

## Efektivitas Bioaugmentasi dengan *Pseudomonas aeruginosa* pada Tanah Tercemar Minyak Bumi

Kevin Yudha Perwira<sup>1, a)</sup>, Herwin Lukito<sup>2, b)</sup> dan Agus Bambang Irawan<sup>3, c)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup>Jurusan Teknik Lingkungan/Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta

<sup>a)</sup>Corresponding author: kevinjudhaperwira@gmail.com

<sup>b)</sup>herwin.lukito@upnyk.ac.id

<sup>c)</sup>bambang.irawan@upnyk.ac.id

### ABSTRAK

Pencemaran minyak bumi berpotensi menimbulkan pencemaran ekosistem, tanah, dan air permukaan, karena kandungan hidrokarbonnya. Eksploitasi minyak dan gas bumi yang berlokasi di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur telah dilakukan secara konvensional sejak tahun 1893 dan menimbulkan dampak lingkungan baik abiotik, biotik, maupun sosial. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas bioaugmentasi dengan *Pseudomonas aeruginosa* untuk mengurangi konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* pada Desa Wonocolo. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimen laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* terbukti efektif dalam remediasi tanah tercemar tumpahan minyak bumi menggunakan metode bioaugmentasi yang dilakukan dengan menggunakan dua variabel yaitu 0,042 mL inokulum bakteri cair per gram tanah dengan tingkat efektivitas 45,72% dan 0,126 mL inokulum bakteri cair per gram tanah dengan tingkat efektivitas 48,69%.

**Kata Kunci:** *Pseudomonas aeruginosa*; bioaugmentasi; Wonocolo; *total petroleum hydrocarbon*

### ABSTRACT

*Petroleum contamination potentially caused ecosystem, soil and surface water pollution, due to its hydrocarbon content. Oil and gas exploitation that located in Wonocolo Village, Kedewan District, Bojonegoro Regency, East Java Province has been carried out conventionally since 1893 and caused environmental impacts both abiotic, biotic, and socially. Thus, this study was conducted to verify the effectiveness of bioaugmentation with Pseudomonas aeruginosa to reduce the concentration of Total Petroleum Hydrocarbon for controlling oil spilled for Wonocolo Village. The method applied in this research was laboratory experiments. The results showed that Pseudomonas aeruginosa bacteria was proved effective in remediating soil contaminated with petroleum spills using the bioaugmentation method which was carried out using two variables, 0.042 mL of liquid bacterial inoculum per gram of soil with an effectiveness level of 45.72% and 0.126 mL of liquid bacterial inoculum per gram of soil with an effectiveness level of 48.69%.*

**Keywords:** *Pseudomonas aeruginosa*; bioaugmentation; Wonocolo; *total petroleum hydrocarbon*

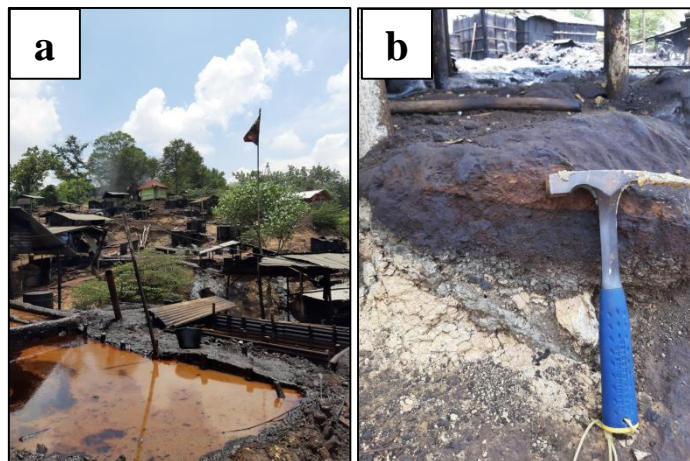
### PENDAHULUAN

*Crude Oil* (minyak mentah) adalah produk petroleum yang belum dimurnikan dan mengandung deposit hidrokarbon serta material organik lainnya. Kadar hidrokarbon dalam minyak mentah dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dikarenakan nilai kalor tinggi yang dimilikinya.

Berdasarkan data Indexmundi (2015), laju produksi migas di Indonesia dimulai sejak tahun 1980. Hal tersebut dikarenakan ditemukannya cadangan minyak yang tinggi di Indonesia. Terjadinya peningkatan produksi migas tersebut didorong oleh peningkatan kebutuhan energi di dunia perminyakan dan gas. Produksi migas di Indonesia pada fase awal tersebut tidak lepas dari tangan penjajahan Belanda. Hal tersebut terjadi karena pada fase tersebut, berdiri perusahaan-perusahaan migas asing di Indonesia seperti *Nederlands Indische Aardolie Maatschappij* (NIAM) dari Belanda, *Standard Oil for New Jersey*, serta *California Texas Oil* (Yogafanny dkk, 2013).

Sejak tahun 2003 tingkat produksi dan konsumsi migas di Indonesia mencapai keadaan yang hampir sama (berpotongan). Kemudian pada tahun-tahun selanjutnya tingkat kebutuhan migas mulai lebih tinggi dibandingkan produksinya. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan Indonesia akan impor migas.

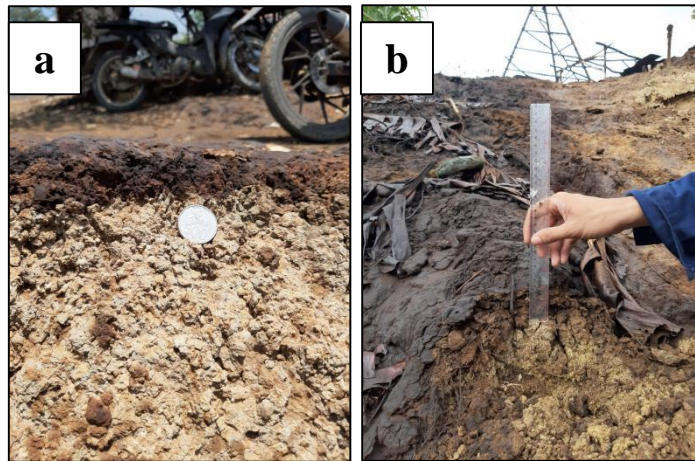
Hingga beberapa dekade terakhir, Blok Cepu, khususnya di Daerah Wonocolo dikelola oleh masyarakat secara tradisional. Keterbatasan dari peralatan yang digunakan oleh masyarakat Wonocolo tersebut membuat efisiensi dari proses produksi migas tersebut sangat rendah (Williams dkk, 2006). Salah satu bukti dari rendahnya efisiensi proses tersebut antara lain adalah adanya tumpahan minyak (*oil spill*) yang sangat tinggi pada tanah sekitar sumur produksi. Pencemaran tanah berupa tumpahan minyak tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**. Terlihat peralatan produksi migas secara tradisional yang tidak sesuai standard yang menyebabkan tingginya potensi ceceran minyak pada **Gambar 1 (a)**. Akibatnya terjadi pencemaran lingkungan oleh kegiatan produksi, baik di sekitar peralatan produksi maupun lingkungan sekitar area produksi (Sari dkk, 2018).



**Gambar 1.** (a) Kenampakan Peralatan Produksi yang Tidak Sesuai Standar di Desa Wonocolo  
(b) Pencemaran Tanah pada Sekitar Area Produksi di Desa Wonocolo  
Sumber: Penulis (2021)

Tumpahan minyak dari pemanfaatan peralatan sederhana dengan prosedur yang tidak mencukupi selama kegiatan eksploitasi tersebut mencemari tanah dan air permukaan di area penambangan, terutama pada sekitar sumur produksi. Kontaminasi menyebabkan kerusakan ekosistem, tanah, dan air permukaan, karena mengandung hidrokarbon minyak bumi, diukur sebagai *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*, yang beracun, mutagenik, dan karsinogenik (Liu dkk, 2012). TPH terdiri dari hidrokarbon alifatik dan aromatik yang terdiri dari rantai C5-35 dengan berbagai konfigurasi atom karbon struktural. Semakin kompleks struktur atomiknya, semakin hidrofobia senyawa hidrokarbonnya (Williams dkk, 2006). Hal tersebut membuat TPH menjadi sulit terdegradasi untuk mikroorganisme dan bertahan dalam tanah dan air (Nicolotti & Egli, 1998).

Karakteristik minyak mentah di Wonocolo yaitu memiliki viskositas yang tinggi dan densitas yang kecil. Menurut data penulis, densitas dari minyak mentah Wonocolo yaitu 0,90323 g/mL pada temperatur 60°C dan viskositas dari minyak tersebut adalah 8,23 cp pada temperatur 35,3°C. Minyak tersebut hanya terdapat pada permukaan tanah dikarenakan daya infiltrasi yang buruk, **Gambar 2**. Hal tersebut dapat dikarenakan viskositas minyak yang tinggi maupun porositas tanah yang tinggi.



**Gambar 2.** (a) Pencemaran Tanah oleh Minyak di Desa Wonocolo dengan Parameter Koin dengan Diameter 2,5 cm (b) Pencemaran Tanah oleh Minyak di Desa Wonocolo dengan Parameter Penggaris dengan Tebal 8,5 cm  
Sumber: Penulis (2021)

Penelitian yang dilakukan terdahulu (Bada dkk, 2012) menjelaskan bahaya kontaminasi tanah oleh tumpahan minyak terhadap komponen abiotik maupun biotik. Kadar TPH dalam tanah dapat memengaruhi kesuburan tanah dan berpengaruh kepada vegetasi dalam jangka waktu yang lama. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan akan remediasi tanah tercemar minyak guna menghilangkan kandungan minyak bumi.

Bioremediasi adalah penggunaan organisme hidup untuk mengurangi atau menghilangkan bahaya lingkungan akibat akumulasi bahan kimia beracun dan limbah berbahaya lainnya. Bioremediasi adalah opsi yang menawarkan kemungkinan untuk menghancurkan atau membuat berbagai kontaminan yang tidak berbahaya menggunakan aktivitas biologis alami. Selain itu, bioremediasi juga dapat digunakan bersamaan dengan berbagai teknologi fisik dan kimia tradisional untuk meningkatkan efektivitasnya. Bioremediasi pada dasarnya berfungsi pada biodegradasi, yang dapat merujuk pada demineralisasi lengkap dari kontaminan organik menjadi karbon dioksida, air, senyawa anorganik, dan protein sel, atau transformasi kontaminan organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana lainnya yang tidak merusak lingkungan (Speight & Arjoon, 2012). Hal tersebut membuat bioremediasi menjadi pilihan terbaik untuk mengatasi limbah organik seperti limbah petroleum (Balba dkk, 1998).

Proses penurunan kadar TPH terjadi karena rantai karbon dalam pencemaran akan disederhanakan oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sehingga akan lebih mudah terurai. Dikatakan dalam Neilson dan Allard (2007) bahwa tahap pertama dalam degradasi aerobik adalah epoksidasi dari alkena. Alkena merupakan ikatan karbon ganda yang sulit terurai dikarenakan ikatannya yang kuat. Alkena terdapat pada senyawa aromatik seperti benzena, sehingga senyawa aromatik merupakan senyawa yang tidak mudah terurai.

Bioaugmentasi adalah penambahan biakan mikroba pra-tumbuh untuk meningkatkan populasi mikroba di lokasi, guna meningkatkan remediasi polutan. Mikroba asli (*indigenous*) biasanya hadir dalam jumlah yang sangat kecil dan mungkin tidak dapat mencegah penyebaran kontaminan. Dalam beberapa kasus, mikroba asli tidak memiliki kemampuan untuk mendegradasi kontaminan tertentu (Atlas, 1991). Hal tersebut biasanya terjadi dikarenakan faktor abiotik dan faktor ketidakefektifan genetika bakteri asli dalam meremediasi cemaran dalam tanah. Bioaugmentasi pada umumnya melibatkan bakteri dengan potensi genetik untuk mereduksi spektrum TPH dalam tanah (Tahhan dkk, 2011). Oleh karena itu, bioaugmentasi memberikan cara untuk menambah mikroba spesifik dalam jumlah yang cukup untuk melakukan biodegradasi (Atlas, 1991).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menguji tingkat efektivitas bioaugmentasi dengan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* terhadap penurunan konsentrasi TPH pada tanah tercemar minyak bumi di Desa Wonocolo.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berupa *plot project*. Beberapa parameter dalam penelitian ini adalah warna tanah, *Total Petroleum Hydrocarbon*, konsentrasi bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, serta sifat fisik dan kimia tanah. Tanah tercemar hidrokarbon yang diambil berasal dari daerah eksploitasi migas Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur.

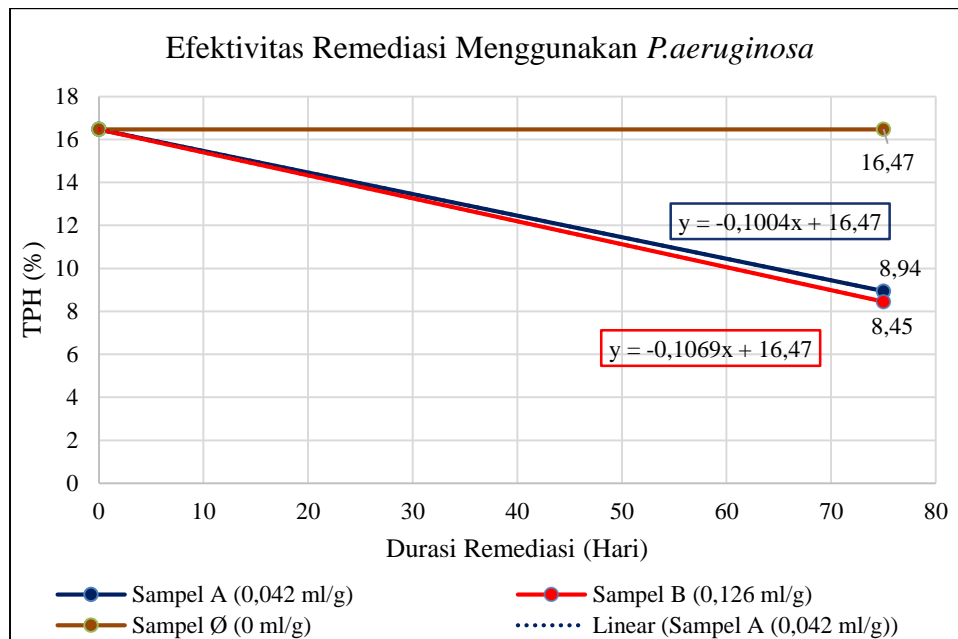
Metode eksperimen yang digunakan bertujuan untuk menguji efektivitas bakteri *P.aeruginosa* dalam remediasi tanah tercemar parameter TPH. Metode eksperimen ini dilakukan dengan *plot project* pada laboratorium dengan kondisi ruangan tertutup untuk mengurangi gangguan dari kontaminan yang tidak diinginkan. Eksperimen yang digunakan menggunakan dua variabel kontrol untuk menentukan efisiensi bakteri *P.aeruginosa* dalam meremediasi tanah tercemar TPH. Bakteri yang digunakan yaitu isolat bakteri *Pseudomonas aeruginosa* F2 ATCC 9027  $10^4$  CFU dengan dua variabel kontrol. Bak A berisi 0,042 mL inokulum bakteri cair per gram tanah dan Bak B berisi 0,126 mL inokulum bakteri cair per gram tanah. Bakteri ini kemudian diencerkan dengan *Grass-Fed Beef Bone Broth* 3g, pepton 5g, dan akuades 1L (Atlas, 2010). Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dapat mereduksi kadar TPH dengan reaksi monooksigenase dan dioksidase (Neilson & Allard, 2008), sehingga efektif dalam menguraikan limbah hidrokarbon.

Digunakan tiga wadah penampung tanah tercemar dengan luas dasar 35×50,5 cm dengan ketebalan tanah tercemar 5 cm. Penambahan nutrisi berupa C:N:P = 100:10:1 (Suja dkk, 2014) digunakan untuk mempercepat proses bioaugmentasi. Diberikan alas berupa spons dengan ketebalan 5 cm yang berguna sebagai tampungan *leachate* dari proses bioaugmentasi tersebut. Aerator diberikan untuk mempercepat proses bioaugmentasi karena *P.aeruginosa* merupakan bakteri aerob, sehingga memerlukan suplai oksigen yang banyak.

Analisis data efektivitas *Pseudomonas aeruginosa* menggunakan metode SNI 6989.10-2011 yang bertujuan untuk mengetahui kadar TPH dalam tanah. Sampel tanah yang digunakan yaitu tanah yang tidak diolah (Sampel Ø), tanah yang telah dilakukan bioremediasi dengan konsentrasi pertama (Sampel A), dan tanah yang telah dilakukan bioremediasi dengan konsentrasi kedua (Sampel B). Tiga sampel tersebut akan disajikan dalam diagram titik untuk memperlihatkan keefektifan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam meremediasi tanah tercemar TPH dengan parameter konsentrasi bakteri optimal dan interval waktu tertentu. Durasi dari penelitian ini yaitu 75 hari dengan total dua kali sampling, pada hari ke-0 dan hari ke-75.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian TPH dilakukan menggunakan metode SNI 6989.10-2011. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah tanpa pengolahan (sampel Ø) menunjukkan kadar TPH sebanyak 16,47%, yang artinya selama 75 hari tanah tersebut memiliki kadar TPH konstan yaitu 16,47%. Tanah dengan penambahan 0,042 mL inokulum bakteri cair per gram tanah (Sampel A) memiliki kadar TPH 8,94% dan tanah dengan penambahan 0,126 mL inokulum bakteri cair per gram tanah (Sampel B) memiliki kadar TPH 8,45%. Berdasarkan data tersebut, sampel A memiliki tingkat keefektifan 45,72% dan sampel B memiliki tingkat keefektifan 48,69%. Proses penurunan kadar TPH terjadi karena rantai karbon dalam pencemaran akan disederhanakan oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sehingga akan lebih mudah terurai. Reaksi yang dapat terjadi yaitu monooksigenase dan dioksidase (Neilson & Allard, 2008).



**Gambar 3.** Grafik Efektivitas Remediasi Menggunakan *P.aeruginosa*  
 Sumber: Penulis (2021)

Perbedaan konsentrasi TPH pada hari ke-75 pada sampel A dan sampel B tidak terlalu signifikan, meskipun perbandingan konsentrasi sampel A dan sampel B adalah 1:3. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan efisiensi dari kedua sampel. Sampel B memiliki kebolehdjian efisiensi yang kurang optimal dibandingkan sampel A. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi ketidakefisienan sampel B yaitu pH, kurangnya nutrient, kurangnya O<sub>2</sub>, maupun kurangnya kelembaban. Hal tersebut dapat diminimalisasi dengan pemantauan berkala dengan sampling dalam interval waktu tertentu.

**Tabel 1.** Hasil Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon menggunakan Bioaugmentasi dengan *Pseudomonas aeruginosa*

Sampel	Hari ke-0	Hari ke-75	Efektivitas
Sampel A	16.47%	8.94%	45,72%
Sampel B	16.47%	8.45%	48,69%

Sumber: Penulis (2021)

Berdasarkan KEPMENLH No.128 Tahun 2003, nilai baku mutu untuk TPH dalam tanah yaitu 1% atau 10.000 ppm. Nilai yang didapatkan dari pengujian laboratorium masih memiliki nilai yang jauh di atas baku mutu, sehingga masih perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Selain itu apabila dibandingkan dengan penelitian lainnya, interval remediasi yang telah dilakukan terlalu lama dengan hasil yang kurang baik pula. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tingginya nilai TPH pada tanah Wonocolo yang dapat disebut sebagai pencemaran ekstrem.

### KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisis dan evaluasi data yaitu inokulum bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0,126 ml/gr (B) lebih efektif dalam menurunkan kadar TPH tanah tercemar minyak di Desa Wonocolo dibandingkan Inokulum bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0,042 ml/gr (A). Efektivitas yang dicapai untuk masing-masing perlakuan adalah 45,72% untuk A dan 48,69% untuk B selama 75 hari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya Penulis ucapkan kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang telah berperan dalam kemajuan artikel ini, masyarakat Desa Wonocolo, dan keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R. M. (2010). Handbook of Microbiological Media. In *Handbook of Microbiological Media*.
- Bada, B. S., Olarinre, T. A., & Saheed Bada, B. (2012). Characteristics of Soils and Heavy Metal Content of Vegetation in Oil Spill Impacted Land in Nigeria PART I: Heavy Metals CHARACTERISTICS OF SOILS AND HEAVY METAL CONTENT OF VEGETATION IN OIL SPILL IMPACTED LAND IN NIGERIA. *Tosin Akinola*, 17.
- Balba, M. T., Al-Awadhi, N., & Al-Daher, R. (1998). Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *Journal of Microbiological Methods*, 32(2), 155–164.
- Liu, J., Liu, G., Zhang, J., Yin, H., & Wang, R. (2012). Occurrence and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil from the Tiefsa coal mine district, Liaoning, China. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(10), 2634–2642.
- Neilson, A. H., & Allard, A.-S. (2008). *Environmental Degradation and Transformation of Organic Chemicals*. CRC Press.
- Nicolotti, G., & Egli, S. (1998). Soil contamination by crude oil: Impact on the mycorrhizosphere and on the revegetation potential of forest trees. *Environmental Pollution*, 99(1), 37–43.
- Sari, G. L., Trihadiningrum, Y., & Ni'matuzahroh. (2018). Petroleum hydrocarbon pollution in soil and surface water by public oil fields in Wonocolo sub-district, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 19(2), 184–193.
- Speight, J. G., & Arjoon, K. K. (2012). Bioremediation of Petroleum and Petroleum Products. In *Bioremediation of Petroleum and Petroleum Products*
- Suja, F., Rahim, F., Taha, M. R., Hambali, N., Rizal Razali, M., Khalid, A., & Hamzah, A. (2014). Effects of local microbial bioaugmentation and biostimulation on the bioremediation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in crude oil contaminated soil based on laboratory and field observations. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 115–122.
- Tahhan, R. A., Ammari, T. G., Goussous, S. J., & Al-Shdaifat, H. I. (2011). Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(1), 130–134.
- Williams, S. D., Ladd, D. E., & Farmer, J. J. (2006). Fate and Transport of Petroleum Hydrocarbons in Soil and Ground Water at Big South Fork National River and Recreation Area, Tennessee and Kentucky, 2002-2003. *U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5104*, 1–29.
- Yogafanny, E., M.Th.Kristiati.EA, Utami, A., & Nandari, W. W. (2013). PENGELOLAAN LINGKUNGAN INDUSTRI MINYAK GAS DAN PANAS BUMI. *Africa's Potential for the Ecological Intensification of Agriculture*, 53(9), 1689–1699.