

Biodesulfurisasi Minyak Solar Produk Kilang Ppsdm Migas Cepu Menggunakan Bakteri *Rhodococcus Erythropolis*

Alchibalt Bima Putra Dzufakar¹, Endang Kusdiyantini², Sri Pujiyanto³,
Hermin Pancasakti Kusumaningrum⁴

^{1,2,3,4}Universitas Diponegoro, Kota Semarang

INFORMASI NASKAH

Diterima : 30 July 2022
Direvisi : 28 Maret 2023
Disetujui : 31 Maret 2023
Terbit : 31 Maret 2023

Email korespondensi:
bimaa300@gmail.com

Laman daring:
[https://doi.org/10.37525/
sp/2023-1/374](https://doi.org/10.37525/sp/2023-1/374)

ABSTRAK

Minyak solar adalah jenis bahan bakar untuk mesin diesel hasil pengolahan dari crude oil. Salah satu kandungan minyak solar yang menyebabkan berbagai masalah yaitu senyawa sulfur. Kandungan sulfur berlebih akan menyebabkan bau pada produk hasil pengolahan, nilai kalor yang dihasilkan dapat mengalami penurunan, menyebabkan sifat korosif pada peralatan pengolahan di kilang PPSDM Migas seperti pada kolom fraksinasi, tanki penyimpanan kilang, pipa distribusi, pompa, dan tanki penyimpanan kendaraan. Batas kandungan sulfur dalam minyak solar yang ditetapkan oleh Dirjen Migas yaitu sebesar 50 ppm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri *Rhodococcus erythropolis* melakukan biodesulfurisasi pada minyak solar, mengetahui aktivitas pertumbuhan bakteri *Rhodococcus erythropolis* dalam melakukan biodesulfurisasi minyak solar, dan mengetahui proses biodesulfurisasi apakah dapat menyebabkan korosivitas pada minyak solar. Metode yang digunakan adalah biodesulfurisasi growing cell menggunakan bakteri *Rhodococcus erythropolis*, pengujian sulfur dilakukan dengan metode ASTM D2622, dan pengujian korosivitas dengan metode ASTM D130. Perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi pada pH media pertumbuhan, variasi pada konsentrasi minyak solar, dan variasi pada lama waktu inkubasi. Pada penelitian ini bakteri *Rhodococcus erythropolis* berhasil menurunkan kandungan sulfur terbanyak pada minyak solar yang awalnya 2167,9 menjadi 1766,1 (ppm) dengan perlakuan pH 8. Proses biodesulfurisasi menyebabkan penurunan pada pH media yang awalnya 8,2 menjadi 7,1 dengan perlakuan pH 8.

Kata kunci: Minyak solar, Biodesulfurisasi, *Rhodococcus erythropoli*



PENDAHULUAN

Minyak solar (*Diesel oil*) merupakan salah satu bahan bakar minyak yang sangat dibutuhkan oleh manusia untuk membantu manusia dalam bekerja. Minyak solar berfungsi untuk menghidupkan mesin alat-alat proyek, menyalakan mesin-mesin diesel untuk transportasi, dan berguna untuk menghidupkan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Bahan bakar tersebut sudah melekat dan sangat dibutuhkan oleh manusia. Hal tersebut menyebabkan berbagai macam masalah yang dapat merusak berbagai ekosistem, peralatan, dan kesehatan. Masalah tersebut disebabkan oleh salah satu komponen minyak solar yaitu senyawa sulfur (Yu *et al.*, 2015). Komponen minyak solar yaitu terdiri dari karbon, hidrogen, sulfur, oksigen, nitrogen, dan logam.

Pemerintah telah menetapkan peraturan yang ditetapkan oleh Dirjen Migas (2020) bahwa mulai 1 April 2022 kandungan sulfur dalam minyak solar yaitu 50 ppm. Permasalahan yang terjadi pada minyak solar dengan kandungan sulfur yang tinggi diatas 50 ppm akan menyebabkan bau pada produk hasil pengolahan, nilai kalor yang dihasilkan dapat mengalami penurunan, menyebabkan sifat korosif pada peralatan pengolahan di kilang PPSDM Migas seperti pada kolom fraksinasi, tanki penyimpanan kilang, pipa distribusi, pompa, dan tanki penyimpanan kendaraan, menjadi polusi bagi lingkungan dengan menyebabkan masalah siklus hujan asam dengan efek bangunan dan kain menjadi rusak.

Salah satu solusi yang bisa diberikan adalah dengan melakukan desulfurisasi pada minyak solar. Desulfurisasi umumnya dilakukan dengan secara fisik dan kimia. Kelemahan desulfurisasi dengan cara fisik yaitu proses pemeliharaan alat dan suku cadang yang mahal dan susah untuk ditemukan. Kelemahan desulfurisasi dengan cara kimia yaitu bahan kimia yang digunakan mahal dan menentukan formulasi yang sangat susah karena perbedaan karakteristik minyak bumi yang menyebabkan perbedaan formulasi terjadi (Ibrahim *et al.*, 2017). Cara lain untuk melakukan desulfurisasi yaitu dengan agen biologi atau disebut biodesulfurisasi. Biodesulfurisasi merupakan proses mengeliminasi sulfur dengan ramah lingkungan yang menggunakan agen bakteri untuk memetabolisme sulfur organik.

Berdasarkan latar belakang tersebut peneliti ingin melakukan pengujian menggunakan bakteri *R. erythropolis* dalam mendesulfurisasi minyak solar produk kilang PPSDM Migas Cepu yang selama ini belum pernah dilakukan. Pengujian korosivitas *Copper Strip* (ASTM D130) juga dilakukan untuk mengetahui apakah minyak solar hasil biodesulfurisasi sifatnya berubah menjadi korosif. Sampel minyak solar yang digunakan diambil dari Kilang Produksi Solar PPSDM Migas Cepu.

Proses biodesulfurisasi pada bakteri *R. erythropolis* menggunakan jalur 4S. Jalur ini pertama kali dilaporkan dan dikarakterisasi dengan menggunakan bakteri *R. erythropolis* pada strain IGTS8 yang selama bertahun-tahun telah menjadi model yang paling umum diadopsi untuk studi biodesulfurisasi (Thompson *et al.*, 2020; Killbane dan Stark, 2016). Jalur 4S secara selektif memotong ikatan karbon sulfur pada minyak solar dengan jenis sulfur yaitu *dibenzothiophene* (DBT) dengan produk akhir yaitu *2-hydroxybiphenyl* (HBP) dan sulfit (SO_3^{2-}) (Aggarwal *et al.*, 2012). Terdapat tiga enzim utama pada jalur 4S yaitu DszC, DszA, dan DszB (Thompson *et al.*, 2020; Derikvand *et al.*, 2014; Killbane, 1990). DBT sebagai substrat awal diubah oleh enzim *monooksigenase* Dsz C yang bertugas mengoksidasi DBT menjadi DBT sulfon (DBTO₂). Langkah lanjutan yaitu enzim *flavomonooksigenase* Dsz A berfungsi untuk mengkatalis transformasi DBTO₂ menjadi *2,2' hidroksifenil benzena sulfinat* HPBS dan pada proses terakhir, HPBS didesulfurisasi oleh enzim Dsz B untuk menghasilkan *2-hidroksibifenil* (2-HBP) yang merupakan hasil akhir dari proses biodesulfurisasi menggunakan 4S (Thompson *et al.*, 2020; Derikvand *et al.*, 2014; Killbane, 1990). Senyawa 2-HBP dan sulfit (SO_3^{2-}) didefinisikan sebagai produk akhir metabolisme 4S dan terdapat enzim keempat Dsz D yang berfungsi untuk menyiapkan FMNH₂ yang digunakan untuk reaksi oksigenase (Aggarwal *et al.*, 2012). Aktivitas enzim dalam metabolisme 4S sangat bergantung pada kondisi kerja dan efisiensi proses biodesulfurisasi sehingga didapat hasil yang optimal dari parameter atau uji yang efektif (Derikvand *et al.*, 2014).



METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia PPSDM Migas Cepu dan Laboratorium Bioteknologi Universitas Diponegoro. Penelitian diawali dengan penumbuhan bakteri *R. erythropolis* dengan menggunakan media pertumbuhan NA selama 24 jam dan melakukan pengecatan Gram untuk mengetahui bahwa bakteri yang digunakan benar dan tidak terjadi kontaminasi. Bakteri *R. erythropolis* kemudian diinokulasikan ke media NB sebagai starter dalam proses biodesulfurisasi. Biodesulfurisasi dilakukan pada media NB yang ditambahkan minyak solar sebanyak 5% (v/v). Biodesulfurisasi dilakukan selama 7 hari inkubasi pada suhu 32°C dengan variasi pada pH 6, pH 7, dan pH 8. Pengujian sulfur dilakukan dengan metode ASTM D2622 menggunakan alat X-RAY TANAKA 700 dengan panjang gelombang 0,52 nm. Pengujian korosivitas menggunakan metode ASTM D130 *Copper Strip*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Peremajaan Bakteri *Rhodococcus erythropolis*



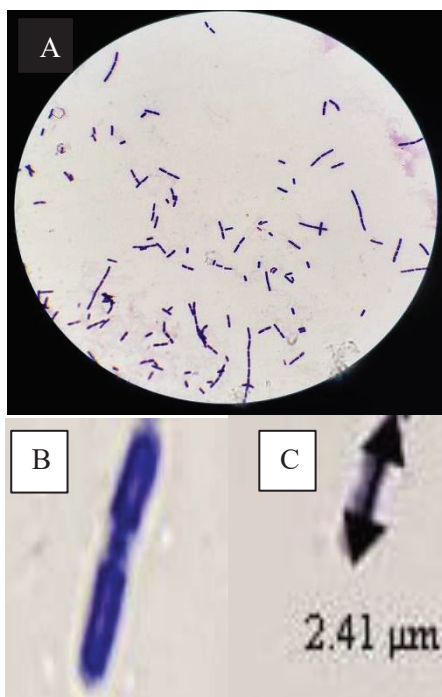
Gambar 1. Kultur bakteri *Rhodococcus erythropolis* hasil peremajaan inkubasi 24 jam

Penelitian diawali dengan melakukan peremajaan kultur bakteri *R. erythropolis* dari kultur stok (*stock culture*) pada media NA. Peremajaan bakteri *R. erythropolis* dilakukan untuk mendapatkan kultur bakteri baru dengan waktu inkubasi 24 jam hingga 48 jam dan siap digunakan penelitian. Bakteri *R. erythropolis* dipilih karena kemampuannya dalam melakukan biodesulfurisasi. Bakteri *R. erythropolis* yang efektif dalam melakukan biodesulfurisasi yaitu dari strain IGTS8 (Thompson *et al.*, 2020; Killbane dan Stark, 2016; Olmo *et al.*, 2005). Pertumbuhan bakteri *R. erythropolis* dengan media NA dan usia peremajaan satu hari (24 jam) menghasilkan koloni berwarna putih keruh, berbentuk bulat dengan pinggiran halus, permukaan menonjol dan cembung, dan tidak berfilamen. Hal tersebut sesuai dengan Banerjee *et al.* (2017) bahwa morfologi koloni bakteri *R. erythropolis* memiliki warna putih pucat dan berwarna oranye ke merah muda setelah 5-6 hari inkubasi, berbentuk bulat dengan pinggiran rata halus, cembung tinggi, tidak berfilamen.

B. Mikroskopik Bakteri *Rhodococcus erythropolis*

Bakteri *R. erythropolis* memiliki Gram positif dan memiliki bentuk basil pada Gambar 2 (B). Bakteri Gram positif memiliki dinding sel tunggal yang tebal dan tidak mudah ditembus oleh safranin. Gambar 2 (A) menunjukkan bakteri *R. erythropolis* pada mikroskop dengan perbesaran 1000X. Gambar 2 (C) menunjukkan bahwa bakteri *R. erythropolis* dengan strain JCM 3201 memiliki ukuran sel yaitu 2,41 μm . Pengukuran sel dilakukan dengan menggunakan aplikasi komputer dan alat optilab. Hal tersebut berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Nassar *et al.* (2021) bahwa hasil pengukuran sel bakteri *R. erythropolis* dengan strain HN2 adalah 3,71 μm . Perbedaan bisa disebabkan karena perbedaan strain bakteri *R. erythropolis* yang digunakan.

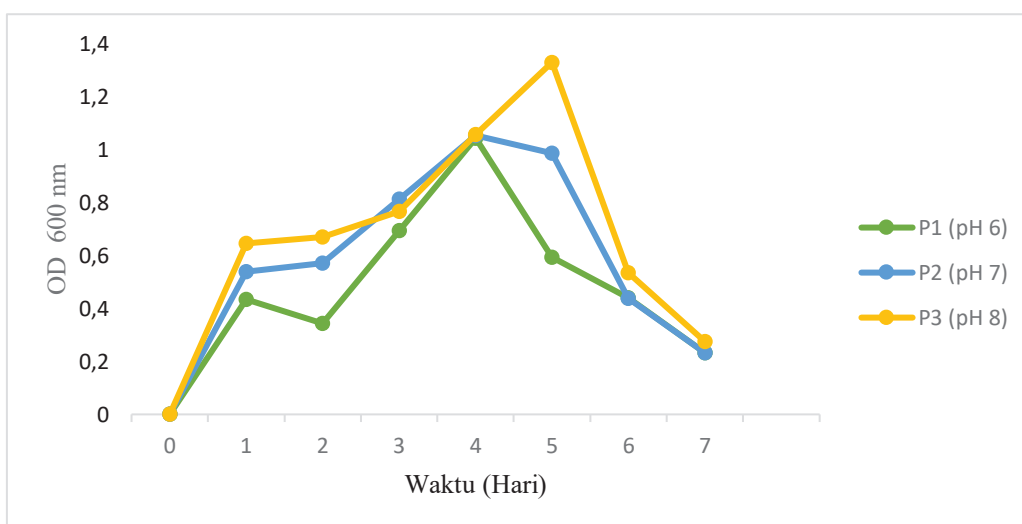




Gambar 2. Hasil pewarnaan Gram dan pengukuran sel bakteri *Rhodococcus erythropolis*

C. Pertumbuhan dan Biotransformasi *Rhodococcus erythropolis* pada Variasi pH Awal Media

Pertumbuhan dan biotransformasi pada variasi pH awal media yang ditambah konsentrasi minyak solar sebanyak 5% dengan bakteri *R. erythropolis* dalam media NB diketahui dengan melihat pola pertumbuhannya. Pertumbuhan diukur secara turbidimetri dengan spektrofotometer menggunakan Panjang gelombang 600 nm dari jam ke-0 (hari pertama) hingga jam ke-192 (hari ketujuh). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Chen *et al.*, (2021) yang melakukan biotransformasi menggunakan bakteri *Gordonia sp.* SC-10 dari 167.7 ppm menjadi 19.7 ppm, sebanyak 88.3% sulfur dihilangkan setelah 5 hari inkubasi.



Gambar 3. Pertumbuhan bakteri *Rhodococcus erythropolis* proses biotransformasi pada media dengan variasi pH

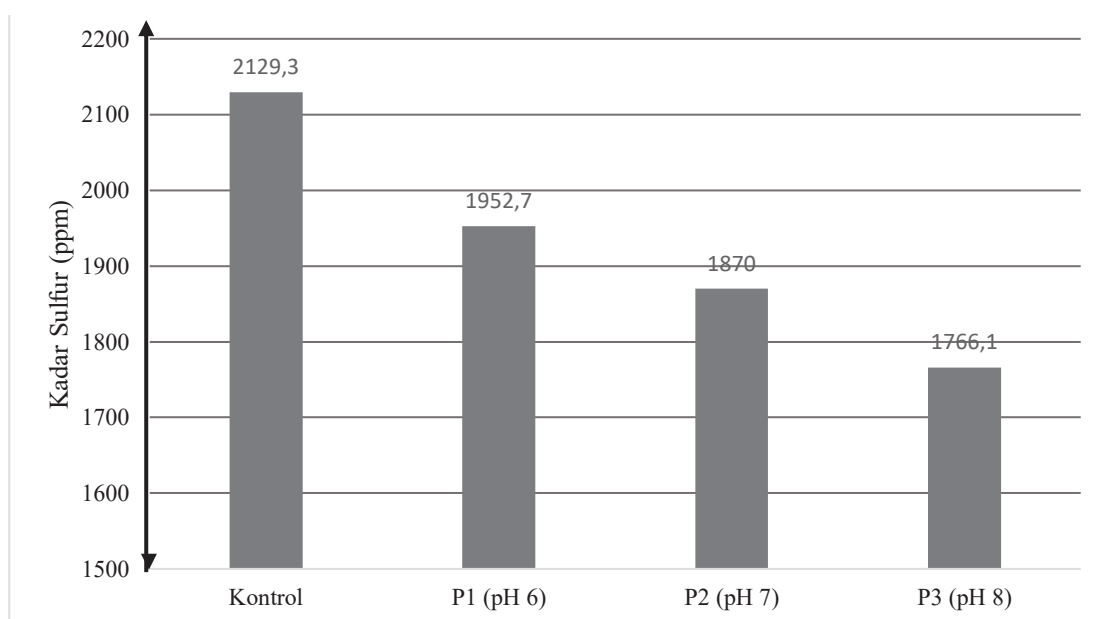
Pola pertumbuhan bakteri *R. erythropolis* dengan perlakuan pH memiliki hasil yang berbeda berdasarkan Gambar 3. Perbedaan disebabkan karena media saat inokulasi yang digunakan dibuat lebih cenderung basa pada perlakuan P3 dan cenderung asam pada perlakuan P1. Perlakuan P3 memiliki puncak pertumbuhan yang berbeda dan cenderung lama untuk mencapai puncak pertumbuhan apabila dibandingkan dengan perlakuan P1 dan P2. Hal tersebut disebabkan bakteri *R. erythropolis* tumbuh pada pH 5,5 – 8 dan suhu inkubasi yaitu 30-32° C (Hu *et al.*, 2019). Pertumbuhan kembali normal saat pH kembali ke optimum.

Pola aktivitas pertumbuhan pada P3 diketahui dari hari ke-1 hingga hari ke-5 terjadi fase log. Fase log adalah fase dimana bakteri aktif melakukan pertumbuhan dan juga menandakan nutrisi di dalam media media masih tersedia. Fase log pada perlakuan P3 diketahui memiliki aktivitas tertinggi diantara perlakuan lainnya dengan nilai absorbansi (1,329). Fase stasioner terjadi setelah hari ke-5 hingga hari ke-6 dimana fase tersebut ketersediaan nutrisi bakteri sudah mulai menipis dan proses pertumbuhan melambat bahkan berhenti. Fase kematian terjadi setelah hari ke-6 hingga hari ke-7 dimana proses biodesulfurisasi berhenti ditunjukkan dengan penurunan kurva mendekati 0.

Pertumbuhan pada P2 berdasarkan Gambar 3 diketahui pada hari ke-1 hingga hari ke-4 terjadi fase log dan aktivitas tertinggi terjadi pada hari ke-4 dengan nilai absorbansi (1,053). Fase stasioner terjadi setelah hari ke-4 dan hari ke-5. Fase kematian dimulai setelah hari ke-5 hingga hari ke-7 masa inkubasi yang menandakan proses biodesulfurisasi sudah berakhir.

Pertumbuhan pada P1 berdasarkan Gambar 3 diketahui pada hari ke-1 hingga hari ke-4 terjadi fase log, namun pada hari ke-2 terdapat penurunan aktivitas pertumbuhan bakteri. Aktivitas tertinggi terjadi pada hari ke-4 dengan nilai absorbansi (1,043). Fase stasioner terjadi setelah hari ke-4 dan hari ke-5. Fase kematian dimulai setelah hari ke-5 hingga hari ke-7 masa inkubasi yang menandakan proses biodesulfurisasi sudah berakhir.

Bakteri dapat tumbuh dengan baik pada media yang cenderung basa dibandingkan dengan media yang cenderung *asam*. Hal tersebut dikarenakan sifat asam dapat menghambat pertumbuhan dari bakteri. Sifat asam juga dapat menurunkan pertumbuhan sel, karena sel juga tidak dapat menahan pengaruh asam yang berlebihan (Pikoli *et al.*, 2013). Menurut Olmo *et al.*, (2005) bahwa kemampuan biodesulfurisasi yang optimal diperoleh pada pH basa. Hal tersebut juga dibuktikan dengan Gambar 4 pengukuran kandungan sulfur pada minyak solar.



Gambar 4. Kadar sulfur dalam minyak solar pada media awal berbagai pH



Hasil uji sulfur minyak solar dengan biodesulfurisasi menunjukkan penurunan sulfur pada semua perlakuan pH diketahui dari Gambar 4. Penurunan kadar sulfur dalam minyak solar terkecil didapat pada perlakuan P1 yang sesuai dengan hasil kurva pertumbuhan pada Gambar 3 bahwa tingkat keasaman yang rendah dapat menghambat pertumbuhan. Sifat asam mengakibatkan terganggunya bakteri *R. erythropolis* dalam melakukan biodesulfurisasi (Iqbal *et al.*, 2016; Adnyana *et al.*, 2016). Penurunan kadar sulfur dalam minyak solar tertinggi terdapat pada perlakuan P3 yang sesuai dengan hasil kurva pertumbuhan pada Gambar 3. Hal tersebut terjadi karena *sifat* basa dapat mengoptimalkan enzim yang bekerja pada proses biodesulfurisasi. Enzim yang terdapat dalam proses biodesulfurisasi dapat bekerja pada pH 6 hingga pH 10, dan optimal pada pH 8 (Ohshiro *et al.*, 1999).

Hasil analisis menggunakan ANOVA dengan Rancangan Acak Lengkap non-faktorial (*One Way ANOVA*) diperoleh bahwa proses biodesulfurisasi minyak solar dengan variasi pH^{b,c} dapat dilakukan dan menunjukkan berbeda nyata dengan *minyak* solar tanpa proses biodesulfurisasi^a. Hasil uji analisis ANOVA juga membuktikan bahwa pada variasi P1^b dan P2^b berbeda nyata dengan perlakuan P3^c (P<0,05).

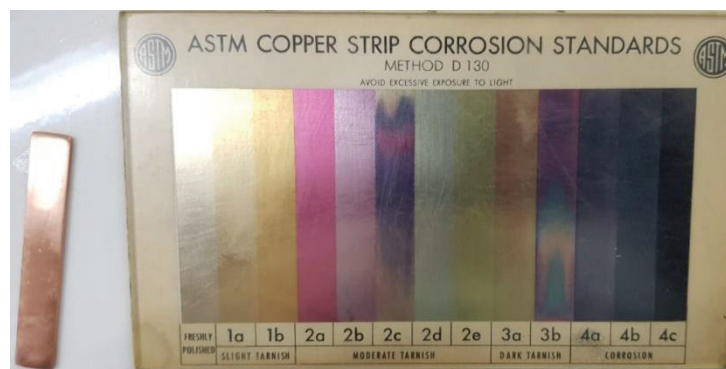
Pengukuran pH media pada *akhir* proses biodesulfurisasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan pH pada media pertumbuhan. Hasil pengukuran pH diketahui pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan pH awal dan akhir inkubasi pada variasi berbagai pH awal media

Perlakuan	Sebelum Biodesulfurisasi	Setelah Biodesulfurisasi	Selisih pH (Δ pH)
P1 (pH 6)	6,2	6,0	0,2
P2 (pH 7)	7,0	6,5	0,5
P3 (pH 8)	8,2	7,1	1,1

Pengukuran pH media pada akhir proses biodesulfurisasi dengan variasi pH awal media didapatkan hasil yaitu terjadi penurunan berdasarkan Tabel 1. Penurunan pH terjadi pada semua perlakuan variasi pH. Penurunan pH dalam suatu media diikuti dengan aktivitas pertumbuhan bakteri dalam media pertumbuhan (Yang *et al.*, 2018). Penurunan pH media disebabkan karena hasil akhir biodesulfurisasi (biomassa) yang terakumulasi yaitu 2-HBP dan ion-ion sulfid (SO_3^{2-}) (Guerrero *et al.*, 2020). Hasil penurunan pH pada perlakuan P1 sebanyak 0,2. Penurunan pH pada perlakuan P2 sebanyak 0,5. Penurunan pH pada perlakuan P3 sebanyak 1,1. Penurunan pH terbanyak didapatkan pada perlakuan variasi pH awal 8, karena pada perlakuan tersebut merupakan *pH* yang optimum bagi enzim dalam proses biodesulfurisasi (Ohshiro *et al.*, 1999). Media awal dengan P3 mampu membentuk lingkungan pertumbuhan awal pada bakteri terjaga dari sifat asam atau pH yang rendah.

Hasil uji korosivitas pada minyak solar hasil biodesulfurisasi variasi pH awal media mendapatkan kualifikasi standar grit 1a. Standar yang digunakan sesuai dengan ketentuan ASTM D130 yang menyatakan bahwa kualitas minyak solar pada grit 1a memiliki kualitas yang terbaik dan minyak solar tidak bersifat korosif atau netral. Hal tersebut ditunjukkan dengan warna plat tembaga setelah diujikan adalah berwarna oranye terang dan tampak lebih menyerupai dengan plat tembaga yang baru dibersihkan (Khair *et al.*, 2019). Hasil ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Uji Copper Strip perlakuan pH awal media

Minyak solar dengan variasi pH awal media aman dan terhindar dari air, asam, dan sulfur yang ada pada minyak solar. Hasil uji korosivitas ditentukan berdasarkan standar yang ditetapkan oleh ASTM D130 *Copper Strip*. Minyak solar hasil proses biodesulfurisasi yang diujikan terbebas dari sifat korosivitas dan aman apabila digunakan.

KESIMPULAN

Bakteri *R. erythropolis* mampu melakukan biodesulfurisasi pada minyak solar yang diketahui dari penurunan kadar sulfur pada minyak solar. Perlakuan pH 8 memiliki penurunan yang sangat banyak dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Proses biodesulfurisasi dengan bakteri *R. erythropolis* tidak berdampak korosif pada logam dan proses tersebut dapat menjaga kualitas minyak solar tetap baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, G. A. B. S, Gunam, I. B. W., & Anggraeni, A. A. M. D. (2016). Penentuan suhu dan sumber karbon terbaik pada pertumbuhan isolat SBJ8 dalam biodesulfurisasi dibenzotiofena. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 4(4): 43-48.
- Aggarwal, S., Karimi, I. A., Kilbane II, J. J., & Lee, D. Y. (2012). Roles of sulfite oxidoreductase and sulfite reductase in improving desulfurization by *Rhodococcus erythropolis*. *Molecular BioSystems*. 8(10): 2724-2732.
- ASTM International. (2016). ASTM D2622. *Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry*. United States : ASTM : International.
- ASTM International. (2019). ASTM D130. *Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test*. United States : ASTM : International.
- Banerjee, S., Joshi, S. R., Mandal, T., & Halder, G. (2017). Insight into Cr 6+ reduction efficiency of *Rhodococcus erythropolis* isolated from coalmine waste water. *Chemosphere*. 167(2017): 269–281.
- Chen, S., Zang, M., Li, L., Chen, J., Liu, Q., Feng, X., Sun, S., Zang, C., & Zhao, C. (2021). Efficient biodesulfurization of diesel oil by *Gordonia sp.* SC-10 with highly hydrophobic cell surfaces. *Biochemical Engineering Journal*. 174 (2021).
- Derikvand, P., Etemadifar, Z., & Biria, D. (2015). RSM optimization of dibenzothiophene biodesulfurization by newly isolated strain of *Rhodococcus erythropolis* PD1 in aqueous and biphasic systems. *Microbiology*. 84(1): 65–72.
- Guerrero, R. d. B. S., Diniz dos Santos, C. E., Soares, L. A., & Zaiat, M. (2020). Comparison



between two different fixed-bed reactor configurations for nitrogen removal coupled to biogas biodesulfurization. *Biochemical Engineering Journal*. 162(2020): 107716

- Hu, T., Yang, Y., Zhang, M., Gao, Y., Cheng, Q., & Ji, H. (2019). Biodesulfurization of coal using *Rhodococcus erythropolis* SX-12 and *Acidithiobacillus ferrooxidans* GF: A two-step approach. *Energy Science & Engineering*. 7(1): 162–169.
- Ibrahim, M. H., Hayyan, M., Hashim, M. A., & Hayyan, A. (2017). The role of ionic liquids in desulfurization of fuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 76(2017): 1534–1549.
- Khair, M. S. A., Brown, R. C. D., & Lewin, P. L. (2019). Sacrificial copper strip sensors for sulfur corrosion detection in transformer oils. *Measurement*, 148(2019): 1–6.
- Kilbane, J. J. (1990). Sulfur-specific microbial metabolism of organic compounds. *Resources. Conservation and Recycling*, 3(2-3): 69–79
- Kilbane, J. J. II, and Stark, B. (2016). Biodesulfurization: a model system for microbial physiology research. *World. J. Microbiol. Biotechnol.* 32(2016):137.
- Nassar, H. N., Ali, H. R., & El-Gendy, N. S. (2021). Waste prosperity: Mandarin (*Citrus reticulata*) peels inspired SPION for enhancing diesel oil biodesulfurization efficiency by *Rhodococcus erythropolis* HN2. *Fuel*. 294(2021): 1–16.
- Ohshiro, T., Kojima, T., Torii, K., Kawasoe, H., & Izumi, Y. (1999). Purification and characterization of dibenzothiophene (DBT) sulfone monooxygenase, an enzyme involved in DBT desulfurization, from *Rhodococcus erythropolis* D-1. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 88(6): 610–616.
- Olmo, C. H. del, Santos, V. E., Alcon, A., & Garcia-Ochoa, F. (2005). Production of a *Rhodococcus erythropolis* IGTS8 biocatalyst for DBT biodesulfurization: influence of operational conditions. *Biochemical Engineering Journal*. 22(3): 229–237.
- Pikoli, M. R., Astuti, P., Ahmad, F., & Solihat, N. A. (2013). Pengayaan- bertingkat dibenzothiophene pada sampel tanah pertambangan batubara untuk mengisolasi bakteri desulfurisasi. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 103–110
- Thompson, D., Cognat, V., Goodfellow, M., Koechler, S., Heintz, D., Carapito, C., Dorsselaer, A. V., Mahmoud, H., Sangal, V., Ismail, W. (2020). Phylogenomic classification and biosynthetic potential of the fossil fuel-biodesulfurizing *Rhodococcus* strain IGTS8. *Frontiers in Microbiology*. 11.
- Yang, E., Fan, L., Yan, J., Jiang, Y., Doucette, C., Fillmore, S., & Walker, B. (2018). Influence of culture media, pH and temperature on growth and bacteriocin production of bacteriocinogenic lactic acid bacteria. *AMB Express*. 8(1): 1–14.
- Yu, M., Zhang, N., Fan, L., Zhang, C., He, X., Zheng, M., & Li, Z. (2015). Removal of organic sulfur compounds from diesel by adsorption on carbon materials. *Reviews in Chemical Engineering*. 31(1): 27–43.