**PENGARUH PENAMBAHAN *BIOCHAR* TERHADAP
PENURUNAN KADAR *TOTAL PETROLEUM HYDROCARBON*
(TPH) PADA TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI**

**The Effect of Biochar Addition on the Decrease of Total Petroleum
Hydrocarbon (TPH) Level in Petroleum Contaminated Soil**

Aryo Sasmita*, Amalia Syakinah, Ulfatun Nisa

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Riau, Kampus Binawidya Jalan HR.Subrantas, Pekanbaru

*Penulis korespondensi: aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

Abstract

Hydrocarbons are compounds produced as a result of the activities of the petroleum industry, which can pollute the soil and waters. Due to the amount of waste, biochar from agricultural waste could potentially be used as a soil amendment agent for hydrocarbon contamination. The high lignocellulose in oil palm shells and empty bunches makes them potential raw materials for biochar. The purpose of this study was to explore the effect of biochar application on petroleum-contaminated soil to reduce Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) levels. In this study, the dosage of biochar was added to the soil contaminated with petroleum with a variation of 3%, 5%, and 7% (w/w) and control without the addition of biochar. The parameters analyzed were TPH levels by gravimetric method every week for four weeks. The results showed that the addition of biochar had an effect on the degradation of TPH. The greater the dose of biochar used, the higher the percentage of TPH degradation. The highest decrease in TPH levels occurred at the addition of biochar dose by 7%, where the empty shell was 60.65%, and empty bunches was 54.1% which was greater than without the addition of biochar by 32.79%.

Keywords: *biochar, empty palm fruit bunches, palm fruit shells, TPH*

Pendahuluan

Ketersediaan sumber daya alam minyak dan gas mendorong meningkatnya aktivitas kegiatan industri minyak bumi di Provinsi Riau. Salah satu kontaminan yang banyak dihasilkan dari aktivitas industri minyak bumi adalah senyawa hidrokarbon yang dapat mencemari tanah dan perairan (Yolantika *et al.*, 2015). Hidrokarbon dapat menyebabkan risiko lingkungan dalam sistem ekologi tanah seperti terhambatnya pertumbuhan tanaman, kerusakan terhadap struktur tanah, rusaknya kualitas air tanah, dan sebagainya (Han *et al.*, 2016). Oleh karena itu kontaminan tersebut harus diolah dan direduksi hingga konsentrasi nilai TPH kurang dari 1%. hal ini mematuhi baku mutu TPH yang boleh dikembalikan ke tanah berdasarkan KepMen

Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 128 Tahun 2003.

Saat ini telah berkembang di dunia penggunaan *biochar* dari limbah pertanian sebagai bahan pembenah tanah alternatif (Tang *et al.*, 2013). Saat *biochar* diberikan ke tanah, ketersediaan N dan P dalam tanah akan meningkat, karena mempunyai *biochar* mengikat unsur hara dan air (Airlangga *et al.*, 2020). Selain itu, *biochar* dapat menyerap senyawa *polycyclic aromatic hydrocarbon*, sehingga dapat menurunkan toksisitas pada tanah (Rutigliano *et al.*, 2014). Menurut Putri *et al.* (2017), penambahan nutrisi pada tanah yang dicemari minyak bumi, membuat terjadinya peningkatan jumlah unsur hara di tanah, akibatnya unsur hara di tanah terpenuhi. Tercukupinya nutrisi yang dibutuhkan untuk perkembangbiakan bakteri ini

akan menambahkan jumlah bakteri di tanah dan bisa mengoptimalkan proses degradasi TPH di tanah tercemar salah satunya adalah bakteri hidrokarbonoklastik (Handrianto, 2018).

Bahan baku biochar bisa diperoleh dari bahan - bahan dengan kandungan ligniselulosa, antara lain sisa tanaman berupa jerami dan sekam padi, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit dan sisa tanaman sagu, kayu dan pupuk kandang (Maguire and Agblevor, 2010).

Berdasarkan Dirjen Perkebunan Kementerian Pertanian (2019), Riau merupakan Provinsi dengan lahan sawit terluas yakni mencapai 2,74 juta hektar. Potensi limbah dari tanaman sawit sangat besar, namun belum banyak upaya yang dilakukan untuk pemanfaatan limbah padat, pada umumnya hanya dibuang ke lingkungan. Salah satunya adalah tandan kosong dan cangkang buah sawit. Jumlah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dihasilkan setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah mencapai sekitar 21-23% (Kresnawaty *et al.*, 2018). Tandan sawit kaya kandungan lignoselulosa dengan lignin 29,2%, hemiselulosa 21,6% dan selulosa 23,7% (Omar *et al.*, 2011), sedangkan cangkang kosong kelapa sawit terdiri atas 53,85% lignin, 26,16% hemiselulosa, dan 6,92% selulosa (Edmund *et al.*, 2014), sehingga keduanya dapat menjadi bahan baku pembuatan *biochar*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan *biochar* dari tandan kosong dan cangkang kelapa sawit dengan variasi dosis *biochar* terhadap penurunan kadar TPH pada tanah tercemar minyak bumi.

Bahan dan Metode

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat reaktor pirolisis, ayakan ukuran 40 *mesh* dan 60 *mesh*, reaktor penelitian berbahan plastik dengan panjang 12 cm, diameter 8 cm, dan tinggi 4 cm, pH meter, cawan porselen, erlenmeyer 250 ml, gelas ukur 100 ml, gelas kimia 250 ml, batang pengaduk, oven, desikator, dan timbangan analitik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah tercemar minyak bumi, TKKS dan cangkang buah sawit yang telah dipisahkan dari minyak sebagai bahan *biochar*, pupuk, bahan kimia untuk proses analisa

kadar TPH pada tanah, gas nitrogen, NaOH untuk aktivasi dan akuades.

Persiapan sampel tanah

Tanah yang digunakan adalah sampling tanah tercemar minyak bumi sebanyak 2 kg berasal dari lapisan tanah atas (top soil) pada kedalaman kurang dari 30 cm. Pada penelitian ini sampel tanah disaring menggunakan saringan lolos dari 60 mesh. Pengujian kadar karbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P) dilakukan pada sampel tanah terkontaminasi minyak bumi kemudian ditambahkan pupuk sehingga mendapatkan perbandingan C:N:P 100:10:1. Pupuk yang digunakan adalah pupuk urea dan pupuk TSP untuk menambahkan nitrogen (N) dan fosfor (P). Kemudian dilakukan pengujian karakteristik pada tanah yaitu uji kadar TPH, pH, suhu dan kadar air.

Pembuatan biochar

Bahan baku *biochar* diperoleh pabrik kelapa sawit di Jalan Garuda Sakti km. 18, Tapung, Kabupaten Kampar. Bahan baku dicacah kemudian dikeringkan dengan sinar matahari sampai kadar air $\pm 15\%$. Potongan bahan baku dimasukkan ke dalam pirolisator dan ditata. Proses pirolisis dilakukan dengan suhu pembakaran 500°C dalam waktu 2 jam. Selama pembakaran, mesin pirolisis dialiri gas N₂ sebanyak 100 ml menit⁻¹ untuk menghilangkan oksigen di dalam alat. Kemudian *Biochar* disaring sehingga menghasilkan ukuran <0,42 mm (40 *mesh*) dan tertahan di saringan ukuran 0,25 mm (60 *mesh*). *Biochar* diaktivasi dengan cara merendam *biochar* pada larutan NaOH 1 M dengan perbandingan rasio 1:2 (% berat/% berat) selama 10 jam pada suhu ruang. Larutan tersebut disaring dan dilakukan pencucian dengan akuades hingga pH 7. Kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam. *Biochar* yang dihasilkan kemudian dianalisis kadar air, kadar abu, *volatile matter*, serta kadar *fix carbon*nya dan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995).

Karakteristik dan perlakuan awal tanah tercemar minyak bumi

Uji karakteristik tanah dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi tanah telah sesuai dengan kondisi optimum dan ketentuan yang

telah ditetapkan. Karakteristik sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Data yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai pH, suhu, dan kelembaban telah sesuai dengan nilai optimum. Rasio nutrisi C:N:P pada sampel tanah belum sesuai ketentuan yang telah ditetapkan, sehingga dilakukan penambahan nutrisi sebelum tanah digunakan untuk penelitian.

Nutrisi yang digunakan pada penelitian ini adalah pupuk urea yang mengandung 46% nitrogen dan pupuk TSP yang mengandung 46% fosfor. Pada penelitian ini, ditambahkan 4,174 g pupuk urea dan 0,792 gr pupuk TSP. Kadar TPH pada tanah tercemar minyak bumi masih berada di atas nilai baku mutu yang ditetapkan KEPMEN LH No. 128 tahun 2003 tentang tatacara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah

terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis yakni harus lebih kecil dari 1%.

Pelaksanaan penelitian

Penelitian dilakukan di dalam 48 buah reaktor dari bahan plastik dengan panjang 12 cm, diameter 8 cm, dan tinggi 4 cm. Masing-masing reaktor terdiri atas 100 g tanah tercemar minyak bumi. Pada penelitian ini dilakukan penambahan dosis *biochar* pada tanah tercemar minyak bumi. Dosis *biochar* yang digunakan yaitu 3%; 5%; dan 7% dari berat sampel tanah. Dilakukan kontrol kadar air, pengujian pH, dan TPH setiap minggu selama 4 minggu. Pengujian TPH dilakukan 3 kali pengujian dan dirata-ratakan. Khusus minggu ke 4, agregat tanah dan *biochar* dipisahkan, menggunakan saringan 60 *mesh*, semua yang lolos saringan 60 *mesh* dianggap tanah, dan yang tertahan dianggap *biochar*.

Tabel 1. Karakteristik tanah awal yang digunakan untuk penelitian.

Parameter	Tanah	Titik Optimum untuk Degradasi Minyak Bumi*	KEPMEN LH No. 128 Tahun 2003
Unsur C:N:P	100:5,3:0,11	100:10:1	-
pH	6,9	6,5-8,0	-
Suhu (°C)	27,7	20-30	-
Kelembaban (%)	30	30-90	-
TPH awal (%)	3,05	-	<1%
Mikroba (MPN 100 ml ⁻¹)	1100	-	-

Sumber: *Vidali (2001).

Analisis dan pengolahan data

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kadar TPH dengan metode gravimetri. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel dan diplot ke dalam grafik pengaruh dosis *biochar* terhadap % *Removal* TPH dan waktu kontak. Untuk mengetahui % *Removal* TPH dapat dilihat dari hasil perhitungan dengan persamaan 1:

$$\text{TPH (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots \text{persamaan (1)}$$

Keterangan

- W₁ = berat vial akhir (dengan minyak hasil ekstraksi) (g)
- W₀ = berat vial awal (sebelum ekstraksi) (g)
- W_s = volume sampel (g kg⁻¹)

Untuk mengetahui % degradasi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan 2:

$$\% \text{Degradasi} = \frac{\text{TPH}_0 - \text{TPH}_n}{\text{TPH}_0} \times 100. \text{ persamaan (2)}$$

Keterangan:

- TPH₀ = TPH kontrol minggu ke-0
- TPH_n = TPH kontrol minggu ke-n

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh dosis *biochar* terhadap penurunan kadar TPH di tanah tercemar minyak bumi

Pengukuran konsentrasi TPH pada sampel tanah bertujuan untuk mengetahui kemampuan penambahan *biochar* dalam remediasi tanah

tercemar minyak bumi. Pengamatan dilakukan selama 28 hari dengan pengujian TPH yang dilakukan setiap 7 hari. Konsentrasi awal TPH sebelum diberi perlakuan sebesar 3,05% dan setelah diberi perlakuan dengan penambahan biochar mengalami penurunan. Gambar 1 menunjukkan bahwa penambahan biochar dari cangkang sawit berpengaruh pada tingkat

degradasi nilai TPH pada sampel tanah tercemar minyak bumi. Penurunan kadar TPH yang tertinggi terjadi pada penambahan biochar cangkang 7% yaitu % degradasi TPH sebesar 60,66%, sedangkan penurunan kadar TPH terendah terjadi pada kontrol (tanpa penambahan biochar) yaitu % degradasi TPH sebesar 32,79%.

Gambar 1. Penurunan konsentrasi TPH karena penambahan variasi dosis biochar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan penurunan TPH pada semua perlakuan. Penurunan tersebut tidak hanya disebabkan oleh penambahan dosis biochar, karena pada perlakuan tanah yang tidak diberikan penambahan biochar juga mengalami penurunan kadar TPH walaupun tidak sebesar penurunan dengan penambahan biochar. Semakin tinggi dosis biochar yang diberikan, berakibat penurunan nilai TPH juga menjadi lebih baik. Pada awal penelitian hingga hari ke-14 terjadi penurunan nilai TPH yang signifikan, sedangkan pada pengujian hari ke-21 dan ke-28 nilai TPH tidak mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini dapat terjadi karena penambahan nutrisi yang hanya dilakukan pada awal penelitian saja, sehingga kadar nutrisi tidak

mencukupi lagi pada akhir penelitian berlangsung. Menurut (Hidayat and Siregar, 2017) jika tidak adanya salah satu unsur, kondisi itu akan menghalangi perkembangan jumlah mikroba dan hasilnya tingkat penguraian terhambat. Hal ini yang menyebabkan mikroba tidak bekerja secara efektif lagi pada akhir penelitian sehingga penurunan kadar TPH tidak signifikan. Penurunan laju degradasi ini karena senyawa hidrokarbon yang masih tersisa, sukar untuk diuraikan mikroba. Secara alami hal ini disebabkan oleh faktor-faktor lingkungan, antara lain penguapan dan teremulsi dalam air (Juliani and Rahman, 2011). Biochar dari cangkang memiliki kinerja yang lebih baik daripada biochar dari TKKS namun tidak terlalu signifikan. Hal ini diperkirakan karena

kandungan lignin pada cangkang lebih tinggi dari pada di TKKS. Lignin mempunyai suhu dekomposisi yang lebih tinggi dari pada selulosa dan hemiselulosa yang menyebabkan nilai densitas dan struktur padatan lebih besar (Omar *et al.*, 2011). Hal ini yang diperkirakan berpengaruh terhadap besar pori yang terbentuk sebagai tempat terjadinya proses absorpsi TPH.

Adsorpsi TPH oleh biochar

Pada penelitian ini dilakukan uji kadar TPH di dalam biochar pada hari ke-28 dengan metode gravimetri. Pengaruh penambahan dosis biochar terhadap adsorpsi kadar TPH pada tanah tercemar minyak bumi oleh biochar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji kadar adsorpsi TPH pada biochar hari ke-28.

Dosis Biochar (%)	Adsorpsi oleh biochar TKKS (mg)	Adsorpsi oleh biochar Cangkang (mg)
3	11,23	3
5	18,75	5
7	28	14

Data yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin banyak dosis biochar maka semakin tinggi adsorpsi kadar TPH oleh biochar. Adsorpsi kadar TPH tertinggi terjadi pada penambahan biochar sebesar 7% yaitu 28 mg dari 3,05% TPH (3050 mg TPH), sedangkan adsorpsi kadar TPH terendah terjadi pada penambahan biochar sebesar 3% yaitu 11,25 mg dari 3,05% TPH (3050 mg). Hal ini sejalan dengan penelitian Arif *et al.* (2015) yaitu dengan peningkatan massa adsorben, akan

meningkatkan kemampuan adsorpsi. Dimana hal ini terjadi karena luas permukaan total dan jumlah pori yang berikatan dengan adsorbat juga turut meningkat.

Pengaruh biochar terhadap pertumbuhan mikroba

Pada penelitian ini dilakukan uji total mikroba dalam tanah tercemar minyak bumi pada tanah awal dan hari ke-28 dengan metode MPN (Most Probably Number). Pengaruh penambahan dosis biochar terhadap pertumbuhan mikroba dapat dilihat pada Tabel 3. Data yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin banyak dosis biochar maka semakin tinggi total mikroba di dalam tanah. Total mikroba tertinggi terjadi pada penambahan biochar sebesar 7% yaitu 3500 MPN 100 ml⁻¹, sedangkan total mikroba terendah terjadi pada penambahan biochar sebesar 3% yaitu 2800 MPN 100 ml⁻¹. Hal ini karena menurut (Kurniawan *et al.*, 2016) di dalam tanah, biochar tidak dikonsumsi mikroba tetapi menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah. Sehingga semakin banyak dosis biochar maka akan semakin banyak tempat hidup untuk mikroba. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah mikroba, semakin tinggi penurunan kadar TPH di dalam tanah tercemar minyak bumi. Penyebabnya ialah aktivitas mikroorganisme ketika memutus rantai hidrokarbon menghasilkan senyawa karbon, dimanfaatkan untuk keperluan metabolisme bagi bakteri tersebut (Nurjanah *et al.*, 2020). Kemudian hidrokarbon oleh bakteri melalui reaksi enzimatik, digunakan sebagai sumber karbon untuk mengubah hidrokarbon menjadi H₂O dan CO₂ (Susanti and Trinanda, 2020).

Tabel 3. Hasil uji total mikroba dalam tanah.

Dosis Biochar (%)	Hari Pengujian	Mikrobiologi (MPN 100 ml ⁻¹)	
		TKKS	Cangkang
Tanah Awal	0	1100	1100
0	28	2400	2600
3	28	2800	2900
5	28	3100	3400
7	28	3500	4100

Perbandingan efisiensi penurunan kadar TPH oleh adsorpsi biochar dan degradasi oleh mikroba

Pada penelitian ini, degradasi kadar TPH pada tanah tercemar minyak bumi disebabkan oleh adsorpsi oleh biochar dan degradasi mikroba di dalam tanah. Menghitung penurunan TPH oleh

adsorpsi biochar adalah dengan membandingkan nilai TPH di biochar dengan nilai TPH awal. Nilai degradasi PH oleh mikroba adalah % Degradasi TPH hari ke 28 dikurangi Adsorpsi TPH oleh Biochar. Perbandingan efisiensi penurunan kadar TPH antara adsorpsi dan degradasi oleh mikroba dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi penurunan kadar TPH pada sampel tanah tercemar.

Dosis Biochar (%)	Biochar TKKS			Biochar Cangkang		
	Penurunan TPH Total (%)	Adsorpsi Biochar (%)	Degradasi Mikroba (%)	Penurunan TPH Total (%)	Adsorpsi biochar (%)	Degradasi Mikroba (%)
3	34.43	0,369	34,061	40.98	0.984	39.996
5	41.80	0,615	41,185	49.18	1.639	47.541
7	54.10	0,918	53,182	60.65	4.590	56.060

Data yang disajikan pada Tabel 4 menunjukan bahwa tingkat efisiensi penurunan kadar TPH pada sampel tanah tercemar minyak bumi oleh mikroba lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi oleh adsorpsi biochar. Tingginya tingkat efisiensi penurunan kadar TPH oleh mikroba membuktikan bahwa semakin banyak penambahan biochar dari TKKS maka semakin tinggi tingkat degradasi TPH di dalam tanah tercemar minyak bumi.

Efisiensi penurunan kadar TPH oleh adsorpsi biochar dari TKKS lebih rendah karena adanya faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Menurut Cecen and Aktas (2012) proses adsorpsi dipengaruhi oleh jenis zat yang diserap. Menurut Arun *et al.* (2011), senyawa

hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi terdiri atas rantai hidrokarbon yang panjang dengan kandungan ratusan senyawa hidrokarbon berbeda. Hal ini membuktikan bahwa biochar dari TKKS tidak dapat mengadsorpsi senyawa hidrokarbon secara optimal karena senyawa hidrokarbon merupakan senyawa yang kompleks.

Pengaruh penambahan biochar terhadap perubahan pH tanah

Semakin tinggi penambahan dosis biochar, maka semakin cepat terjadi kenaikan pH. Kenaikan pH tercepat terjadi pada penambahan biochar sebanyak 7% dengan pH tertinggi yakni 7,2 (Gambar 2).

Gambar 2. Fluktuasi kondisi pH saat penelitian.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Endriani dan Sunarti (2013) bahwa dengan bertambahnya dosis biochar ke dalam tanah berefek pH tanah semakin meningkat. Menurut Si *et al.* (2021), pemberian biochar ke tanah akan berefek pengapuran untuk mengurangi kondisi masam tanah karena kandungan di biochar adalah bersifat alkalin. Pada minggu pertama, tanah kontrol mengalami penurunan pH. Menurut Tri Retno and Mulyana (2013), hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas konsorsium bakteri yang membentuk metabolit-metabolit asam, sehingga dapat menurunkan pH pada tanah. Pada penelitian ini perubahan pH sudah tidak terlihat pada 2 minggu terakhir. Menurut Ristiati *et al.* (2016), berubah-ubahnya pH indikasi terjadinya proses biodegradasi di tanah karena bakteri menguraikan senyawa hidrokarbon, menyebabkan pH yang terus-menerus. Pada penelitian ini perubahan nilai pH sudah tidak terlihat bisa saja karena sudah berkurangnya nutrisi di dalam tanah.

Kesimpulan

Penambahan biochar memberikan pengaruh terhadap degradasi TPH. Semakin besar dosis biochar yang digunakan semakin tinggi persen degradasi TPH. Penurunan kadar TPH tertinggi terjadi pada penambahan dosis biochar sebesar 7%, dimana pada cangkang kosong sebesar 60,65% dan tandan kosong sebesar 54,1% yang lebih besar daripada tanpa penambahan biochar sebesar 32,79%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen pabrik kelapa sawit di Jalan Garuda Sakti km. 18, Tapung, Kabupaten Kampar atas penyediaan TKKS sebagai bahan baku *biochar*.

Daftar Pustaka

Airlangga, S.S.D., Munir, M. dan Poniman, P. 2020. Pengaruh pemberian biochar terhadap beberapa sifat biokimia tanah dan pertumbuhan tanaman bawang merah pada lahan tercemar residu pestisida. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 8(1): 27-34, doi: 10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.4.
Arif, A.R., Saleh, A. dan Saokani, J. 2015. Adsorpsi karbon aktif dari tempurung kluwak (*Pangium*

edule) terhadap penurunan fenol. *Al-Kimia* 3(1): 34-47.
Arun, K., Ashok, M. and Rajesh, S. 2011. Crude oil PAH constitution, degradation pathway and associated bioremediation microflora: an overview. *International Journal of Environmental Sciences* 1(7): 1420-1439.
Cecen, F. and Aktas, O. 2012. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Wiley-VCH.
Direktur Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian. 2019. Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2017-2019.
Edmund, C.O., Christopher, M.S. and Pascal, D.K. 2014. Characterization of palm kernel shell for materials reinforcement and water treatment. *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* 5(1) 1-6, doi: 10.5897/JCEMS2014.0172.
Endriani, A. dan Sunarti. 2013. Pemanfaatan biochar cangkang kelapa sawit sebagai soil amandement Ultisol Sungai Bahar-Jambi. *Jurnal Penelitian Universitas Jambi Seri Sains* 15(1): 39-46.
Han, T., Zhao, Z., Bartlam, M. and Wang, Y. 2016. Combination of biochar amendment and phytoremediation for hydrocarbon removal in petroleum-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research* 23(21): 21219-21228, doi: 10.1007/s11356-016-7236-6.
Handrianto, P. 2018. Mikroorganisme pendegradasi TPH (*total petroleum hydrocarbon*) sebagai agen bioremediasi tanah tercemar minyak bumi. *Jurnal SainHealth* 2(2): 35-42.
Hidayat, A. dan Siregar, C.A. 2017. Telaah Mendalam tentang Bioremediasi: Teori dan Aplikasinya dalam Upaya Konservasi Tanah dan Air. IPB Press.
Juliani, A. dan Rahman, F. 2011. Bioremediasi lumpur minyak (*oil sludge*) dengan penambahan kompos sebagai bulking agent dan sumber nutrisi tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* 3(1): 1-18.
Kresnawaty, I., Putra, S.M., Budiani, A. dan Darmono, T. 2018. Konversi Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi arang hayati dan asap cair. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian* 14(3): 171-179, doi: 10.21082/jpasca.v14n3.2017.171-179
Kurniawan, A., Haryono, B., Baskhara, M. dan Tyasmoro, S.M. 2016. Pengaruh penggunaan biochar pada media tanam terhadap pertumbuhan bibit tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman* 4(2): 153-160.
Maguire, R.O. dan Agblevor, F.A. 2010. *Biochar in Agricultural Systems*. College of Agriculture and Life Science: Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Nurjanah, I., Mauludiyah, and Munir, M. 2020. Diesel oil degradation potential of hydrocarbonoclastic bacteria in Tanjung Perak port area. *Journal of Marine Resources and Coastal Management* 1(1): 31-38.
- Omar, R., Idris, A., Yunus, R., Khalid, K. and Aida Isma, M. I. 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. *Fuel* 90(4): 1536-1544, doi: 10.1016/j.fuel.2011.01.023.
- Putri, V.I., Mukhlis dan Hidayat, B. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU* 5(4): 824-828.
- Ristiati, N.P., Mulyadiharja, S. dan Putra, I.M.G.P. 2016. Uji Kemampuan Degradasi Minyak Solar oleh Konsorsium Bakteri Hasil Preservasi dengan Kombinasi Metode Liofilisasi dan Metode Gliserol. *Seminar Nasional MIPA*, Sumedang.
- Rutigliano, F.A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F. and Castaldi, S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal of Soil Biology* 60: 9-15, doi: 10.1016/j.ejsobi.2013.10.007.
- Si, H., Liang, X., Lu, J., Xiang, W., Li, Y., Wang, B., Wang, H., Tang, C., He, L. and Xin, H. 2021. Technology of acid soil improvement with biochar: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 692(4): 042098, doi: 10.1088/1755-1315/692/4/042098.
- Susanti, W.I. and Trinanda, R. 2020. Potensi bakteri asal tanah rizosfer, sedimen tanah, dan pupuk kandang sapi untuk biodegradasi minyak berat dan oli bekas. *Jurnal Tanah dan Iklim* 41(1): 37-44, doi: 10.21082/jti.v41n1.2017.37-44.
- Tang, J., Zhu, W., Kookana, R., and Katayama, A. 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 116(6): 653-659, doi: 10.1016/j.jbiosc.2013.05.035.
- Tri Retno, D.L. and Mulyana, N. 2013. Bioremediasi lahan tercemar limbah lumpur minyak menggunakan campuran bulking agents yang diperkaya konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 9(2): 139-150.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation: an overview. *Pure and Applied Chemistry* 73(7): 1163-1172.
- Yolantika, H., Priadnadi, dan Nurmiati. 2015. Isolasi bakteri pendegradasi hidrokarbon di tanah tercemar lokasi perbengkelan otomotif. *Jurnal Biologi Universitas Andalas* 4(3): 153-157.