ISSN 3064-5182

Penerapan Prinsip-Prinsip Siklus Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) SNI ISO 14044:2017 untuk Menghitung Emisi GRK pada Sistem Integrasi Tanaman-Ternak

Ali Pramono, Miranti Ariani, Titi Sopiawati, Suharsih
Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian
Jl. Raya Jakenan-Jaken KM.05, Pati, Jawa Tengah
Email: ali_pramono@yahoo.com

ABSTRAK

Budi daya padi merupakan salah satu kegiatan pertanian yang sangat intensif di Indonesia. Meningkatnya jumlah penduduk di negara ini sejalan dengan meningkatnya permintaan akan produk beras. Dampak lingkungan terutama isu emisi gas rumah kaca (GRK) dari kegiatan budi daya padi telah banyak disorot sebagai salah satu sumber emisi GRK terbesar dari sektor pertanian. Mengingat hal ini, *Life Cycle Assessment* (LCA) menyediakan platform untuk menghitung emisi GRK dari proses budi daya padi hingga menjadi beras siap masak. Studi ini difokuskan pada pendekatan konvensional produksi padi dengan menerapkan prinsip-prinsip LCA yang tertuang dalam SNI ISO 14044:2017 yang dimulai dari penanaman benih, persiapan lahan, pembibitan, pemeliharaan lahan, dan pemanenan. Pendekatan ini mengukur semua input yang terlibat dalam proses seperti pupuk, bahan pembenah tanah, pestisida, dan bahan bakar. Penerapan teknologi yang ramah lingkungan dan rendah emisi GRK dalam Sistem Integrasi Tanaman-Ternak (ITT) diujikan di Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian pada tahun 2013-2016 yang kemudian dilakukan inventarisasi dan pengamatan sesuai prinsip LCA. Hasil penilaian berdasarkan penerapan prinsip siklus daur hidup (LCA) SNI ISO 14044:2017, bahwa sistem ITT mengemisikan GRK 80% lebih rendah dibandingkan dengan praktik budi daya secara konvensional, terutama dari adanya pengelolaan kotoran ternak melalui pemanfaatan biodigester.

PENDAHULUAN

Populasi dunia kini mendekati 8 miliar, dengan lebih dari setengahnya bergantung pada beras sebagai makanan pokok (Haque *et al.*, 2014). Untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat, produksi padi harus ditingkatkan sebesar 114 juta ton pada tahun 2035. Namun, tantangan besar seperti penurunan lahan subur, kurangnya tenaga kerja dan air, peningkatan biaya untuk semua input, serta dampak perubahan iklim menjadi ancaman utama (Redfern *et al.*, 2012). Perubahan iklim, yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca (GRK) dari berbagai aktivitas manusia, termasuk budi daya padi, memerlukan perhatian serius. Sekitar 60% dari lahan persawahan global dikelola sebagai sawah dengan irigasi terus-menerus, dapat berkontribusi pada emisi GRK (Rao *et al.*, 2017). Mengingat hal ini, perbaikan teknologi apapun untuk mengembangkan produksi padi yang lebih ramah lingkungan tidak boleh mengorbankan kebutuhan untuk mencapai hasil yang lebih besar. Meskipun fokus utama tetap pada peningkatan hasil dan kontribusi ekonomi secara langsung dari padi, keberlanjutan produksi padi dalam jangka panjang juga penting untuk ketahanan pangan.

Ketahanan pangan mencakup empat aspek penting dengan indikator: ketersediaan pangan,

stabilitas pasar, kemudahan akses, dan pemanfaatan (Schmidhuber and Tubiello, 2007). Perubahan iklim dapat menyebabkan penurunan hasil panen, fluktuasi harga, dan perubahan proses rantai pasok (Gregory *et al.*, 2005). Oleh karenanya, risiko volatilitas ada pada seluruh langkah produksi dan pasokan pada budi daya padi.

Laporan dari Komunikasi Nasional Ketiga Indonesia (TNC, 2017) menyatakan bahwa budi daya padi sebagai penghasil emisi karbon tertinggi pertama pada sektor pertanian. Oleh karena itu, diperlukan studi mendalam untuk mengidentifikasi sumber emisi ini dan salah satu metode yang dinilai tepat untuk mencapai tujuan ini adalah *Life Cycle Assessment* (LCA).

Life Cycle Assessment **(LCA)**

LCA pada dasarnya adalah teknik untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari siklus hidup produk mulai dari bahan mentah hingga produk akhir dan pembuangan (Arvanitoyannis, 2008), juga untuk menilai dampak lingkungan terhadap perubahan iklim dari emisi GRK (Rebitzer *et al.*, 2004). Pendekatan analitis dalam LCA telah mempertimbangkan seluruh sumber daya yang terkait dengan input dan output dari keseluruhan sistem produksi (Brentrup *et al.*, 2004), sehingga selain menganalisis emisi GRK juga unsur-unsur lingkungan lainnya seperti pengasaman, eutrofikasi, ekotoksisitas, dan masih banyak lagi. Pada akhirnya LCA mampu menganalisis dan mengurangi dampak lingkungan terkait dari proses atau aktivitas tertentu (Shafie *et al.*, 2014; Chauhan *et al.*, 2011; Jeswani *et al.*, 2010). LCA mempunyai cakupan yang luas dan lebih beragam dibandingkan pendekatan lain seperti pemodelan (Baumann, 1998). Penerapan LCA bukan hanya pada industri, seperti energi, manufaktur, konstruksi, transportasi, tapi juga pada sistem budi daya padi.

Prosedur LCA mengikuti standar yang dikembangkan dari tahun 1997 hingga 2006 mulai dari ISO 14040 hingga ISO 14044 (Hammond and Jones, 2008) yang membahas secara rinci tujuan LCA dan penerapannya. Prosedur LCA terdiri dari empat langkah utama, yaitu menentukan tujuan dan ruang lingkup, menginventarisasi daur hidup (*Life Cycle Inventory*/LCI), menganalisis dampak daur hidup (*Life Cycle Impact Assessment*/LCIA), dan menginterpretasi hasil. Penilaian dapat mencakup seluruh siklus hidup produk (*cradle-to-grave*) atau hanya sebagian (*cradle-to-gate*). Pengukuran emisi gas rumah kaca sebagai salah satu parameter dalam inventarisasi daur hidup (Gambar 1.).

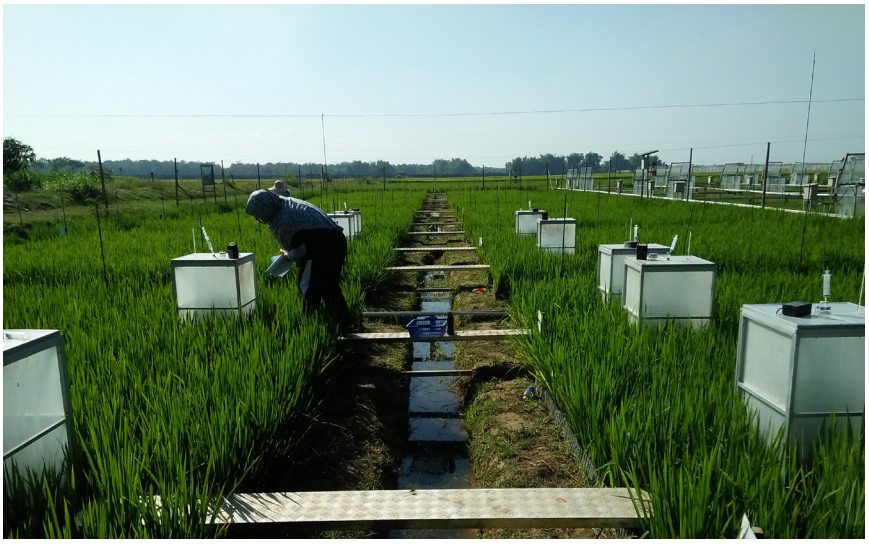
Dalam studi ini, LCA digunakan untuk menganalisis proses budi daya padi dalam sistem Integrasi Tanaman-Ternak (ITT), dari penyiapan benih, budi daya, hingga transportasi ke penggilingan terdekat, dengan fokus pada emisi GRK dan mengidentifikasi emisi GRK tertinggi pada proses produksi beras. Pendekatan ini sangat berguna untuk memahami dan mengurangi dampak lingkungan dari produksi beras.

Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup ***(Goal and Scope)***

Dampak suatu kegiatan terhadap lingkungan menjadi sangat penting karena akibat yang ditimbulkan pada akhirnya akan dibebankan ke semua pihak. LCA bertujuan untuk memberikan informasi komprehensif tentang dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu produk atau layanan, sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang berkelanjutan. Penerapan prinsip-prinsip LCA dalam sistem ITT ini bertujuan untuk mendapatkan informasi dampak lingkungan dalam menghasilkan produk berupa gabah. Ruang lingkup LCA dapat dilihat pada Gambar 2.

Inventarisasi Daur Hidup (*Life Cycle Inventory*)

Tahap ini meliputi penentuan parameter yang digunakan untuk seluruh perhitungan dampak lingkungan, terutama emisi dan kadar karbon pada berbagai tingkat dan tahapan. Kegiatan lapang meliputi budi daya tanaman pangan dan ternak, pengelolaan limbah.

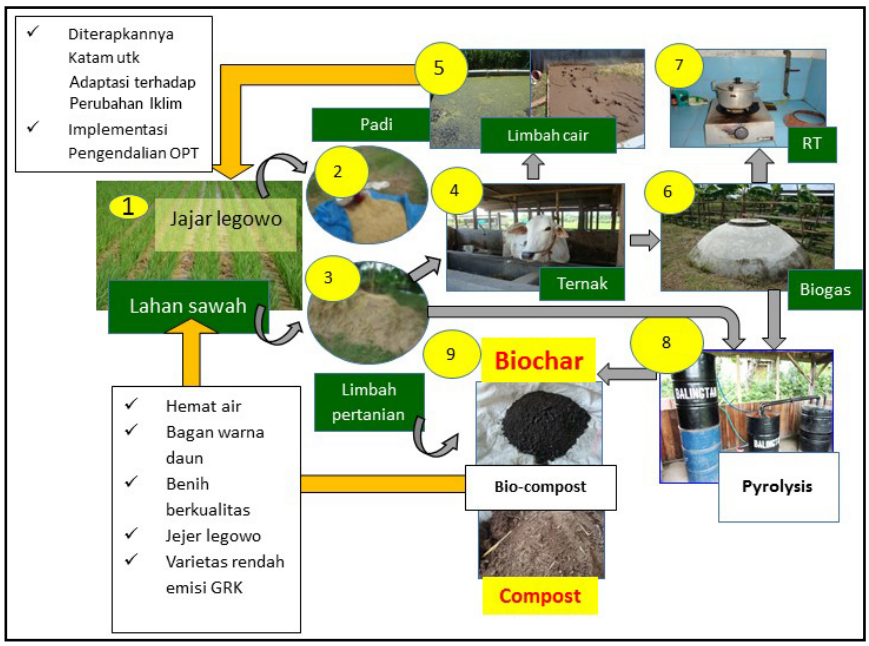


Gambar 1. Pengukuran emisi gas rumah kaca sebagai salah satu parameter dalam inventarisasi daur hidup

Pada tahap inventarisasi daur hidup, parameter-parameter yang harus diambil tercantum pada Tabel 1.

Pengelolaan hasil samping meliputi pemanfaatan jerami sebagai pakan, pengelolaan kotoran menjadi pupuk organik dan biogas melalui biodigester. Hasil samping pengelolaan hasil samping di dalam sistem ITT adalah: (1) Urin untuk bahan baku pembuatan biopestisida, pupuk cair, bionitrat; (2) Kompos, yaitu padatan yang keluar dari biodigester kemudian dikering-anginkan; (3) *Sludge*, yaitu cairan yang keluar dari biodigester dan dapat langsung diaplikasikan sebagai pupuk organik; (4) Arang (*biochar*) dari sekam padi, untuk dibuat campuran pupuk kompos; (5) Asap cair, untuk dibuat bahan pengawet ikan.

Komposisi kimia pupuk organik tersebut dianalisa kadar C, N, P, dan K, sehingga dapat disetarakan dengan pupuk konvensional. Pengolahan hasil samping tersebut meliputi pemisahan cairan dan padatan, granulasi, dan perlakuan khusus lainnya.



Gambar 2. Ruang lingkup studi LCA dalam sistem integrasi tanaman dan ternak

Keterangan gambar : (1) Lahan sawah tadah hujan dengan sistem pengelolaan tanaman terpadu (PTT), (2) Hasil tanaman berupa gabah, (3) Limbah tanaman : jerami untuk pakan ternak, sekam untuk dibuat biochar, (4) Ternak sapi menghasilkan pupuk kandang dan biogas, (5) Limbah padat dan cair digunakan untuk pupuk organik dan biopori, (6) Biodigester untuk menghasilkan biogas, (7) Biogas dimanfaatkan untuk bahan bakar dalam rumah tangga, (8) Biogas untuk membuat arang dari limbah pertanian ber-lignin melalui pirolisis, (9) Pembuatan biokompos (campuran biochar dan kompos dengan perbandingan 1:4) dikembalikan ke lahan sawah.

Tabel 1. Parameter-parameter yang diambil dalam inventarisasi daur hidup

No	Tahap	Parameter
1.	Budi daya tanaman pangan	Berat gabah
		Emisi GRK (CH_4 dan N_2O)
		Kadar karbon (C) dalam gabah dan tanah
		Residu pestisida dan logam berat dalam tanah dan air irigasi
2.	Budi daya ternak	Kadar C dalam pakan
		Pertambahan bobot ternak
		Emisi GRK (CH_4 dan N_2O)
3.	Pengelolaan hasil samping	Berat Jerami
		Berat Kohe, kompos, sludge
		Berat/volume Biogas
		Emisi GRK (CH_4, N_2O dan CO_2) dari pengomposan
		Kadar C kohe
		Residu pestisida dan logam berat (kohe, kompos, *sludge*)

Analisis Siklus Energi

Tujuan tahap ini adalah untuk mengkaji keragaan siklus energi biogas dengan penggunaan hasil samping biogas. Komponen terdiri dari input dan output energi (Tabel 2). Input energi, konsumsi energi terdiri dari jumlah panas dari bahan bakar batu bara atau diesel dan suplai listrik; Input energi yang tidak langsung adalah energi yang diperlukan dalam produksi biogas dan hasil samping, misalnya bahan bakar untuk peralatan, dan pengangkutan.

Berdasarkan jumlah input energi dan output energi dalam sistem biogas, NEG dapat ditentukan berdasarkan persamaan (1)–(3). NEG adalah kunci indikator keragaan energi dalam sistem biogas untuk mengidentifikasi apakah sistem ini mendapatkan energi atau kehilangan energi.

$$Eti = Ei + E'i \quad (1)$$
$$Eto = Eo + E'o \quad (2)$$
$$NEG = Eto - Eti \quad (3)$$

Dimana total input energi (Eti) ditentukan oleh input energi langsung (Ei) dan tidak langsung (E'i); Jumlah output energi (Eto) ditentukan oleh output energi langsung (Eo) dan tidak langsung (E'o).

Interpretasi Hasil

Pada tahap ini, dibahas analisa hasil, analisa penyebab dampak, identifikasi isu penting, pengambilan kesimpulan, penjelasan keterbatasan kajian, rekomendasi dan evaluasi dilakukan secara transparan. Dampak lingkungan yang potensial dipertimbangkan adalah potensi pemanasan global (*global warming potential*/GWP). Selain dampak lingkungan, dilakukan juga perhitungan *abatement cost* untuk mitigasi dalam sistem pertanian bioindustri berkelanjutan. Pengaruh substitusi yang dihasilkan produk samping perlu diperhitungkan dalam sistem ini. Parameter yang diukur dalam kajian LCA, meliputi (1) Input energi (bahan bakar transportasi, biaya, dll.); (2) Input bahan baku; (3) produk sistem ITT berupa biomassa, beras, dedak, anakan sapi, kotoran hewan dan pengelolaannya, urin, biogas, kompos, digestat; (4) Emisi gas rumah kaca (CH_4, N_2O dan CO_2) dari lahan sawah, peternakan dan pengelolaan limbah.

Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian pada tahun 2013-2016 mencoba menerapkan prinsip-prinsip LCA dalam budi daya padi di lahan sawah Kebun Percobaan BPSI Lingtan. Pendekatan yang dilakukan bertujuan untuk membandingkan emisi GRK yang dihasilkan dari penerapan budi daya padi yang rendah emisi GRK dan ramah lingkungan pada sistem ITT dengan budi daya padi secara konvensional petani. Dengan menerapkan prinsip-prinsip LCA dimana semua input pada proses budi daya padi tersebut diamati, dilakukan pencatatan dan kemudian dilakukan penghitungan emisi GRK yang dihasilkan dalam bentuk *Global Warming Potential* (GWP) atau potensi pemanasan global yang dihasilkan setara dengan emisi gas CO_2. Hasil perhitungan menujukkan bahwa budi daya padi sistem ITT yang menerapkan prinsip rendah emisi GRK dan ramah lingkungan, mengemisikan GRK yang lebih rendah dibandingkan dengan budi daya padi cara petani (konvensional). Pada budi daya padi sistem ITT, diterapkan teknologi hemat air dengan pengairan berselang (*intermittent*), pada budi daya ternak diterapkan pemberian hijauan pakan ternak dan suplemen pakan yang rendah emisi, serta kotoran ternak dikelola menggunakan biodigester. Untuk menghasilkan 1 kg gabah dengan budi daya padi sistem ITT diemisikan GRK sebesar 0,95 kg CO_2-e, sementara dengan budi daya konvensional diemisikan GRK sebesar 4,84 kg CO_2-e (Tabel 3). Dengan demikian, dibandingkan dengan praktik secara konvensional, sistem ITT yang ramah lingkungan ini mampu menurunkan emisi GRK sebesar 80%. Berdasarkan penilaian dengan metode LCA (SNI ISO 14044:2017), dapat diketahui bahwa kontribusi penurunan emisi GRK terbesar adalah dari pengelolaan kotoran ternak menggunakan biodigester yang dapat memperoleh manfaat tambahan berupa energi terbarukan. Penerapan sistem ITT yang lebih besar dapat menjadikan kawasan yang mandiri dan berkelanjutan untuk menghasilkan pangan, pakan, pupuk dan energi.

Tabel 2. Penyetaraan energi input dan output pada budi daya padi

Input/Output	Ekuivalen Energi (Mj)	Referensi
Pupuk N (kg)	78,1	Kitani (1999)
Pupuk P (kg	17,4	Kitani (1999)
Pupuk K (kg)	13,7	Kitani (1999)
Pupuk kandang	0,3	Demircan (2006)
Pestisida	319	Shapouri *et al.* (2002)
Herbisida	325	Shapouri *et al.* (2002)
Bahan bakar diesel (liter)	47,8	Kitani (1999)
Tenaga kerja (orang jam)	1,96	Singh (2002)
Benih (kg)	14,7	Singh (2002)
Gabah (kg)	14,7	Singh (2002)
Jerami (kg)	12,5	Singh (2002)

Tabel 3. Perbandingan antara GWP dan indeks emisi karbon pada budi daya padi sistem ITT dengan konvensional

No	Tahap	Parameter	Sistem ITT	Konvensional
1.	Budi daya tanaman pangan	Hasil gabah (kg/ha)	5.908	5.041
		GWP (kg CO_2-e)	5.625	5.924
2.	Budi daya ternak	GWP (kg CO_2-e)	-	18.500
3.	Sekuestrasi karbon dari pengelolaan hasil samping	Biogas (kg CO_2-e)	191.000	-
		Pupuk kandang (kg CO_2-e)	13.600	-
	Total GWP (kg CO_2-e)		5.625	24.424
	Rasio GWP/ hasil		0,95	4,84

KESIMPULAN

LCA pada padi merupakan salah satu alat penting untuk melakukan inventarisasi dan mengevaluasi dampak lingkungan terkait dari suatu sistem produksi. Emisi GRK yang dihasilkan dari praktik budi daya padi di lahan sawah antara perlakuan ramah lingkungan dan konvensional dapat diidentifikasi dari studi yang dilakukan.

Hasil perhitungan menggunakan pendekatan prinsip LCA menujukkan bahwa budi daya padi sistem ITT yang menerapkan prinsip rendah emisi GRK dan ramah lingkungan mengemisikan GRK 80% lebih rendah dibandingkan dengan budi daya padi cara petani. Pada budi daya padi sistem ITT, diterapkan teknologi hemat air dengan pengairan secara selang seling (*intermittent*), pada budi daya ternak diterapkan pemberian hijauan pakan ternak dan suplemen pakan yang rendah emisi, serta kotoran ternak dikelola menggunakan biodigester. Berdasarkan metode LCA, dapat diketahui bahwa kontribusi penurunan emisi terbesar adalah dari pengelolaan kotoran ternak menggunakan biodigester yang dapat memperoleh manfaat tambahan berupa energi terbarukan. Untuk mengurangi sumber utama emisi GRK dari lahan terutama emisi CH_4, disarankan agar fokus diberikan pada peningkatan praktik budi daya, seperti penerapan teknologi pengairan secara *intermittent*, kemudian penggunaan bahan organik yang sudah matang, dan lain-lain.

Pengelolaan limbah dalam budi daya ternak yang menggunakan biodigester harus disesuaikan dengan kepraktisan, waktu dan biaya petani. Perlu dilakukan upaya pengembangan teknik budi daya yang lebih ramah lingkungan dalam skala lebih besar dari LCA itu sendiri karena informasi emisi GRK dari budi daya padi secara konvensional telah banyak diuji.

DAFTAR PUSTAKA

Arvanitoyannis, I.S., 2008. ISO 14040: life cycle assessment (LCA) eprinciples and guidelines. In: Waste Management for the Food Industries, pp. 97-132.

Baumann, H., 1998. Life Cycle Assessment and Decision Making: Theories and Practices. Chalmers University of Technology.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H., 2004. Environ- mental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. Eur. J. Agron. 20 (3), 265-279.

Chauhan, M.K., Chaudhary, S., Kumar, S., 2011. Life cycle assessment of sugar industry: a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 15 (7), 3445-3453.

Gregory, P.J., Ingram, J.S., Brklacich, M., 2005. Climate change and food security. Phil. Trans. Roy. Soc. B Biol. Sci. 360 (1463), 2139-2148.

Hammond, G.P., Jones, C.I., 2008. Embodied energy and carbon in construction materials. Proc. Inst. Civ. Eng. Energy 161 (2), 87-98.

Haque, M.M., Kim, S.Y., Ali, M.A., Kim, P.J., 2014. Contribution of greenhouse gas emissions during cropping and fallow seasons on total global warming potential in mono-rice paddy soils. Plant Soil 387, 251–264. https://doi.org/10.1007/s11104- 014-2287-2ISO 14040, 2006. Environmental Management: Life Cycle Assessment, Principles and Guidelines. International Organization for Standardization, Geneva.

Internasional Organization for Standardization. 2006. ISO 14040:2006. Environmental Management-Life Cycle Asssessment-Principal and Framework. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

Jeswani, H.K., Azapagic, A., Schepelmann, P., Ritthoff, M., 2010. Options for broad- ening and deepening the LCA approaches. J. Clean. Prod. 18 (2), 120-127.

Rao, A.N., Wani, S.P., Ramesha, M.S., Ladha, J.K., 2017. Rice Production Systems 185–206. https://doi.org/10.1007/978–3-319–47516-5.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.P., Suh, S., Weidema, B.P., Pennington, D.W., 2004. Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environ Int. 30(5):701-20. doi: 10.1016/j.envint.2003.11.005. PMID: 15051246.

Redfern, S.K., Azzu, N., Binamira, J.S., 2012. Rice in Southeast Asia: Facing Risks and Vulnerabilities to Respond to Climate Change.

Schmidhuber, J., Tubiello, F.N., 2007. Global food security under climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 104 (50), 19703-19708.

Shafie, S.M., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., 2014. Life cycle assessment of rice straw- based power generation in Malaysia. Energy 70, 401-410.

[TNC] Third National Communication, 2017. Laporan Komunikasi Nasional Indonesia Ketiga kepada UNFCCC. Jakarta.