

KONTRIBUSI TANDAN KOSONG DALAM MENINGKATKAN PENGARUH PUPUK ANORGANIK TERHADAP PRODUKSI KELAPA SAWIT

Suprih Wijayani, Herry Wirianata*)

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Instiper Yogyakarta

*)Email korespondensi: her.wirianata@gmail.com

ABSTRACT

Sustainable intensification of oil palm plantations faces the challenge of decreasing soil fertility and increasing the price of inorganic fertilizers. Organic matter plays an important role in maintaining soil fertility. Empty fruit bunches (EFB) are the main co-product of palm oil mills that have the potential to be used as a source of organic matter and nutrient sources. This study aims to reveal the effect of the application of empty fruit bunches in increasing the effectiveness and substituting inorganic fertilizers for the components of oil palm production. The number of female inflorescence, the number of FFB and the average weight of FFB were observed for 3 years on palm aged 8, 9 and 10 years. Application of EFB + 70% recommended inorganic fertilizer. The recommended fertilizer was 8 kg per tree (N P K Mg 14-28-6-2 +0.5 B). EFB were applied as one layer of mulch with a size of 3x4 m on a dead net. The results showed that the application of empty bunches could increase the number of female flowers and the number of FFB in plants aged 9 and 10 years (1-2 years after application), while inorganic fertilizer-EFB was only at the age of 8 years (0 years after application) for both production components. FFB weight one year after application of EFB+70% inorganic fertilizer (age 9 years) was higher than 8 and 10 year aged plants. The application of EFB+70% inorganic fertilizer could increase the contribution of nutrients from fertilizers compared to the application of inorganic fertilizers solely.

Keywords: empty fruit bunch, yield component, inorganic fertilizer

PENDAHULUAN

Kesuburan tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam mempertahankan pertumbuhan tanaman secara memuaskan dalam jangka panjang dan hal ini ditentukan oleh proses fisik, kimia dan biologi yang pada hakekatnya berhubungan dengan kandungan dan mutu bahan organik (Panpatte *et al.*, 2019) Penurunan kesuburan tanah merupakan

tantangan perkebunan kelapa sawit dalam jangka panjang (Dislich *et al.*, 2017). Residu tanaman merupakan sumber bahan organik penting yang dapat memperbaiki siklus hara tanah. Beragam biomassa efektif dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia (seperti meningkatkan pH, kadungan hara dan air tanah). Aplikasi residu tanaman dapat dilakukan dalam bentuk segar, kompos maupun abu dengan cara dibenamkan, dicampur atau disebar di permukaan tanah (B. Singh & Rengel, 2007). Salah satu prinsip dalam RSPO dan ISPO adalah tanggung jawab lingkungan dan konservasi sumber daya alam dan keanekaragaman dengan salah satu kriteria *reduction, reuse, recycling* limbah dan metode pembuangan yang aman, sehingga manajemen limbah perlu mendapat perhatian khusus (Teong Lee & Ofori-Boateng, 2013).

Sebagai negara produsen minyak sawit terbesar dunia, Indonesia menghasilkan beragam *co-product* hasil pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit. TBS akan menghasilkan *co-product* yang terdiri atas 58% limbah cair, 21% tandan kosong (tandan kosong), 15% serat mesokarp dan 6% cangkang (Sung, 2016) atau dihasilkan sekitar satu ton tandan kosong dari satu ton CPO (Caliman *et al.*, 2001). Biaya pupuk mencapai 50-70% dari biaya operasional dan 25% dari biaya produksi minyak sawit (Goh & Hardter, 2003), sehingga terbuka peluang untuk memanfaatkan pupuk organik, seperti tandan kosong. Selain untuk pupuk, tandan kosong dipergunakan juga untuk mulsa tanah (*soil ameliorant*) atau dibakar yang abunya kaya unsur kalium (2,4%).

Aplikasi tandan kosong di lahan tidak hanya menambah K juga memperbaiki kesuburan tanah, terutama pada tanah yang miskin bahan organik. Semula tandan kosong dibakar dan abunya dipergunakan sebagai pupuk kaya K. Dengan meningkatnya biaya pupuk akibat naiknya harga bahan bakar fosil, tumbuhnya kesadaran lingkungan akan pencemaran udara dan emisi gas rumah kaca, maka tandan kosong diaplikasikan sebagai *soil amendment*. Dosis rekomendasi bervariasi 30 – 100 ton tandan kosong/ha/tahun dengan rata-rata 40 ton/ha/tahun. Kandungan yang terdapat dalam satu ton tandan kosong setara dengan 6,8 kg urea, 1,3 kg rock phosphate, 13,6 mg potash dan 2,5 kg kieserite (Sung 2016). Peneliti lain (Caliman *et al.*, 2001); (R. Singh *et al.*, 2010) menyatakan bahwa satu ton TBS mempunyai kandungan setara dengan 6-7 kg urea, 1,7 kg TSP, 2,8 kg RP, 16,3 kg KCl dan 3-3,4 kg kieserite.

Dekomposisi tandan kosong biasanya selesai dalam satu tahun tergantung pada pengelolaan dan interaksi antara tandan kosong dan tanah. Dekomposisi alami tandan kosong selesai setelah 10-12 bulan di kebun dengan 50% dan 70% tandan kosong berkurang (basis berat kering) dicatat pada 3 dan 8 bulan setelah diaplikasikan di bawah kanopi pohon dewasa. Laju dekomposisi dan pola pelepasan hara dari tandan kosong dipengaruhi oleh komposisi atau ukuran partikel tandan kosong dan faktor lingkungan, seperti suhu udara, hujan dan karakteristik tanah, termasuk KPK dan pH tanah (Yadvinder-Singh *et al.*, 2005).

Komposisi tandan kosong terdiri atas 20-30% hemiselulosa, 40-50% selulosa dan 15-20% lignin (Law *et al.*, 2007). Di antara penyusun ini, lignin yang merupakan polimer organik kompleks lambat mengalami dekomposisi dan menjadi penyumbang humus tanah (Rahman *et al.*, 2013). Penyusun ini berhubungan erat dengan aktivitas mikrobia dan jamur. Lebih lanjut, kandungan N berperan penting dalam dekomposisi bahan organik karena N mempengaruhi pertumbuhan dan *turnover* biomassa mikrobia yang berperan dalam mineralisasi C organik (Heal *et al.*, 1997). Aplikasi N dan P meningkatkan laju dekomposisi terutama pada tanah yang rendah kandungan kedua hara ini. Diduga aplikasi pupuk meningkatkan laju dekomposisi tandan kosong karena penambahan N yang tinggi meningkatkan aktivitas mikrobia. Meskipun diketahui banyak manfaat agronomis dan ekonomis tandan kosong sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit (Rosesnani *et al.*, 2016), namun pengaruhnya terhadap komponen produksi kelapa sawit perlu dikaji untuk jangka waktu menengah dalam hubungan dengan aplikasi pupuk anorganik. Penelitian ini memberikan informasi mengenai aplikasi mulsa tandan kosong dan pupuk anorganik terhadap komponen produksi kelapa sawit dalam jangka menengah (3 tahun).

METODE PENELITIAN

Untuk mengungkap peranan tandan kosong terhadap produksi kelapa sawit, percobaan dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit tahun tanam 2011 dengan populasi 136 pohon per hektar berlokasi di Kalimantan Tengah. Perlakuan yang diujiteliti adalah aplikasi tandan kosong + 70% dosis pupuk anorganik dan pupuk anorganik-tandan kosong. Aplikasi tandan kosong hanya satu kali (pohon umur 8 tahun) di gawangan mati (di antara dua pohon) dengan ukuran 3x4 m setebal satu lapis. Dosis pupuk 8 kg per pohon (NPKMg 14-28-6-2 +0,5 B). Masing-masing perlakuan tersebut diwakili 3 blok (luas blok 23 hektar) dengan jenis tanah podsolik merah kuning.

Sebagai sampel uji, semua pohon dalam baris terpilih dengan sampel baris berselang 10 baris (setiap blok 150 pohon sampel). Pengaruh aplikasi tandan kosong dievaluasi selama 3 tahun (umur pohon 8-10 tahun) dengan parameter berat TBS, jumlah TBS dan jumlah bunga betina. Analisis ragam dan regresi korelasi dipergunakan untuk mengungkap pengaruh tandan kosong terhadap parameter penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai tanaman tahunan dengan usia produktif 25 tahun, periode produksi kelapa sawit dibedakan atas *steep ascent yield phase* (*yield* meningkat), *plateau yield phase* (*yield* tertinggi dan stabil,) dan *declining yield phase* (*yield* turun) yang memasuki masa *replanting*. Durasi periode masing-masing fase bervariasi tergantung pada tingkat kesuburan tanah. Fase pertama berlangsung lebih cepat (pendek) pada tanah yang subur, sehingga fase

keduanya berlangsung lebih lama baru memasuki fase ketiga dan hal sebaliknya untuk tanah yang kurang subur. Aplikasi tandan kosong diteliti pada *plateau yield phase*, sehingga pengaruh umur terhadap variasi *yield* dapat diminimalisir.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan tonase TBS dengan jumlah bunga betina (X_1) dan jumlah TBS (X_2) mempunyai koefisien determinasi (R^2) sebesar 91,5 dan 88,9%. Hasil ini mengungkapkan adanya pengaruh yang besar dan nyata komponen hasil terhadap *yield* kelapa sawit. Diketahui juga, pengaruh nyata tersebut lebih erat pada kebun yang diaplikasi tandan kosong + 70% pupuk anorganik dibanding yang hanya diberi pupuk anorganik saja (Tabel 1).

Tabel 1. Hubungan berat TBS dengan jumlah bunga betina dan jumlah TBS kelapa sawit yang diaplikasi tandan kosong dan pupuk anorganik

Perlakuan	Persamaan regresi	R^2
Tandan kosong+70% pupuk anorganik	$Y = - 3,578 + 17.746 X_1 + 1.780 X_2$	91,5
Pupuk anorganik-tandan kosong	$Y = 9611,696 - 2 2,891 X_1 + 12,937 X_2$	88,9

Hasil tersebut menunjukkan unsur hara yang diberikan melalui pupuk menjadi faktor produksi utama dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit dengan kontribusi 88,9%. Efektivitas serapan hara yang berasal dari pupuk masih perlu ditingkatkan seiring dengan meningkatnya isu-isu lingkungan dalam bisnis minyak sawit dunia; dan harga pupuk semakin tinggi, sehingga diperlukan upaya-upaya untuk meningkatkan efektivitas pemupukan dan substitusi untuk pupuk anorganik. Aplikasi tandan kosong dapat menghemat penggunaan pupuk anorganik dan meningkatkan serapan hara. Tandan kosong mempunyai kontribusi yang lebih besar dalam meningkatkan efektivitas pupuk anorganik yang diberikan hanya 70% dari dosis rekomendasi sebagaimana dibuktikan oleh nilai R^2 91,5%. Donough, Witt, and Fairhurst (2009) menegaskan bahwa hasil kelapa sawit yang tinggi berhubungan lebih kuat dengan manajemen kultur teknis yang lebih baik daripada kondisi lingkungan yang lebih mendukung. Salah satu di antaranya adalah konservasi kesuburan dan air tanah (Comte *et al.*, 2012) yang diperkirakan dapat diperbaiki melalui pemberian bahan organik, termasuk tandan kosong.

Jumlah dan berat TBS merupakan komponen produksi kelapa sawit (tonase TBS). Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah bunga betina, jumlah maupun berat TBS mempunyai hubungan yang sangat erat pada perlakuan taknos+70% pupuk anorganik maupun yang hanya pupuk anorganik saja (Tabel 2). Dalam penelitian ini belum diketahui adanya *trade-off* antara jumlah TBS dan berat TBS, *trade-off* terjadi apabila ada persaingan antar-sink yang berpotensi mengurangi pasokan fotosintat maupun hara antara kedua komponen hasil tersebut. Aplikasi tandan kosong+70% pupuk anorganik maupun pupuk anorganik-tandan

kosong mampu menyediakan hara untuk mendukung pertumbuhan komponen produksi kelapa sawit selama tiga tahun. Jumlah bunga betina yang merupakan hasil determinasi seks terus tumbuh dan berkembang menjadi TBS dapat berlangsung tanpa adanya cekaman, sehingga semua komponen produksi ini mempunyai korelasi yang kuat dan saling mendukung.

Tabel 2. Keeratan hubungan antar komponen produksi kelapa sawit yang diaplikasi tandan kosong dan pupuk anorganik

Komponen Produksi	Tandan Kosong + 70% pupuk anorganik			Pupuk anorganik-tandan kosong		
	Jumlah bunga	Jumlah	Berat	Jumlah	Jumlah	Berat
	♀	TBS	TBS	bunga ♀	TBS	TBS
Jumlah bunga ♀	1	0,993*	0,957*	1	1,000*	0,940*
Jumlah TBS	-	1	0,952*	0	1	0,94*
Berat TBS	-	-	1	-	-	1

Aplikasi tandan kosong dan pupuk menghasilkan jumlah bunga betina yang berbeda antar-umur pohon. Pada umur 8 tahun, pupuk anorganik-tandan kosong menghasilkan bunga betina yang lebih banyak daripada tandan kosong+70% pupuk anorganik, kemudian tandan kosong+70% pupuk anorganik menghasilkan bunga betina yang lebih banyak pada pohon umur 9 dan 10 tahun dibanding yang hanya diberi pupuk anorganik saja (Tabel 3). Perbedaan respon tersebut karena manfaat tandan kosong tergantung pada tingkat dekomposisinya. Aplikasi kedua perlakuan pada tanaman umur 8 tahun. Pupuk anorganik dosis penuh mampu menyediakan unsur hara lebih cepat dan cukup, sehingga menghasilkan bunga betina yang lebih banyak pada tanaman umur 8 tahun daripada tandan kosong+70% pupuk anorganik. Sedangkan dekomposisi tandan kosong memerlukan waktu sekitar satu tahun sehingga manfaatnya baru diperoleh pada umur 9 dan 10 tahun (2-3 tahun setelah aplikasi). Menurut Khalid, Zin dan Anderson (2000) pelepasan hara dari tandan kosong dan pelepah yang dipangkas terjadi dengan laju yang berbeda dengan urutan $K > Ca > Mg > P = N$. Penelitian menunjukkan bahwa pelepasan K sebesar 90% dalam 6-12 bulan. Karena K terdapat dalam garam sulfat dalam jaringan tandan kosong, maka hara ini mudah tercuci dan kurang dipengaruhi oleh aktivitas mikrobia dan kualitas sumber bahan organik. Laju pelepasan K tergantung pada curah hujan selama proses dekomposisi.

Di samping sebagai substitusi pupuk anorganik, tandan kosong dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Kajian jangka pendek dan jangka panjang (10 tahun) menunjukkan bahwa perbaikan sifat kimia tanah ditunjukkan oleh indikator: karbon organik tanah, total nitrogen, KPK, dan P tersedia (Abu Bakar *et al.*, 2011); (Caliman *et al.*, 2001); (Comte *et al.*, 2013). Aplikasi tandan kosong juga memperbaiki beberapa sifat fisika tanah yang dihubungkan dengan penambahan karbon organik tanah dan pengaruh mulsa, sehingga permeabilitas tanah menjadi lebih baik (Caliman *et al.*, 2001); (Carron *et al.*, 2015), retensi air

lebih tinggi pada kapasitas lapang, stabilitas agregat tanah yang lebih baik dan erodibilitas rendah (Moradi *et al.*, 2015); (Zaharah & Lim, 2000). Oleh karena itu, tandan kosong dapat meningkatkan efektivitas serapan hara yang berasal dari pupuk anorganik yang diberikan, sehingga pengaruhnya terlihat selama dua tahun berturut-turut.

Tabel 3. Pengaruh tandan kosong dan pupuk anorganik terhadap jumlah bunga betina kelapa sawit per hektar

Perlakuan	Umur pohon (tahun)		
	8	9	10
Tandan kosong+70%pupuk anorganik	25,65 b	29,13 a	27,63 a
Pupuk anorganik-tandan kosong	31,17 a	24,69 b	20,59 b

Keterangan: rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada α 5%.

Jumlah bunga betina merupakan hasil determinasi seks yang berlangsung 5-15 bulan sebelumnya munculnya daun tombak (*spear*) atau 10-20 bulan sebelum terlihatnya bunga di ketiak pelepah. Setelah determinasi seks, bunga betina hingga TBS dipanen melalui dua fase kritis, yaitu : aborsi bunga yang terjadi 8-12 bulan sebelum antesis dan gagal tandan yang terjadi 1-4 bulan setelah antesis (Woittiez *et al.*, 2017). Ketiga fase kritis tersebut menentukan jumlah TBS yang akan dipanen (atau dua fase kritis terakhir yang menentukan bunga betina akan dipanen sebagai TBS). Aplikasi tandan kosong+70% pupuk anorganik menghasilkan jumlah TBS yang lebih banyak daripada pupuk anorganik-tandan kosong pada umur 9-10 tahun (2 tahun setelah aplikasi tandan kosong) (Tabel 4). Sebagai sumber bahan organik, tandan kosong mampu memperbaiki sifat-sifat tanah yang berperan dalam meningkatkan jumlah TBS pada umur 9 dan 10 tahun, diperkirakan memperbaiki kemampuan tanah menahan air dan serapan hara. Penelitian Rosesnani *et al.* (2016) menunjukkan bahwa aplikasi 170 kg tandan kosong per pohon berpengaruh nyata terhadap sifat kimia, meliputi pH, kandungan N, K, Mg dan Ca tanah. K tertukarkan lebih tinggi karena aplikasi tandan kosong, akibat pelepasan K sulfat selama proses dekomposisi. Kandungan N lebih tinggi perlakuan tandan kosong yang diberi ataupun tidak pupuk anorganik dibanding yang hanya diberi pupuk anorganik saja.

Tabel 4. Pengaruh tandan kosong dan pupuk anorganik terhadap jumlah TBS kelapa sawit per hektar

Perlakuan	Umur pohon (tahun)		
	8	9	10
Tandan kosong+70%pupuk anorganik	32,07 b	36,42 a	34,53 a
Pupuk anorganik-tandan kosong	38,97 a	30,86 b	25,74 b

Keterangan: rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada α 5%

Hasil penelitian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa aplikasi tandan kosong+70% pupuk anorganik menghasilkan rerata berat TBS yang lebih besar hanya pada tanaman umur 9 tahun (dua tahun setelah aplikasi) sedangkan pada umur 8 dan 10 tahun pupuk anorganik 100% lebih baik. Pertumbuhan biomassa tandan memerlukan N, diperkirakan N dari pupuk dosis 70% belum mencukupi untuk kebutuhan pertumbuhan tandan pada pohon umur 8 tahun, dan N dari pupuk atau tanah menjadi sumber N bagi mikrobia dekomposer, sehingga ketersediaannya untuk tanaman masih lebih rendah. Pelepasan N terbanyak terjadi satu tahun setelah aplikasi (tanaman umur 9 tahun), sehingga dapat memenuhi kebutuhan untuk berbagai tahap pertumbuhan TBS.

Tabel 5. Pengaruh tandan kosong dan pupuk anorganik terhadap rerata berat TBS kelapa sawit (kg/tandan)

Perlakuan	Umur pohon (tahun)		
	8	9	10
Tandan kosong+70%pupuk anorganik	13,67 b	14,42 a	15,28 b
Pupuk anorganik–tandan kosong	13,92 a	13,91 b	15,52 a

Keterangan: rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada α 5%

Pada umur 10 tahun, rerata berat TBS pada perlakuan tandan kosong+70% pupuk anorganik lebih rendah daripada pupuk anorganik dosis 100–tandan kosong. Penurunan kandungan N di akhir penelitian ini disebabkan penguapan N, denitrifikasi (Sommer *et al.*, 2004) dan penyerapan kelapa sawit serta adanya potensi kompetisi antara kelapa sawit dan mikrobia tanah.

Adanya pola yang hampir sama antara antar komponen produksi yang diamati menunjukkan aplikasi tandan kosong dapat mendukung kelapa sawit melalui fase kritis mulai dari determinasi seks, aborsi bunga, hingga gagal tandan. Aplikasi tandan kosong merupakan komponen *best management practices* untuk memperbaiki pertumbuhan dan produktivitas kelapa sawit sambil meminimalisir pengaruh negatif terhadap lingkungan sangat penting untuk intensifikasi kelapa sawit secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Aplikasi tandan kosong bersama 70% pupuk anorganik dapat meningkatkan keragaan komponen produksi (jumlah bunga betina dan jumlah TBS) kelapa sawit satu-dua tahun setelah aplikasi. Selain mensubstitusi pupuk anorganik, tandan kosong dapat memperbaiki hubungan keharaan kelapa sawit sehingga memperbaiki serapan hara yang berasal dari pupuk anorganik di perkebunan kelapa sawit. Aplikasi tandan kosong dapat meningkatkan kontribusi dan mensubstitusi pupuk anorganik dalam meningkatkan jumlah bunga betina, jumlah TBS dan berat TBS kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada M. Nurdiansyah atas bantuan teknis dalam pengumpulan data penelitian di perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar, R., Darus, S. Z., Kulaseharan, S., & Jamaluddin, N. (2011). Effects of ten year application of empty fruit bunches in an oil palm plantation on soil chemical properties. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 89, 341–349.
- Caliman, J. P., Budi, M., & Saletes, S. (2001). Dynamics of nutrient releases from empty fruit bunch in field conditions and soil characteristics changes. *Proceedings of the 2001 PIPOC International Palm Oil Congress, MPOB*, 550–556.
- Carron, M. P., Pierrat, M., & Snoeck, D. (2015). Temporal variability in soil quality after organic residue application in mature oil palm plantations. *Soil Res*, 53, 205–215.
- Comte, I., Colin, F., Grünberger, O., Follain, S., Whalen, J. K., & Caliman, J. P. (2013). Landscape-scale assessment of soil response to long-term organic and mineral fertilizer application in an industrial oil palm plantation. *Indonesia Agric Ecosyst Environ*, 169, 58–68.
- Comte, I., Colin, F., Whalen, F., Grünberger, O., & Caliman, J. P. (2012). Agricultural Practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient flux and water quality in Indonesia : *Advances in Agronomy*, 116, 71–124.
- Dislich, C., Keyel, A. C., Salecker, J., Meyer, Y., Auliya, K. M., & Wiegand, M. K. (2017). A review of the ecosystem functions in oil palm plantations, using forests as a reference system. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 49, 1539–1569.
- Donough, C. R., Witt, C., & Fairhurst, T. H. (2009). Yield intensification in oil palm plantation through best management practices. *Better Crops*, 93, 12–14.
- Goh, K. J., & Hardter, R. (2003). General oil palm nutrition. In T. Fairhurst & R. Hardter (Eds.), *Oil palm: Management for Large and Sustainable Yields* (pp. 191–230). Potash &

Phosphate Institute of Canada and International Potash Institute.

- Heal, O. W., Anderson, J. M., & Swift, M. J. (1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In G. Cadish & K. E. Giller (Eds.), *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition* (pp. 3–30). CAB International.
- Khalid, H., Zin, Z. Z., & Anderson, J. M. (2000). Nutrient cycling in an oil palm plantation: the effects of residue management practices during replanting on dry matter and nutrient uptake of young palms. *Journal of Oil Palm Research*, 12, 29–37.
- Law, K. N., Daud, W. R. W., & Ghazali, A. (2007). Morphological and chemical nature of fiber strands of oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). *BioResources* 2, 351–362, 2, 351–362.
- Moradi, A., Teh Boon Sung, C., Goh, K. J., Hanif, A. H. M., & Ishak, C. F. (2015). Effect of four soil and water conservation practices on soil physical processes in a non-terraced oil palm plantation. *Soil Tillage Res.*, 145, 62–71.
- Panpatte, D. G., Yogesheari, K., & Jhala, K. (2019). *Soil Fertility Management for Sustainable Development*. Springer.
- Rahman, M. M., Tsukamoto, J., Rahman, M. M., Yoneyama, A., & Mostafa, K. M. (2013). Lignin and its effects on litter decomposition in forest ecosystems. *Chemistry and Ecology*, 29(6), 540–553. <https://doi.org/10.1080/02757540.2013.790380>
- Rosesnani, A. B., Rbuni, W., Cheah, P. ., & Noraini, J. (2016). Mass loss and release of nutrient from empty fruit bunch of oil palm applied as mulch to newly transplanted oil palm. *Soil Research.*, 54, 985–996. <https://doi.org/10.1071/SR15143>
- Singh, B., & Rengel, Z. (2007). The Role of Crop Residues in Improving Soil Fertility. In P. Marshner & Z. Rengel (Eds.), *Soil Biology* (pp. 183–214). Springer_Verlag.
- Singh, R., Ibrahim, M., Esa, N., & Iliyana, M. (2010). *No TitleComposting of waste from oil palm mill: a sustainable waste management practices*. 9, 331–344. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9199-2>
- Sommer, S. G., Schjoerring, J. K., & Denmead, O. T. (2004). Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy*, 82, 557–622. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)82008-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)82008-4)
- Sung, C. T. B. (2016). *Availability, use, and removal of oil palm biomass in Indonesia*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4697.4485>
- Teong Lee, K., & Ofori-Boateng, C. (2013). *Sustainability of Biofuel Production from Oil Palm Biomass*. Springer.
- Woittiez, L., van Wijk, M. T., Slingerland, M., & van Noordwijk, M. (2017). Yield gaps in oil palm: A Quantitative review of contributing factors. *Europ J. Agronomy*, 83, 57–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, & Timsina, J. (2005). Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics.

Advances in Agronomy, 85, 269–407. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)85006-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)85006-5)
Zaharah, A. R., & Lim, K. C. (2000). Oil palm empty fruit bunch as a source of nutrients and soil ameliorant in oil palm plantations. *Malaysian J Soil Sci*, 4, 51–66.