and Diesel Fuels by *Rhodococcus* sp. Strain P32C1. *Biochemical Engineering Journal*. 8: 151-156.
- Mohebbi, G., A.S. Ball, B. Rasekh, and A. Kaytash. 2006. Higher Biodesulfurization Potential of A Newly Isolated Bacterium, *Gordonia alkanivorans* RIPI90A. *Enzyme and Microbial Technology*. 40:578-584.
- Monticello, D.J. 2000. Biodesulfurization and The Upgrading of Petroleum Distillates. *Current Opinion in Biotechnology*, 11:540 – 546.
- Park, S.J., I.S. Lee, Y.K. Chang, and S.Y. Lee. 2003. Desulfurization of Dibenzothiophene and Diesel Oil by Metabolically Engineered *Escherichia coli*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 13(4):578 – 583.
- Pikoli, M.R., P. Astuti, F. Ahmad, dan N.A. Solihat. 2013. Pengayaan – Bertingkat Dibenzothiophen pada Sampel Tanah Pertambangan Batubara untuk Mengisolasi Bakteri Desulfurisasi. *Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta*. 103-109.
- Prasetya, I.P.H., I.B.W. Gunam, dan N.S. Antara. 2016. Isolasi Bakteri Potensial Pendegradasi Dibenzotiofena dari Tanah Tercemar Minyak Bumi di Buluh Telang Langkat Sumatera Utara. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 4 (1):36-44.
- Sohrabi, M., H. Kamyab, N. Janalizadeh, and F.Z. Huyop. 2012. Bacterial Desulfurization of Organic Sulfur Compound Exist in Fossil Fuels. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 6(2):717 – 729.
- Supatha, D.A., I.B.W. Gunam, dan I.G.A.L. Triani. 2010. Pengujian Aktivitas Bakteri Pendegradasi Sulfur Isolat KWN5 Pada Dibenzotiofena dalam Tetradekana. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.