

## **Potensi Pengembalian Karbon Organik dan Hara dalam Sistem Perkebunan Kelapa Sawit**

### *Potential Returns of Organic Carbon and Nutrients in Oil Palm Plantation Systems*

**Fuadi Irsan**<sup>1\*)</sup>, Syaiful Anwar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Selatan

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian/ IPB

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi: fuadialihsan@gmail.com

**Sitasi:** Irsan F, Anwar S. 2020. Potential returns of organic carbon and nutrients in oil palm plantation systems. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020. pp. 574-581. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).*

### **ABSTRACT**

Oil palm plantations development in peatlands is still being a concern related to global trade and environment issues such as issue which related to terrestrial carbon. The existing estimation of oil palm carbon absorption was only focused on standing biomass. Organic carbon which is derived from harvested biomass (fresh fruit bunch) and returned biomass through pruning has not much been studied in terms of oil palm carbon absorption. Meanwhile, concerning carbon absorption in oil palm biomass in peatland has not been much data collected because of the large cost and takes a long time. Based on that situation, this research was conducted at a detailed level so that it can provide information about carbon absorption on peatland that have been converted into oil palm agroecosystem. Besides organic carbon, returned biomass also contained essential nutrients such as potassium, calcium and magnesium which very crucial for cultivation in peatlands. The objectives of this research were to study the potency of biomass, carbon and nutrient (K, Ca and Mg) returned in one life cycle of oil palm. The result shows that the potency of returned biomass in one life cycle was 102.21-130.00 tons dry matter/ha or equivalent to 206.71-262.91 tons CO<sub>2</sub>/ha. While returned nutrient was 1.40-1.78 tons K/ha, 550.35-699.99 kg Ca/ha and 276.03-351.08 kg Mg/ha.

---

Keywords: biomass, frond, nutrient, oil palm, pruning

### **ABSTRAK**

Pengembangan perkebunan kelapa sawit di lahan gambut masih menjadi perhatian terkait perdagangan global dan isu lingkungan seperti isu karbon terestrial. Perkiraan penyerapan karbon kelapa sawit saat ini hanya difokuskan pada biomassa tegakan. Karbon organik yang berasal dari biomassa yang dipanen (tandan buah segar) dan biomassa yang dikembalikan melalui pemangkasan belum banyak dipelajari dalam hal penyerapan karbon kelapa sawit. Sedangkan mengenai penyerapan karbon pada biomassa kelapa sawit di lahan gambut belum banyak pendataan karena biayanya yang besar dan membutuhkan waktu yang lama. Berdasarkan situasi tersebut, penelitian ini dilakukan secara detail sehingga dapat memberikan informasi tentang serapan karbon pada lahan gambut yang telah diubah menjadi agroekosistem kelapa sawit. Selain karbon organik, biomassa kembali juga mengandung unsur hara esensial seperti kalium, kalsium dan magnesium yang sangat penting untuk budidaya di lahan gambut. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi biomassa, karbon dan unsur hara (K, Ca dan Mg) kembali dalam satu siklus hidup

tanaman kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi biomassa kembali dalam satu siklus hidup adalah 102.21-130.00 ton bahan kering/ha atau setara dengan 206.71-262.91 ton CO<sub>2</sub>/ha. Sedangkan unsur hara yang dikembalikan sebesar 1.40-1.78 ton K/ha, 550.35 – 699.99 kg Ca / ha dan 276.03-351.08 kg Mg/ha..

Kata kunci: biomassa, hara, pelepah, pemangkasan, sawit

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang banyak dikembangkan di Indonesia. Luas perkebunan kelapa sawit meningkat sangat pesat. Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia selama lima tahun terakhir cenderung menunjukkan peningkatan, kecuali pada tahun 2016 yang mengalami penurunan. Kenaikan tersebut berkisar antara 2.77 sampai dengan 10.55 persen per tahun dan mengalami penurunan pada tahun 2016 sebesar 0,52 persen. Pada tahun 2014 lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia tercatat seluas 10.75 juta hektar, meningkat menjadi 11.26 juta hektar pada tahun 2015 atau terjadi peningkatan 4.70 persen. Pada tahun 2016 luas areal perkebunan kelapa sawit menurun sebesar 0,52 persen dari tahun 2015 menjadi 11.20 juta hektar. Selanjutnya, pada tahun 2017 luas areal perkebunan kelapa sawit kembali mengalami peningkatan sebesar 10.55 persen dan diperkirakan meningkat pada tahun 2018 sebesar 3.06 persen menjadi 12.76 juta hektar (BPS, 2019).

Di Indonesia sendiri, luasan areal perkebunan kelapa sawit memiliki tingkat produktifitas rata-rata mencapai 15 - 20 ton tandan buah segar (TBS)/ha/tahun. Nilai ekspor CPO (*crude palm oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) mencapai 18 milyar US\$ setiap tahunnya dalam kurun waktu lima tahun terakhir (Ditjenbun 2015). Biomassa kelapa sawit telah secara luas dipelajari sebagai bahan baku alternatif untuk produksi *biofuel*, bubur kayu, kertas, bahan kimia berbasis biomassa hingga bahan campuran bahan material bangunan seperti batako (Abdul-Khalil *et al.* 2010; Lammens *et al.* 2012; Rashid *et al.* 2012; Suhaily *et al.* 2012; Chin *et al.* 2013; Hassan *et al.* 2013; Singh *et al.* 2013; Sung *et al.* 2013; Zainuri *et al.* 2019).

Perluasan perkebunan kelapa sawit terus menjadi perhatian karena diduga akan berpengaruh pada berkurangnya luasan hutan tropis. Konversi lahan hutan yang dijadikan kebun kelapa sawit, tidak seluruhnya merupakan hutan primer. Karena dalam prakteknya, sebagian lahan hutan yang dikonversi berupa hutan sekunder dan lahan tidur yang bervegetasi semak atau belukar. Seperti hasil penelitian Ur-Rehman *et al.* (2015) di Riau dan Kalimantan Barat, yang menunjukkan bahwa hanya 0.94% (29 ribu ha) dari total luasan yang dikonversi menjadi kebun kelapa sawit yang berasal dari hutan gambut primer dan 21.55 % (0,67 juta ha) yang berasal dari hutan gambut sekunder dalam periode 1980-2013. Selain dikembangkan di lahan mineral, 2.30 juta ha lahan gambut telah dikembangkan menjadi perkebunan kelapa sawit (Miettinen *et al.* 2012; Sabiham dan Sukarman 2012; Gunarso *et al.* 2013). Wibowo (2009) memperkirakan lahan gambut yang dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit mencapai 50,000-100,000 ha setiap tahunnya. Namun pengembangan kelapa sawit di lahan gambut menimbulkan beberapa perdebatan terkait isu lingkungan terkait emisi karbon (C), pemanasan global, dan biodiversitas.

Penelitian Hooijer *et al.* (2012) menduga kehilangan C rata-rata akibat pengembangan perkebunan kelapa sawit di lahan gambut dengan sistem drainase berkisar antara 73 - 78 ton CO<sub>2</sub>/ha/tahun, sedangkan Aswandi *et al.* (2016) memperkirakan kehilangan C di perkebunan kelapa sawit sebesar 24.79 ton C/ha/tahun. Beberapa penelitian lainnya menyebutkan total emisi dari perkebunan kelapa sawit di atas lahan gambut sekitar 19.20 – 55.00 ton CO<sub>2</sub>/ ha/tahun (Germer *et al.* 2007; Fargione *et al.* 2008; Reijnders *et al.*, 2008; Wicke *et al.* 2008; Murdiyarso *et al.* 2010; Koh *et al.*, 2011). Hirano *et al.* (2007)

*Editor: Siti Herlinda et. al.*

*ISBN: 978-979-587-903-9*

*Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)*

melaporkan bahwa hasil pengukuran emisi CO<sub>2</sub> dari gambut tropis sangat bervariasi tergantung pada waktu dan tempat sehingga sangat mempengaruhi hasil pengukuran emisi CO<sub>2</sub> di suatu tempat.

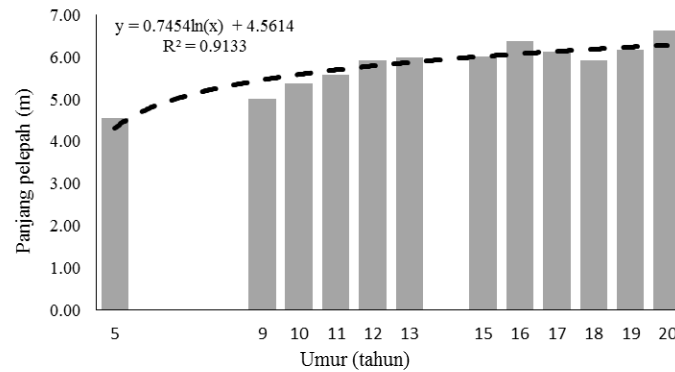
Emisi CO<sub>2</sub> dapat diimbangi dengan menanam tanaman seperti kelapa sawit yang memiliki kapasitas tinggi untuk menyerap C seperti kelapa sawit (Henson *et al.* 2012). Kemampuan untuk secara akurat menentukan penyerapan C oleh tanaman merupakan hal yang sangat penting. Dalam kasus kelapa sawit, metode estimasi biomassa tanaman telah berkembang cukup pesat. Kelapa sawit menyerap CO<sub>2</sub> dari udara dan mengubahnya menjadi biomassa melalui proses fotosintesis. Biomassa pada kelapa sawit yang dihasilkan akan terdistribusi ke dalam pertumbuhan batang, pelepah, dan pembentukan buah. Akumulasi biomassa terbesar terdapat dalam tegakan kelapa sawit (*standing biomass*), yang banyak dijadikan sebagai dasar pendekatan estimasi serapan karbon kelapa sawit. Disamping itu, masih ada biomassa yang berasal dari biomassa yang dipanen berupa TBS dan biomassa yang dipangkas lalu dikembalikan ke dalam sistem kebun berupa pelepah.

Dalam kegiatan budidaya kelapa sawit, pemangkasan pelepah menjadi suatu kebutuhan dan rutin dilakukan dalam memudahkan kegiatan pemeliharaan dan pemanenan. Gromikora *et al.* (2014) dan Pambudi *et al.* (2016) mengemukakan bahwa pemangkasan dan pengaturan jumlah pelepah kelapa sawit memberikan peningkatan hasil produksi kelapa sawit. Pangkasan pelepah akan ditumpuk di lahan dengan manfaat sebagai mulsa, penghambat pertumbuhan gulma dan sumber bahan organik bagi tanah. Disamping menjadi sumber bahan organik, dalam proses dekomposisinya, pangkasan pelepah akan melepaskan hara-hara esensial yang diperlukan oleh kelapa sawit seperti N, P, dan K. Hara-hara yang dilepas dari biomassa pelepah dapat menjadi sumber hara selain dari tanah dan pemberian pupuk.

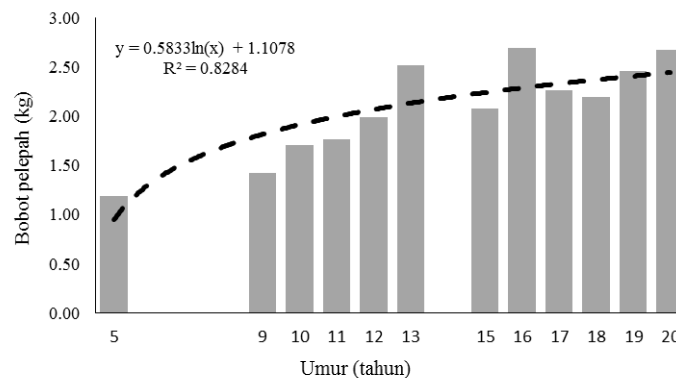
Kelapa sawit yang ditanam di lahan gambut memiliki kebutuhan hara yang tinggi, dimana kebutuhan hara sangat bergantung dari input pupuk. Hal ini disebabkan gambut memiliki tingkat kesuburan yang rendah, sehingga tidak mampu memenuhi kebutuhan tanaman yang ditanam di atasnya. Firmansyah (2006), mengemukakan bahwa kelapa sawit yang ditanam di lahan gambut membutuhkan pupuk sebanyak 250 kg urea/ha, 275 kg SP36/ha, dan 235 kg MOP/ha. Biomassa kelapa sawit yang dikembalikan dapat menjadi solusi untuk mengurangi kebutuhan pupuk yang diberikan. Menurut Singh *et al.* (1999) tandan buah kosong (TBK) kelapa sawit memiliki potensi untuk mengurangi atau mengganti kebutuhan pupuk sebesar 4.4 kg kieserite, 19.3 kg MOP, 2.8 kg *rock phosphate*, dan 7 kg urea per 1 ton TBK. Masganti *et al.* (2017), menyarankan penggunaan pupuk organik dan pupuk *slow release* untuk kegiatan budidaya di lahan gambut. Berdasarkan data-data tersebut, maka diperlukan kajian mengenai berapa potensi biomassa yang dikembalikan dan hara yang disumbangkan dari proses pengembalian biomassa tersebut.

## **BIOMASSA YANG DIKEMBALIKAN**

Irsan (2017) melakukan pengamatan dan pengambilan contoh biomassa kelapa sawit yang dikembalikan dilakukan pada 28 blok tanam dengan 13 variasi umur tanaman, dengan masing-masing 30 pohon contoh pada setiap blok tanam. Setiap pohon diambil contoh pangkasan pelepah yang kemudian diamati. Pengamatan dan pengambilan contoh pangkasan pelepah dilakukan pada blok-blok tanam dengan umur kelapa sawit 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 dan 19 tahun, dan untuk mewakili umur tanaman yang tidak terwakili, maka dibuat persamaan garis yang mendekati bentuk kurva pertumbuhan kelapa sawit. Hasil analisis panjang dan bobot kering pelepah kelapa sawit yang dipangkas tersaji dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Panjang pelepah berdasarkan umur kelapa sawit



Gambar 2. Bobot kering pelepah berdasarkan umur kelapa sawit

Berdasarkan persamaan pada Gambar 2, rata-rata bobot kering satu pangkasan pelepah adalah 2.29-2.91 kg, dimana bobot terendah 1.92 kg pada usia 4 tahun dan tertinggi 2.99 kg pada usia 25 tahun. Data rerata panjang dan bobot kering pelepah tersaji dalam Lampiran 2. Rata-rata kadar air gravimetrik contoh pelepah adalah 130.15% untuk bagian daun dan 248.40% untuk bagian batang pelepah. Bobot segar pelepah adalah 5.97-10.32 kg per pelepah (batang pelepah 4.78-7.90 kg dan daun 1.19-2.43 kg). Hasil ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian Yulianti (2009) yang menyatakan bobot segar satu pelepah adalah 1.5 kg (batang pelepah 1.25 kg dan daun 0.25 kg). Hal ini diduga dipengaruhi pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit yang sangat ditentukan oleh daya dukung lahan gambut dalam menopang pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit.

Pada kelapa sawit dengan umur <5 tahun umumnya belum dilakukan pemangkasan pelepah, dimana tinggi tegakan kelapa sawit masih relatif rendah sehingga pemangkasan sangat jarang dilakukan di usia yang muda. Peningkatan umur kelapa sawit menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam pengaruhnya terhadap peningkatan biomassa pelepah kelapa sawit. Semakin tinggi umur kelapa sawit, semakin besar bobot kering pelepahnya dan semakin besar potensi biomassa dan karbon yang dikembalikan ke dalam tanah dari pelepah kelapa sawit tersebut.

Seiring dengan bertambahnya umur kelapa sawit, panjang dan bobot rata-rata pangkasan pelepah kelapa sawit akan semakin meningkat. Peningkatan ini merupakan akumulasi hasil fotosintesis tanaman yang diubah dalam bentuk biomassa, berupa batang, pelepah, daun, dan buah. Peningkatan panjang dan bobot pelepah kelapa sawit meningkat cepat sampai usia 10 tahun, dimana pada usia 10 tahun ke atas laju peningkatan panjang dan bobot pelepah kelapa sawit cenderung menurun sesuai dengan kurva pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan oleh mulai melambatnya pertumbuhan kelapa sawit pada usia diatas 8 tahun. Tanaman kelapa sawit yang berusia >10 tahun sudah memasuki masa generatif maksimum,

dimana pertumbuhan tanaman akan mulai melambat dan diiringi dihasilkannya buah dengan tingkat produksi maksimal dari tanaman kelapa sawit tersebut (Turner dan Gillbanks 2003; Risza 2010).

Pemangkasan pelepah dilakukan secara rutin 4-6 kali dalam setahun. Setiap proses pemangkasan akan mengembalikan 2-4 pelepah ke tanah dengan mempertahankan jumlah pelepah yang tersisa 48-56 pelepah pada tanaman muda dan 40-48 pelepah pada tanaman tua agar tetap mampu menopang produktifitas kelapa sawit (Pardamean, 2017). Potensi jumlah biomassa pangkasan pelepah yang dikembalikan dihitung berdasarkan bobot kering pelepah dikalikan dengan rata-rata jumlah pelepah yang dipangkas per tahun, dan jumlah populasi kelapa sawit dalam satu hektar. Asumsi pelepah yang dipangkas dalam satu tahun adalah  $\pm 16$  pelepah (8-24 pelepah per tahun), dan populasi tanaman kelapa sawit dalam satu hektar dengan jarak tanam 9 x 9 m adalah 133 tanaman. Potensi biomassa dan karbon kelapa sawit yang dikembalikan dalam bentuk pangkasan pelepah disajikan pada Lampiran 3. Semakin tua umur kelapa sawit maka pengembalian biomassa dan C biomasannya juga semakin besar. Nilai ini dihitung dengan asumsi bahwa banyaknya tindakan pemotongan pelepah dan daun adalah sama setiap tahunnya. Biomassa yang dikembalikan ini akan menjadi akumulasi bahan organik tanah. Dengan bertambahnya usia kelapa sawit disertai juga dengan peningkatan sumbangan biomassa yang dikembalikan dalam bentuk pelepah dan daun.

Seiring dengan peningkatan usia kelapa sawit maka potensi biomassa yang dikembalikan melalui proses pemangkasan semakin besar. Rata-rata jumlah biomassa pangkasan pelepah yang dikembalikan adalah 4.87-6.19 ton biomassa kering (bk)/ha/tahun, terendah 4.08 ton bk/ha/tahun pada usia 4 tahun dan tertinggi 6.35 ton bk/ha/tahun pada usia 25 tahun. Aljuboori (2013) melaporkan pengembalian biomassa pangkasan pelepah di Sabah dan Sarawak mencapai 10.15-10.17 ton bk/ha/tahun. Hasil ini masih dibawah potensi pengembalian biomassa kelapa sawit di Malaysia. Secara akumulasi sampai usia 25 tahun, potensi biomassa yang dikembalikan sebesar 102.21-130.00 ton bk/ha pangkasan pelepah.

Bobot kering kelapa sawit dapat menjadi indikator seberapa besar serapan karbon oleh kelapa sawit. Selain itu, pada berbagai tingkat umur kelapa sawit juga tentunya memiliki bobot kering pelepah dan daun yang berbeda-beda dan memiliki nilai karbon yang berbeda. Seiring dengan peningkatan umur kelapa sawit maka jumlah C yang dikembalikan melalui pengembalian biomassa semakin besar. Rata-rata jumlah C yang dikembalikan adalah 2.25-3.50 ton C/ha/tahun atau setara dengan 9.84-12.52 ton CO<sub>2</sub>/ha/tahun. Secara akumulasi sampai umur 25 tahun, potensi C yang dikembalikan ke dalam tanah sebesar 56.37-71.70 ton C/ha atau setara dengan 206.71-262.91 ton CO<sub>2</sub>/ha (Irsan 2017).

Kegiatan-kegiatan pemanenan dan pengembalian biomassa kelapa sawit ini dilakukan sepanjang kelapa sawit tersebut masih produktif, dan berakhir ketika tanaman kelapa sawit tersebut ditebang dan dilakukan penanaman kembali (*replanting*). Setelah penanaman kembali, maka siklus produksi biomassa kelapa sawit akan berulang kembali. Produksi biomassa yang dinamis seperti pada kelapa sawit ini tidak terjadi dalam sistem hutan, dimana ketika sudah mencapai pertumbuhan yang klimaks, produksi biomasannya cenderung tidak meningkat lagi. Kelapa sawit akan menyerap CO<sub>2</sub> dari udara dan mengubahnya menjadi biomassa melalui proses fotosintesis. Biomassa yang dihasilkan akan terdistribusi ke dalam pertumbuhan batang, pelepah dan pembentukan buah. Akumulasi biomassa terbesar terdapat pada tegakan, kedua biomassa yang dipanen dan akumulasi biomassa terkecil adalah pangkasan pelepah kelapa sawit yang dikembalikan ke tanah.

## POTENSI HARA YANG DIKEMBALIKAN

Seiring dengan peningkatan usia tanaman kelapa sawit maka hara yang dikembalikan melalui pengembalian biomassa semakin besar. Rata-rata hara yang dikembalikan adalah sebesar 66.63-84.75 kg K/ha/tahun, 26.21-33.33 kg Ca/ha/tahun dan 13.14-16.72 kg Mg/ha/tahun. Secara akumulasi sampai usia 25 tahun, hara yang dikembalikan sebesar 1.40-1.78 ton K/ha, 550.35 – 699.99 kg Ca / ha dan 276.03-351.08 kg Mg/ha. Hasil tersebut didapat dari simulasi perhitungan biomassa yang dikembalikan dan data kandungan hara K, Ca dan Mg dari penelitian Irsan (2017) dan Pulunggono *et al.* (2019).

Potensi hara yang dikembalikan ini belum menyertakan biomassa-biomassa kelapa sawit lainnya. Biomassa kelapa sawit lainnya yang telah diteliti dapat menyumbangkan hara jika dikembalikan adalah TBK. Menurut Singh *et al.* (1999) TBK kelapa sawit memiliki potensi untuk mengurangi kebutuhan pupuk sebesar 19,3 kg MOP, 2,8 kg *rock phosphate*, dan 7 kg urea per 1 ton TBK.

## KESIMPULAN

Potensi biomassa pangkasan pelepah kelapa sawit yang dikembalikan dalam satu siklus hidup kelapa sawit sebesar 102.21-130.00 ton bahan kering/ha atau setara dengan 206,71-262,91 ton CO<sub>2</sub>/ha. Hara yang berpotensi dikembalikan ke dalam tanah adalah 166.63-84.75 kg K/ha/tahun, 26.21-33.33 kg Ca/ha/tahun dan 13.14-16.72 kg Mg/ha/tahun atau setara dengan 1.40-1.78 ton K/ha, 550.35 – 699.99 kg Ca / ha dan 276.03-351.08 kg Mg/ha dalam 25 tahun secara akumulasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan ini disampaikan kepada Dr. Syaiful Anwar, Dr. Heru BP dan Prof Supiandi Sabiham yang berjasa dalam pelaksanaan penulisan naskah artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Khalil HPS, Nurul-Fazita MR, Bhat AH, Jawaid M, Nik-Fuad NA. 2010. Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass. *Mat and Des.* 31:417-424.
- Aljuboori AHR. 2013. Oil palm biomass residue in Malaysia: availability and sustainability. *Biom and Renew.* 2(1):13-18.
- Aswandi, Sadono, R, Supriyo, H Hartono. 2016. Kehilangan karbon akibat drainase dan degradasilahan gambut tropika di Trumon dan Singkil Aceh. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 23(3): 334-341
- Badan Pusat Statistik [BPS]. 2019. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Chin KL, H'ng PS, Chai EW, Tey BT, Chin MJ, Paridah MT, Luqman AC, Maminski M. 2013. Fuel characteristics of solid biofuel derived from oil palm biomass and fast growing timber species in Malaysia. *Bioe Res.* 6:75-82.
- Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia [Ditjenbun]. 2015. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2014 – 2016*. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science.* 319(5867):1235-1238.

- Firmansyah, MA. 2006. *Rekomendasi Pemupukan Umum Karet, Kelapa Sawit, Kopi dan Kakao*. Palangkaraya (ID): Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Tengah.
- Germer J, Sauerborn J. 2007. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environ Dev Sustain*. 10(6):697-716.
- Gromikora N, Yahya S, Suwanto. 2014. Permodelan pertumbuhan dan produksi kelapa sawit pada berbagai taraf penunasan pelepah. *J. Agron. Ind*. 42(3): 228-235
- Gunarso P, Hartoyo ME, Agus F, Killeen TJ. 2013. *Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. Reports from the Technical Panels of the Second RSPO GHG Working Group, Roundtable for Sustainable Oil palm*. Kuala Lumpur (MAL): Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO).
- Hassan MA, Yee LN, Yee PL, Ariffin H, Raha AR, Shirai Y, Sudesh K. 2013. Sustainable production of polyhydroxyalkanoates from renewable oil-palm biomass. *Biom and Bioe*. 50:1-9.
- Henson IE, Betitis T, Tomda Y, Chase LDC. 2012. The estimation of frond base Biomass (fbb) of oil palm. *J. Oil Palm Res*. 24:1473-1479.
- Hirano T, Segah H, Harada T, Limin S, June T, Hirata R, Osaki M. 2007. Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Glob Change Biol*. 13:412-425.
- Hooijer A, Page S, Jauhiainen J, Lee WA, Lu XX, Idris A, Anshari GZ. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9:1053–1071.
- Irsan, F. 2017. *Pendugaan Produksi Biomassa dan Dinamika Hara di Perkebunan Kelapa Sawit dalam Satu Siklus Pertanaman (Tesis)*. Bogor. (ID): Sekolah Pascasarjana IPB.
- Koh LP, Miettinen J, Liew SC, Ghazoul J. 2011. Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. Ehrlich RP (ed). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. March 2011, 22. *HighWire Pr*. 108(12):5127-5132.
- Lammens TM, Franssen MCR, Scott EL, Sanders JPM. 2012. Availability of protein-derived amino acids as feedstock for the production of bio-based chemicals. *Biom and Bioe*. 44:168-181.
- Masganti, Anwar, K, Susanti, MA. 2017. Potensi dan pemanfaatan lahan gambut dangkal untuk pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1): 43-52.
- Maulana, SI. 2010. Pendugaan densitas karbon tegakan hutan alam di Kabupaten Jayapura, Papua. *J. Pen Sos dan Eko Hut*. Vol. 7 (4):261-274.
- Miettinen J, Hooijer A, Shi C, Tollenaar D, Vernimmen R, Liew SC, Malins C, Page SE. 2012. *Historical Analysis and Projection of Oil Palm Plantation Expansion on Peatland in Southeast Asia*. Washington, D.C. (USA): International Council on Clean Transportation.
- Murdiyarsa D, Hergoualc'h K, Verchot LV. 2010. Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands. DeFries RS (ed). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. November 2010, 16. *HighWire Pr*. 107(46):19655-60.
- Pambudi, IHT, Suwanto, Yahya, S. 2016. Pengaturan jumlah pelepah untuk kapasitas produksi optimum kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Bul. Agrohorti* 4(1): 46-55.
- Pardamean M. 2017. *Kupas Tuntas Agribisnis Kelapa Sawit: Mengelola Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit Secara Efektif dan Efisien*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Pulunggono HB, Anwar S, Mulyanto B, Sabiham S. 2019. Decomposition of oil palm frond and leaflet residues. *Agrivita*. 41(3): 524–536.
- Rashid U, Yusup S, Taiwo TG, Ahmad MM. 2012. Blending study of palm oil methyl esters with jatropha oil methyl esters to improve fuel properties. *Int. J. Biomass and Renewables*. 1:27-31.

- Reijnders L, Huijbregts MAJ. 2008. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *J. of Cleaner Prod.* 6(4):477-82.
- Risza S. 2010. *Masa Depan Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Sabiham S, Sukarman. 2012. Pengelolaan lahan gambut untuk pengembangan kelapa sawit di Indonesia. *JSL.* 6(2):55-66.
- Singh G, Kow DL, Lim LC, Loong SG. 1999. Empty Fruit Bunches as mulch. In Singh G, Huan LK, Teo L, Kow DL (Eds). *Oil Palm and Environment: A Malaysian Perspective*. Kuala Lumpur (MAL): Malaysian Oil Palm Grower's Council.
- Singh P, Sulaiman O, Hashim R, Peng LC, Singh RP. 2013. Evaluating biopulping as an alternative application on oil palm trunk using the white-rot fungus *Trametes versicolor*. *Int. Biodet and Biodeg.* 82:96-103
- Suhaily SS, Jawaid M, Abdul-Khalil HPS, Ibrahim F. 2012. A review of oil palm biocomposites for furniture design and applications: Potential and challenges. *BioResources.* 7:4400-4423
- Sung YJ, Kim CH, Cho HS, Sim SW, Lee GS, Cho IJ, Kim SB. 2013. Study of oil palm biomass resources (Part 1) - Characteristics of thermal decomposition of oil palm Biomass. *J. of Korea TAPPI.* 45(1):13-20.
- Tarigan B, Sipayung R. 2011. *Kontribusi Perkebunan Kelapa Sawit dalam Perekonomian dan Lingkungan Hidup Sumatera Utara*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Turner PD, Gillbanks RA. 2003. *Oil Palm Cultivation and Management*. Kuala Lumpur (MAL): The Incorporated Society of Planters.
- Ur-Rehman SA, Sudadi U, Anwar S, Sabiham S. 2015. Land use changes and above-ground biomass estimation in peatlands of Riau and West Kalimantan, Indonesia. *J. ISSAAS.* 21(1):123-135
- Wibowo, A. 2009. Konversi Hutan Menjadi Tabanab Kelapa Sawit pada Lahan Gambut. Implikasi Perubahan Iklim dan Kebijakan. *J Penelitian Sos & Ekonomi Kehutanan.* 7(4):251-260
- Wicke B, Dornburg V, Junginger M, Faaij A. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biom and Bioe.* 2(12):1322-37.
- Yulianti N. 2009. *Cadangan karbon lahan gambut dari agroekosistem kelapa sawit PTPN IV Ajamu, Kabupaten Labuhan Batu, Sumatera Utara* (Tesis). Bogor. (ID): Sekolah Pascasarjana IPB.
- Zainuri, Zargustin, D, Yanti, G, Megasari, SW. 2019. Pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dari pemanfaatan limbah pelepah kelapasawit pada produksi batako serat. *Jurnal Teknologi Lingkungan.* 20(1):29-44.