

Original research

PEMBUATAN *BIOCHAR-SLOW-RELEASE-FERTILIZER* DARI LIMBAH PELEPAH KELAPA SAWIT

Arysa Wisnu Satria^{1*}, Dika Ariyanto¹, Hida Arliani N.A², Khaerunissa Anbar Istiadi²,
Dian Anggita Sari², Abdul Muhyi³, Alawiyah⁴

¹Program Studi Teknik Kimia ITERA ²Program Studi Biologi ITERA

³Program Studi Teknik Mesin ITERA ⁴UPT Konservasi Flora Sumatera ITERA

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

*Email: arysca.wisnu@tk.itera.ac.id

Abstrak

Industri kelapa sawit dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi lingkungan terkait dengan limbah cair dari industri pengolahan maupun limbah padat dari perkebunan. Limbah padat dari perkebunan kelapa sawit, seperti pelepah sawit, sesungguhnya dapat dimanfaatkan ulang menjadi biochar yang digunakan sebagai bahan pelapis *slow-release-fertilizer*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi komposisi, bahan pelapis, dan bahan perekat terhadap daya lepas nitrogen pada *biochar-slow-release-fertilizer*, serta mempelajari kinetika pelepasannya. Variasi yang digunakan adalah rasio biochar/bentonite 20%:80% – 80%:20%, jenis perekatnya asap cair dan minyak jarak, dan jumlah pupuk urea 30% massa total. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil optimum yang diperoleh untuk bahan perekat asap cair dan minyak jarak adalah berturut-turut pada rasio biochar/bentonite 50%:50% dan 60%:40%. Sedangkan hasil uji pelindian mendapatkan bahwa kedua formula tersebut mampu mempertahankan pelepasan nitrogen total hingga 28 hari, dibanding 13 hari untuk formulasi yang tidak dimodifikasi. Uji kinetika pelepasan menggunakan model Korsmeyer-Peppas menunjukkan bahwa mekanisme pelepasan kedua sampel tersebut mengikuti difusi Fickian.

Kata kunci : Asap Cair, Biochar, Minyak Jarak, Pelepah Sawit, Pupuk Pelepasan Lambat

Abstract

The palm oil industry can cause adverse impacts on the environment due to liquid waste from the processing industry and solid waste from plantations. Solid waste from oil palm plantations, such as palm fronds, can be reused into biochar as a slow-release-fertilizer coating material. This study aims to study the effect of variations in the composition of coating materials and binder materials on the release of nitrogen in biochar-slow-release-fertilizer and the kinetics of its release. The variations used were the biochar/bentonite ratio of 20%:80% – 80%:20%, liquid smoke and castor oil as a binder, and the amount of urea fertilizer of 30% of the total mass. The results showed that the optimum results for liquid smoke and castor oil binders were biochar/bentonite ratios of 50%:50% and 60%:40%, respectively. The leaching test found that those two formulas could retard total nitrogen release for up to 28 days, compared to 13 days for the unmodified formulation. Kinetic release analysis using the Korsmeyer-Peppas model showed that the release mechanism of these two samples followed Fickian diffusion.

Keywords: Biochar, Castor Oil, Liquid Smoke, Palm Fronds, Slow-Release-Fertilizer,

Pendahuluan

Industri kelapa sawit telah berkontribusi pada produksi limbah cair dan padat dalam jumlah besar dari pabrik pengolahan kelapa sawit dan lahan perkebunan. Sejumlah besar biomassa kelapa sawit dihasilkan karena minyaknya hanya dihasilkan sekitar 10% dari total biomassa yang dihasilkan (Ooi et al., 2017). Hanya sebagian dari limbah padat yang digunakan untuk aplikasi lain, sedangkan sebagian besar limbah padat yang dihasilkan saat ini tidak digunakan secara efektif. Pada akhirnya, pengelolaan biomassa kelapa sawit yang buruk dapat menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan.

Selain banyaknya limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit, terdapat juga limbah padat yang dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit dalam jumlah yang signifikan. Ada sejumlah besar pelepah kelapa sawit dari pemangkasan pohon setiap hari yang biasanya dibiarkan di kebun. Pada setiap siklus penanaman kembali (25-30 tahun), sejumlah besar batang dan pelepah kelapa sawit dihasilkan sebagai limbah, yang masing-masing berjumlah 75 ton dan 15 ton per hektar (Awalludin et al., 2015). Oleh karena itu, upaya saat ini difokuskan untuk meminimalkan jumlah pelepasan biomassa ke atmosfer dengan

mendaur ulang limbah untuk meningkatkan nilai potensinya.

Biomassa kelapa sawit dapat diproses melalui penggunaan langsung dan sarana fisik untuk menghasilkan bahan berbasis bio, seperti biochar, karbon aktif, papan serat dan komposit. Peluang untuk mengubah biomassa kelapa sawit lignoselulosa menjadi bahan berbasis bio telah dipelajari secara ekstensif. Torefaksi adalah proses yang digunakan untuk meningkatkan densitas energi biomassa dan menghasilkan biochar. Produksi biochar dari biomassa juga dapat dicapai melalui pirolisis lambat dan karbonisasi hidrotermal. Biochar dapat digunakan sebagai substitusi batubara, sekuesi CO₂, adsorben gas dan adsorben karbon aktif, serta pembenah tanah dengan menyediakan aerasi tanah dan ‘tempat berlindung’ bagi mikroorganisme tanah yang menguntungkan (Kambo & Dutta, 2015).

Dalam studi lain baru-baru ini, penerapan biochar untuk *Controlled-Release-Fertilizer* (CRF) meningkatkan retensi nitrogen dan efisiensi penggunaan oleh tanaman di lahan pertanian dengan cara mencampurkan urea dengan biochar, lempung bentonit dan sepiolit dalam bentuk granular. Studi ini menunjukkan bahwa pada uji pelindian selama 30 hari, pelepasan nitrogen kumulatif sebagai NH₄⁺-N dan karbon organik terlarut secara signifikan lebih kecil, yaitu 8% jika dibandingkan dari pupuk urea konvensional. Dalam kultur pot dengan penanaman jagung selama 50 hari, jumlah pucuk segar meningkat sebesar 14% dan akar segar sebesar 25% dibandingkan dengan pupuk urea konvensional (Shi et al., 2020).

Studi lain oleh (Wen et al., 2017) menggunakan biochar yang diradiasi gelombang mikro sebagai polimer superabsorben dari batang kapas, asam akrilik, asam 2-akrilamida-2-metilpropanasulfonat dan bentonit meningkatkan kapasitas retensi air tanah. Hasil menunjukkan bahwa *Biochar-Slow-Release-Fertilizer* (BSRF) dapat secara signifikan meningkatkan kapasitas menahan air dan menahan air tanah. Biochar secara efektif mengurangi laju pelepasan nitrogen (69,8% nitrogen dilepaskan setelah 30 hari), dan memiliki jumlah kehilangan nitrogen yang rendah (10,3%), jumlah kehilangan nitrogen yang bermigrasi ke permukaan (7,4%), dan efisiensi penggunaan

nitrogen yang tinggi (64,27%), sehingga secara efektif mendorong pertumbuhan tanaman kapas.

Oleh karena itu, pada kegiatan penelitian kerja sama antara ITERA dan PT Pertamina Hulu Energi (PHE) Jambi Merang dilakukan untuk membuat *Biochar-Slow-Release-Fertilizer* (BSRF) menggunakan bahan dasar limbah pelepah sawit di sekitar desa binaan PHE Jambi Merang di wilayah Kecamatan Bayung Lencir Kabupaten Musi Banyuasin. Pemanfaatan pelepah sawit ini menjadi biochar dalam pembuatan pupuk pelepasan lambat diharapkan dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan nilai ekonomi bagi masyarakat sekitar perkebunan sawit sekaligus dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jelutung pada lahan konservasi PT PHE Jambi Merang.

Metode

Penyiapan Bahan

Pelepah sawit yang masih basah dihancurkan dengan alat *chopper shredder* sehingga menghasilkan serbuk kayu kemudian dijemur di bawah sinar matahari sampai kering. Serbuk tersebut selanjutnya dilakukan proses torefaksi atau karbonisasi dalam reaktor pirolisis pada suhu 200 °C untuk menghasilkan biochar.

Pembuatan Slow-Release-Fertilizer

Biochar, bentonite (lempung), dan pupuk urea dicampurkan menggunakan bahan pengikat sambil digranulasi dalam alat granulator sesuai dengan perlakuan rancangan percobaan seperti yang telah disebutkan pada Tabel 1. Setelah terbentuk granular kemudian dilakukan pengayakan dengan saringan mesh untuk memisahkan bahan yang masih berbentuk serbuk. Hasil granul selanjutnya dikeringkan pada 60 °C selama 6 jam.

Tabel 1 Desain penelitian

Run	Rasio biochar/ bentonite	Jenis Perekat	Rasio pupuk
1	80%:20%	Asap cair	30%
2	60%:40%	Asap cair	30%
3	50%:50%	Asap cair	30%
4	40%:60%	Asap cair	30%
5	20%:80%	Asap cair	30%
6	80%:20%	Minyak jarak	30%
7	60%:40%	Minyak jarak	30%

Run	Rasio biochar/ bentonite	Jenis Perekat	Rasio pupuk
8	50%:50%	Minyak jarak	30%
9	40%:60%	Minyak jarak	30%
10	20%:80%	Minyak jarak	30%
11	Pupuk murni	-	-

Analisis Daya Leaching

Proses selanjutnya adalah pengujian sifat pelepasan nutrisi untuk mendapatkan formula terbaik dengan melakukan uji konsentrasi nutrisi terekstrak (*leaching*). Uji *leaching* dilakukan untuk mendapatkan waktu selama mungkin pada proses pelepasan atau difusi nutrisi dari pupuk granular ke tanah sehingga unsur hara tanaman dapat tertambat lebih lama di dalam media granularnya. Adapun unsur hara yang dianalisis adalah kadar nitrogen (N total). Hasil pengukuran ini selanjutnya digunakan untuk mengetahui pola kinetika pelepasannya menggunakan model kinetika Korsmeyer-Peppas, yaitu:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = kt^n \quad (1)$$

dimana M_t dan M_∞ adalah unsur hara dilepaskan pada waktu (t) dan pada kesetimbangan, k adalah konstanta sistem pupuk-matriks, dan n adalah karakteristik eksponen difusi dari mekanisme pelepasan dimana untuk difusi Quasi-Fickian adalah $n = 0,5$; transpor non-Fickian atau anomali $n = 0,5-1,0$ dan kasus II transpor $n = 1,0$ (Jamnongkan et al., 2010 dan Rasool et al., 2020). Persamaan Korsmeyer-Peppas digunakan untuk analisis model laju pelepasan dengan mencocokkan (*fitting*) data pelepasan urea dari percobaan ke persamaan. (Xiaoyu et al., 2013; Fu dan Kao, 2010). Konstanta kinetik (k) dan koefisien difusi (n) dihitung menggunakan *software*. Model laju pelepasan yang diperoleh dapat digunakan untuk prediksi mekanisme pelepasan urea dan jumlah urea dalam pelepasan sehingga pemanfaatan urea akan lebih efisien.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Granulasi

Pada penelitian ini dilakukan variasi rasio biochar/bentonite sebesar 80%:20% sampai dengan 20%:80% dengan interval 20%. Adapun

untuk perlakuan rasio pupuk sejumlah 30% massa campuran. Hasil pupuk granul yang dihasilkan untuk setiap variasi tersaji pada Gambar 1.

Secara visual terdapat kemiripan untuk setiap masing-masing jenis bahan perekat yang digunakan, yaitu penambahan jumlah bentonite akan menghasilkan butiran granul yang lebih besar. Hal tersebut dapat dilihat pada foto kelima dan kesepuluh dimana komposisi bentonite yang digunakan yang paling banyak, yaitu sebanyak 80% massa campuran. Sementara itu, dari foto tersebut juga terlihat bahwa penggunaan minyak jarak sebagai agen pengikat untuk membuat granul pupuk pada komposisi yang sama menghasilkan ukuran granul yang lebih besar. Hal ini sangat dimungkinkan karena sifatnya yang lebih viskos sehingga dapat mencapai ukuran yang lebih besar secara cepat.

Faktor utama yang menyebabkan terjadinya peningkatan ukuran granul adalah struktur jaringan bentonit yang membuat panjang lintasan untuk penetrasi pengikat (binder) meningkat (Xiaoyu et al., 2013). Sehingga semakin banyak bentonite yang digunakan, akan semakin mudah bahan pengikat masuk ke dalam pori-pori bentonite dan agregasi yang menyebabkan penurunan porositas bentonit (Kamalakar et al., 2011).

Hasil Uji Leaching

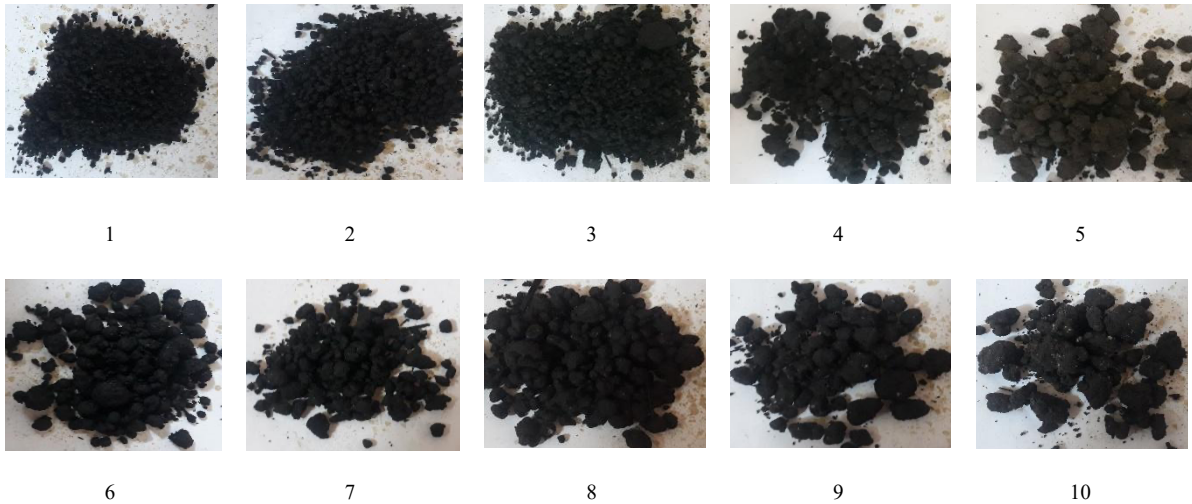
Hasil pengujian ekstraksi nutrisi selama tiga puluh hari dari kesepuluh sampel beserta sampel kontrolnya (pupuk murni) dapat dilihat pada Gambar 2. Kedua grafik tersebut memperlihatkan bahwa semua variasi perlakuan yang dilakukan mampu memberikan penahanan nutrisi yang lebih lama sehingga menghasilkan waktu pelepasan ke lingkungan yang lebih baik jika dibandingkan dengan sampel kontrol (pupuk murni). Khusus untuk variasi yang menggunakan asap cair sebagai perekat mendapatkan sampel ke-3 (rasio 50% biochar dan 50% bentonite) sebagai hasil terbaik dengan waktu release maksimal sampai dengan 28 hari.

Sedangkan untuk variasi dengan bahan perekat minyak jarak, hasil terbaik dicapai oleh sampel ke-7 (rasio 40% biochar dan 60% bentonite) untuk waktu release yang sama. Namun secara umum hasil rata-rata waktu

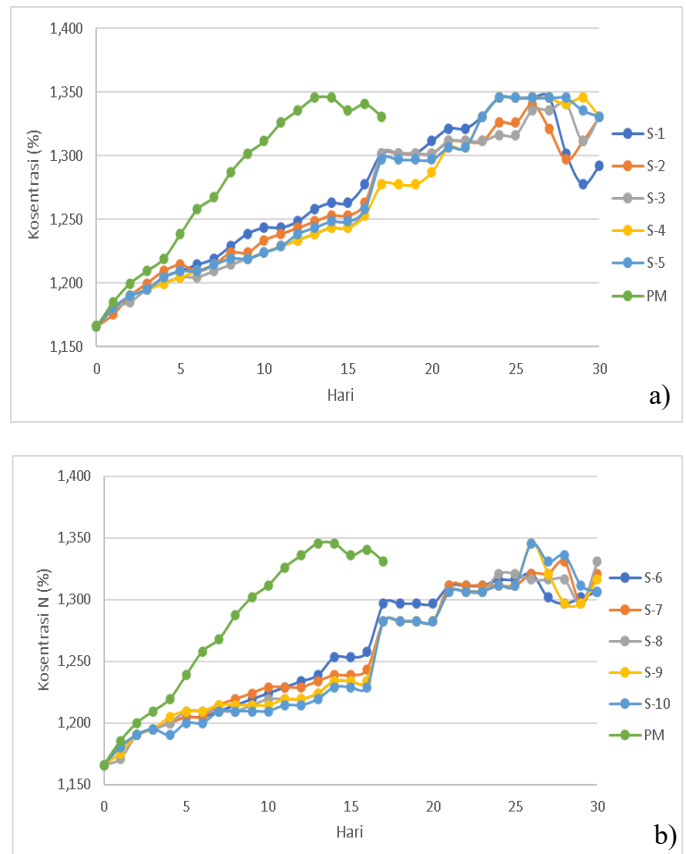
pelepasan nutrisi untuk perekat minyak jarak lebih lama dibanding perekat asam cair, yaitu berturut-turut sebesar 26 hari dan 24 hari. Hal ini disebabkan karena penggunaan minyak jarak yang bersifat hidrofobik mampu memberikan penghambatan proses difusivitas nutrisi pada matriks granular pupuk.

Secara pola kedua tipe perekat tersebut juga menunjukkan karakteristik yang sama

dimana proses pelepasannya ditandai dengan 3 tahapan, yaitu diffusion controlled, burst dan degradation release (Kau et al., 2014). Proses ledakan secara spesifik ditandai pada hari ke-16 dimana terjadi peningkatan yang sangat tajam terhadap konsentrasi nitrogen di dalam fase cair, yang kemudian diikuti oleh fase degradasi dimana pola pelepasannya cenderung lebih landau.



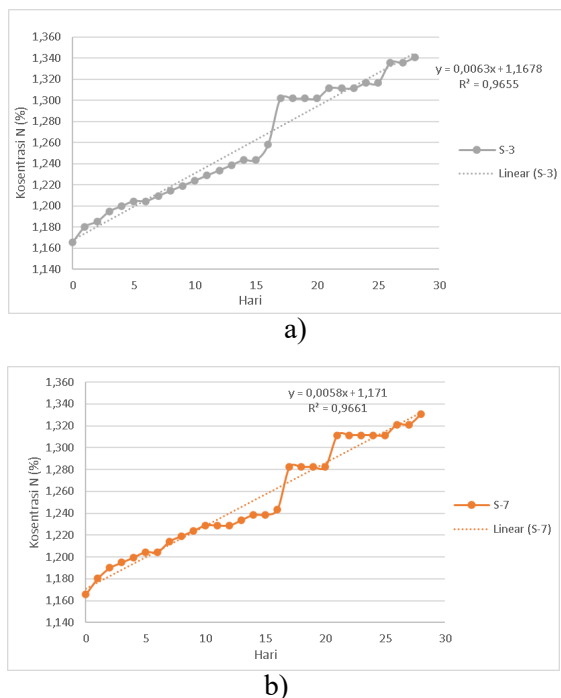
Gambar 1 Foto hasil pupuk granul untuk setiap formula sesuai dengan Tabel formula



Gambar 2 Profil pelepasan nutrisi untuk bahan perekat: (a) asap cair, (b) minyak jarak

Kinetika Release

Untuk memastikan hasil terbaik dari variasi setiap bahan perekat selanjutnya perlu dilakukan analisis kinetika pelepasan nutrisi dengan menggunakan model Korsmeyer-Peppas. Hasil linierisasi persamaan model tersebut untuk sampel terbaik (sampel ketiga dan ketujuh) tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3 Analisis kinetika pelepasan nitrogen a) sampel ketiga dan b) ketujuh

Dari kedua grafik tersebut di atas terlihat bahwa nilai konstanta regresi (k) dan koefisien difusi (n) untuk sampel ketiga diperoleh berturut-turut sebesar 1,1678 dan 0,0063, sedangkan untuk sampel ketujuh berturut-turut sebesar 1,171 dan 0,0058. Model kinetika untuk sampel ketiga dengan asap cair dan sampel ketujuh dengan minyak jarak berturut-turut adalah $1,1678t^{0,0063}$ dan $1,171t^{0,0058}$. Kedua hasil ini menunjukkan bahwa koefisien difusi (n) lebih kecil dari 0,45. Dengan demikian mekanisme pelepasan kedua sampel tersebut mengikuti difusi Fickian, yaitu terkait dengan gradien konsentrasi, jarak difusi, dan tingkat pembengkakan, seperti yang dilaporkan oleh Siepmann et al, (2008).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil bahwa biochar dari limbah pelepah sawit dapat digunakan sebagai bahan *slow-release-fertilizer* bersama dengan bentonite untuk jenis bahan pengikat asap cair dan minyak jarak. Hasil terbaik ditunjukkan pada formula dengan rasio biochar/bentonite sebesar 50%:50% untuk bahan pengikat asap cair dan rasio biochar/bentonite sebesar 40%:60% untuk bahan pengikat minyak jarak dimana waktu pelepasan keduanya sampai dengan 28 hari. Hasil uji kinetika menggunakan model Korsmeyer-Peppas menghasilkan persamaan berturut-turut adalah $1,1678t^{0,0063}$ dan $1,171t^{0,0058}$ yang menunjukkan bahwa mekanisme pelepasan keduanya mengikuti difusi Fickian, yaitu terkait dengan gradien konsentrasi, jarak difusi, dan tingkat pembengkakan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian inovasi *biochar-slow-release-fertilizer* dari limbah pelepah kelapa sawit ini bekerjasama dengan PT Pertamina Hulu Energi Jambi Merang sebagai pemberi bantuan dana riset.

Daftar Pustaka

- Awalludin, M. F., Sulaiman, O., Hashim, R., & Nadhari, W. N. A. W. (2015). An overview of the oil palm industry in Malaysia and its waste utilization through thermochemical conversion, specifically via liquefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1469–1484.
- Fu, Y., Kao, W.J., 2010. Drug release kinetics and transport mechanisms of non-degradable and degradable polymeric delivery systems. *Expert Op. Drug Del.* 7 (4), 429–444.
- Jamnongkan, T., & Kaewpirom, S. (2010). Controlled-release fertilizer based on chitosan hydrogel: phosphorus release kinetics. *Sci J UBU*, 1(1), 43–50.
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production,

- physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359–378.
- Kau YC, Liao CC, Chen YC, Liu SJ. (2014) Sustained Release of Lidocaine from Solvent-Free Biodegradable Poly[(d,l)-Lactide-co-Glycolide] (PLGA): In Vitro and In Vivo Study. *Materials (Basel)*. 16;7(9):6660-6676. doi: 10.3390/ma7096660.
- Ooi, Z. X., Teoh, Y. P., Kunasundari, B., & Shuit, S. H. (2017). Oil Palm Frond as a Sustainable and Promising Biomass Source in Malaysia: A Review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(6), 1864–1874. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ep.12642>
- Rasool, A., Ata, S., Islam, A., Rizwan, M., Khalid, M., Mehmood, A., Khan, U., & Qureshi, R. (2020). Kinetics and controlled release of lidocaine from novel carrageenan and alginate-based blend hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 67–78.
- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D. R. G., Munroe, P., Taherymoosavi, S., & Pan, G. (2020). Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of the Total Environment*, 701, 134424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134424>
- Siepmann, J., Siepmann, F., 2008. Mathematical modeling of drug delivery. *Int J Pharm* 364, 328–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2008.09.004>.
- Wen, P., Wu, Z., Han, Y., Cravotto, G., Wang, J., & Ye, B. C. (2017). Microwave-Assisted Synthesis of a Novel Biochar-Based Slow-Release Nitrogen Fertilizer with Enhanced Water-Retention Capacity. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 5(8), 7374–7382. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01721>
- Xiaoyu, N., Yuejin, W., Zhengyan, W., Lin, W., Guannan, Q., Lixiang, Y., (2013). A novel slow-release urea fertilizer: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosyst. Eng.* 115, 274–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.04.001>.