

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG MANAJEMEN TEKNOLOGI

KONTRIBUSI METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN



**OLEH:
ANUGERAH WIDIYANTO**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 26 OKTOBER 2022**

KONTRIBUSI METODE
LIFE CYCLE ASSESSMENT BIOMASSA
UNTUK AGROINDUSTRI
BERKELANJUTAN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG MANAJEMEN TEKNOLOGI**

**KONTRIBUSI METODE
LIFE CYCLE ASSESSMENT BIOMASSA
UNTUK AGROINDUSTRI
BERKELANJUTAN**

**OLEH:
ANUGERAH WIDIYANTO**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 26 OKTOBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Direktorat Kebijakan Pembangunan Manusia, Kependudukan, dan Kebudayaan

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Kontribusi Metode *Life Cycle Assessment* Biomassa untuk Agroindustri Berkelanjutan/
Anugerah Widiyanto–Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xi + 102 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-06-6 (cetak)
978-623-8052-05-9 (e-book)

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1. <i>Life Cycle Assessment</i> | 2. Biomassa |
| 3. Agroindustri | 4. Berkelanjutan |

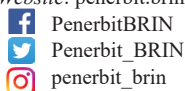
338.1

Copy editor : Risma Wahyu Hartiningsih
Proofreader : Anton Winarko & Dhevi E.I.R. Mahelingga
Penata Isi : Dhevi E.I.R. Mahelingga
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan Pertama : Oktober 2022



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id



BIODATA RINGKAS



Anugerah Widiyanto, lahir di Jakarta pada tanggal 18 April 1969 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak H. Samidjo, B.A. (alm.) dan Ibu Hj. Sri Suwarni. Menikah dengan Dra. Erwina Widjajawati, M.P.St. dan dikarunai empat orang anak, yaitu Ganesha Afnan Adipradana, Ghania Arina Maharani, Ghaisani Farzana Itqan, dan Ghazali Akmal Yusuf.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama di lingkungan BRIN terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala BRIN Nomor 299/I/HK/2022, tanggal 6 Oktober 2022 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar (SD) Hang Tuah 1, Tanjung Pinang, pada tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 77 Jakarta pada tahun 1984, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Jakarta pada tahun 1987. Pada tahun 1988, mendapatkan beasiswa STMDP-1 BPPT untuk melanjutkan pendidikan Sarjana (S-1) Mechanical and Materials Engineering di Mie University, Jepang, lulus pada tahun 1994. Pada tahun 1999, mendapatkan beasiswa Monbusho untuk melanjutkan studi magister (S-2) Mechanical Engineering di Mie University, Jepang dan lulus tahun 2001. Mendapatkan beasiswa Monbukagakusho untuk melanjutkan studi doktoral (S-3) Systems Engineering di Mie University, Jepang dan lulus pada tahun 2004.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: pelatihan di bidang *Thermodynamics*, beasiswa dari Monbusho Research Training Program, di Mie University, Jepang (1998); pelatihan di bidang *Energy Systems Design*, beasiswa dari Monbusho Research Training Program, di Mie University, Jepang (1998–1999); Post-Doctoral Research di Faculty of Bioresources, Mie University, Jepang (2004–2006); Post-Doctoral Research di Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Jepang (2006–2008); dan Post-Doctoral Research di International Cooperation Center for Engineering Education Development (ICCEED), Toyohashi University of Technology, Jepang (2008–2010).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Pelaksana Tugas (Plt.) Kepala Bidang Kapasitas Absorpsi, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi (tahun 2012–2014); Kepala Bidang Kapasitas Absorpsi, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi (tahun 2014); Kepala Balai Inkubator Teknologi, Deputy Pengkajian Kebijakan Teknologi (tahun 2014–2016); Kepala Balai Inkubator Teknologi, Pusat Teknopreneur dan KLAS-ter Industri, Deputy Pengkajian Kebijakan Teknologi, BPPT (tahun 2016–2020); dan Plt. Direktur Kebijakan Pembangunan Manusia, Kependudukan dan Kebudayaan, Deputy Kebijakan Pembangunan, BRIN (2022–sekarang).

Diangkat menjadi Peneliti Ahli Madya (IV/c) terhitung mulai tanggal 1 April 2014 dan menjadi Peneliti Ahli Utama (IV/e) terhitung mulai tanggal 3 Agustus 2021.

Menghasilkan 129 karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun berkolaborasi dengan penulis lain. Karya tulis yang dihasilkan terdiri dari 9 buku/bagian dari buku, 22 jurnal internasional, 2 jurnal nasional, 89 prosiding internasional, dan

7 prosiding nasional. Sebanyak 7 naskah ditulis dalam bahasa Indonesia, 84 naskah dalam bahasa Inggris, dan 38 naskah dalam bahasa Jepang.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing kader ilmiah peneliti dan perekayasa di BPPT, pembimbing dan penguji mahasiswa S-1, S-2, dan S-3 di Toyohashi University of Technology, Jepang; UNS Surakarta; serta IPB Bogor dan pernah mengajar di Ritsumeikan Asia Pacific University, Jepang.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai anggota The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) (1998–2004); The Society of Chemical Engineers, Japan (SCEJ) (2006–2008); dan sebagai anggota Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)(2020–sekarang).

Menerima tanda Penghargaan The Bronze Poster Award dan The Best Paper Award (2008) dari The Institute of Life Cycle Assessment, Japan; Innovation and Entrepreneurship Award dari Industrial Engineering and Operation Management (IEOM) Society (2021), serta Satyalancana Wirakarya (2013), Penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (1999), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (2009), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (2019) dari Presiden Republik Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. PERKEMBANGAN METODE <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i>	4
2.1 Perkembangan <i>Life Cycle Assessment</i> pada Masa Lalu	4
2.2 Perkembangan <i>Life Cycle Assessment</i> Saat Ini	5
2.3 Perkembangan <i>Life Cycle Assessment</i> Masa Depan	7
III. RISET <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i> BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN	11
3.1 Riset Karakteristik <i>Life Cycle Inventory</i>	11
3.2 Riset Karakteristik <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	17
IV. PENERAPAN METODE <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i> BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN ...	20
4.1 Penerapan Metode <i>Life Cycle Assessment</i> di Sektor Perkebunan	20
4.2 Penerapan Metode <i>Life Cycle Assessment</i> di Sektor Agroindustri	22
4.3 Penerapan Metode <i>Life Cycle Assessment</i> di Sektor Regional	24
V. POTENSI METODE <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i> BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN DAN KEBIJAKAN PENGEMBANGAN	27
5.1 Potensi Penerapan <i>Life Cycle Assessment</i> Biomassa	27
5.2 Rekomendasi Metode <i>Life Cycle Assessment</i> dalam Mendukung Kebijakan Pemerintah untuk Pemanfaatan Biomassa	30
VI. KESIMPULAN	33
VII. PENUTUP	35
UCAPAN TERIMA KASIH	36
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	54
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH	66
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	85

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, Kepala BRIN yang terhormat, Deputy Kebijakan Pembangunan, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“KONTRIBUSI METODE
LIFE CYCLE ASSESSMENT BIOMASSA
UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber bahan biomassa, baik jenis maupun jumlahnya. Sampai dengan saat ini, biomassa yang paling potensial dari segi ketersediannya adalah kelapa sawit dengan luas lahan panen 9.277.690 ha dan produksi minyak kelapa sawit/*crude palm oil* (CPO) lebih dari 43×10^6 ton-CPO/tahun¹. Gambaran potensi tanaman sumber biomassa yang potensial disajikan pada Tabel 1. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi di agroindustri akan memberikan penghematan biaya produksi, tersedianya bahan bakar ramah lingkungan yang berkontribusi terhadap pengurangan dampak pemanasan global, dan target *net zero emission*.

Pada era globalisasi, industri dituntut untuk memperbaiki sistem produksinya agar menghasilkan produk massal yang kompetitif dan ramah lingkungan^{2,3}. Produk dengan kategori tersebut dapat dicapai dengan menyeimbangkan tiga pilar pembangunan berkelanjutan, yakni keuntungan ekonomi, keseimbangan ekologi, dan kepedulian lingkungan sosial^{4,5,6,7,8}. Keseimbangan tiga pilar tersebut dalam proses produksi atau eko-efisiensi produksi menjadi landasan pelaksanaan produksi demi pencapaian produktivitas yang optimal dan lestari. Upaya pencapaian eko-efisiensi produksi dapat dicapai dengan pemilihan teknologi, bahan baku, dan proses produksi yang memiliki potensi dampak lingkungan paling minimal⁹.

Salah satu perangkat untuk mengukur tingkat penerapan eko-efisiensi suatu sistem produksi adalah *life cycle assessment* (LCA)^{10,11}. LCA merupakan suatu metode untuk menganalisis dan memperhitungkan dampak lingkungan total, baik yang positif maupun negatif dari suatu proses atau produk sehingga dihasilkan proses atau produk yang lebih ramah lingkungan. Lingkup perhitungannya dimulai dari persiapan bahan mentah,

proses produksi, proses penjualan dan transportasi, proses penggunaan, serta pembuangan produk yang kesemuanya didasarkan pada ISO 14040.

Di luar negeri, kajian LCA sudah banyak dilakukan secara luas, baik pada sektor pemerintahan¹², sektor industri^{13,14,15,16,17}, sektor bahan bangunan^{18,19,20,21,22}, sektor pembangkit tenaga listrik^{23,24,25,26,27}, maupun pengelolaan *end-of-life* dari sebuah produk^{28,29}. LCA saat ini sudah menjadi dokumen resmi, baik untuk kepentingan pengelolaan proses produksi maupun untuk kepentingan pengembangan inovasi hijau. Implementasi produk LCA di industri yang terkait dengan pengelolaan produk adalah proses perancangan produk, peningkatan produksi, pemasaran, *eco-labelling*, *environmental product declaration* (EPD), *product design planning* (PDP), dan *quality function deployment for environment* (QFDE)³⁰.

Penerapan metode LCA digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan global dan regional secara numerik dan menyeluruh. Perangkat lunak LCA telah dikembangkan sebagai alat untuk memenuhi persyaratan ISO-LCA. Basis data inventaris dan basis data penilaian telah dikembangkan untuk menganalisis dan membandingkan dampak lingkungan dari sebuah produk. Sebagai studi kasus, estimasi kinerja lingkungan pada pemanfaatan biomassa di sektor agroindustri akan dibahas secara terperinci dalam orasi ini.

Agroindustri menghasilkan residu biomassa multifase dan multikomponen dalam jumlah besar berbentuk cair, padat, dan gas. Komposisi residu biomassa bervariasi menurut sumber bahan baku, sifat produk, dan langkah pengolahan. Kandungan residu biomassa, baik padat maupun cair dari agroindustri pada umumnya banyak mengandung bahan organik yang terdiri dari serat, karbohidrat, protein, lemak, dan minyak. Pada residu biomassa cair, parameter yang digunakan untuk menunjukkan

karakteristiknya adalah *biochemical oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), dan padatan tersuspensi³¹. Tingginya nilai parameter residu biomassa cair ini menunjukkan besarnya potensi energi serta besarnya dampak pencemarannya terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik³².

Berbagai penelitian telah dilakukan dalam meminimalkan beban pencemaran lingkungan, baik melalui pengolahan residu biomassa sebelum dibuang maupun pemanfaatan komponen yang masih memiliki nilai ekonomi³³. Pemanfaatan residu biomassa dapat dilakukan secara kolektif dalam rantai nilai untuk memenuhi skala ekonomi³⁴ dan kelayakan teknis melalui daur ulang, penggunaan kembali di tempat sebagai bahan baku serta sumber energi^{35,36,37,38}.

Konsep ekologi industri dimasukkan ke dalam disiplin perencanaan industri dan regional³⁹ yang menciptakan kawasan industri, pembangkit ko-generasi^{40,41,42,43,44}, taman industri (*industrial park*) yang berkelanjutan secara ekologis, simbiosis industri, dan sinergi produk⁴⁵. Tahap perencanaan harus mempertimbangkan semua variabel secara komprehensif untuk meningkatkan daya saing bisnis, mengurangi limbah dan polusi, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan kondisi kerja^{46,47}.

Dalam naskah orasi ini akan diuraikan perkembangan metode LCA dari tahun 1970 hingga sekarang dan prospek ke depannya. Kemudian dilanjutkan dengan uraian riset *inventory data* LCA dan kajian dampak dengan metode LCA. Dari hasil riset, didapat gagasan penerapan metode LCA pada pemanfaatan biomassa untuk agroindustri berkelanjutan. Paparan dilanjutkan dengan penjelasan potensi penerapan LCA pada teknologi pemanfaatan biomassa dan rekomendasi kebijakan untuk mendukung swasembada energi dan agroindustri berkelanjutan, kemudian dilanjutkan dengan kesimpulan serta penutup.

II. PERKEMBANGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT*

Metode *life cycle assessment* (LCA) telah berkembang pesat selama tiga dekade terakhir. Pada awalnya, LCA hanya berupa analisis energi, selanjutnya berkembang menuju analisis beban lingkungan yang komprehensif pada tahun 1970-an. *Life cycle impact assessment* yang lengkap dan model *life cycle costing* diperkenalkan pada tahun 1980-an dan 1990-an. Kemudian, LCA sosial muncul di dekade awal abad ke-21.

2.1 Perkembangan *Life Cycle Assessment* pada Masa Lalu

Studi awal LCA berasal dari awal 1970-an, periode ketika masalah lingkungan, seperti efisiensi sumber daya dan energi, pengendalian polusi, dan limbah padat menjadi isu yang menjadi perhatian publik secara luas. Saat itu, fokus dari studi dampak lingkungan terbatas hanya pada tahap penggunaan produk. Pada tahun 1969, studi dampak lingkungan pertama kali dilakukan pada produk yang dihasilkan oleh produsen minuman Amerika. Pada awal tahun 1980-an, mulai muncul ide pemikiran untuk mengimplementasikan LCA pada penggunaan sumber daya⁴⁸. Tahun 1990-an merupakan periode perkembangan LCA sebagai instrumen untuk melakukan asesmen dampak lingkungan. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) merupakan organisasi nonprofit yang pertama mengimplementasikan konsep LCA pada penelitian yang berhubungan dengan lingkungan⁴⁹. Kemudian pada tahun 1997, International Organization for Standardization (ISO) menetapkan LCA sebagai standar instrumen yang dapat digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan pada semua industri. Standardisasi LCA diatur di dalam ISO 14040⁵⁰.

Konsep dasar penerapan LCA di industri didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak lepas kaitannya dengan lingkungan tempat industri itu berada. Dalam suatu sistem industri, terdapat input yang berupa material yang diambil dari lingkungan dan output akan dibuang kembali ke lingkungan. Penggunaan material input yang berlebihan akan menyebabkan makin berkurangnya persediaan material, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri berupa limbah (padat, cair, udara) dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, kajian LCA digunakan untuk meminimalkan pemakaian material dari lingkungan dan dampak lingkungan dari limbah industri sepanjang umur produk (*cradle to grave*)^{50,51,52}.

2.2 Perkembangan *Life Cycle Assessment* Saat Ini

LCA berkembang pesat pada tahun 2000-an, yang diawali penetapan kebijakan wajib implementasi ISO 14040 pada semua produk di Eropa. Penetapan kebijakan tersebut diatur oleh European Commission on Integrated Product Policy (ECIPP). Dalam perkembangannya, ECIPP mengembangkan konsep LCA menjadi sebuah pedoman yang dituangkan ke dalam *International Reference Life Cycle Data System Handbook* (ILCD) dan dipublikasikan pada tahun 2010. Hampir semua pemerintah di seluruh dunia mendorong penggunaan LCA sehingga LCA telah menjadi metode penting dalam pengambilan kebijakan lingkungan di Uni Eropa, Amerika Serikat, Jepang, Korea, Kanada, dan Australia⁵³.

Perkembangan tersebut ditindaklanjuti oleh United Nations Environment Program (UNEP) dan SETAC dengan menyusun sebuah instrumen penilaian bagi industri yang mengklaim dirinya sebagai penghasil produk ramah lingkungan^{49,52}. Environmental Product Declarations (EPD) merupakan istilah

yang sering digunakan untuk mendeklarasikan produk ramah lingkungan. Setelah diterapkannya EPD, era ini menjadi awal berkembangnya implementasi LCA secara pesat pada hampir semua sektor termasuk sektor industri. Perkembangan implementasi LCA sampai dengan penetapan standar penggunaan material yang berlabel EPD pada produk industri. Material produk industri berlabel EPD menunjukkan apakah material tersebut jika diaudit memiliki nilai keberlanjutan atau tidak⁵³.

LCA juga menjadi faktor penting dalam kebijakan Eropa, seperti telah disampaikan pada pemberitahuan dari Commission of the European Communities (CEC) tentang Kebijakan Produk Terpadu (Integrated Product Policy/IPP). Selain itu, *life cycle thinking* digunakan juga untuk strategi tematik Penggunaan Sumber Daya Berkelanjutan dan Pencegahan serta Daur Ulang Limbah. Dalam pemberitahuan Kebijakan Produk Terpadu (IPP) 2003, Komisi Eropa menggarisbawahi pentingnya LCA dan kebutuhan untuk mempromosikan penerapan *life cycle thinking* di antara para pemangku kepentingan IPP. Dalam periode yang sama, kebijakan lingkungan makin berbasis siklus hidup di seluruh dunia. Hal ini dapat dilihat dari adanya penerapan standar *carbon footprint* yang berbasis LCA⁵³.

Kerangka kerja LCA berdasarkan ISO 14040 terdiri dari empat tahap, yaitu penentuan *goal and scope definition*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment*, dan *interpretation* (Gambar 1). Penentuan *goal and scope definition* penting dilakukan agar penilaian dampak lingkungan dari produk/jasa dapat konsisten. Tahap kedua adalah *life cycle inventory*, yaitu dilakukan kompilasi dan kuantifikasi *input* dan *output* dari produk sepanjang daur hidupnya. *Input* terdiri dari bahan baku, bahan pendukung, air, dan energi, yang masuk ke dalam proses.

Output terdiri dari produk, *by-product*, *co-product*, emisi udara, emisi ke air, dan tanah. Model, jenis data, dan proses perhitungan yang dilakukan dijelaskan di dalam tahap inventori LCA secara transparan.

Pada tahap *life cycle impact assessment*, semua *input* dan *output* pada tahapan *life cycle inventory* dihubungkan dengan potensi dampak lingkungan untuk mengevaluasi besaran (*magnitude*) dan signifikansi potensi dampak lingkungan sistem produk sepanjang daur hidup produk yang dikaji. Setiap kategori dampak lingkungan mempunyai indikator kategorinya masing-masing. Indikator kategori untuk dampak potensi pemanasan global adalah CO₂-ekuivalen. Hasil perhitungan dari penilaian dampak daur hidup adalah nilai karakterisasi.

Tahap terakhir dari LCA adalah tahap *interpretation*. Pada tahap ini, pembahasan mengenai analisis hasil, analisis penyebab dampak, identifikasi isu penting, pengambilan kesimpulan, penjelasan keterbatasan kajian, rekomendasi, dan evaluasi dilakukan secara transparan. Perincian dari metode LCA dapat dilihat di SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017.

Kajian LCA di Indonesia saat ini masih dalam tahap perkembangan dan jumlah publikasi ilmiah terkait LCA relatif rendah dibandingkan negara Asia Tenggara lainnya. Namun, kajian LCA mulai menunjukkan peningkatan dalam lima tahun terakhir dengan variasi sistem produk yang diteliti meliputi minyak sawit, biodiesel, bioetanol, kompos, bensin, *mini hydro power*, dan sistem pembangkit listrik⁵⁴.

2.3 Perkembangan *Life Cycle Assessment* Masa Depan

Proses bisnis yang berkelanjutan merupakan suatu keharusan yang akan digencarkan para pelaku bisnis dan industri. Perkembangan proses bisnis akan diarahkan menuju *circular*

economic development yang memiliki fokus pada tujuan pelestarian lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengembangkan hal tersebut, beberapa *tools* dapat digunakan, seperti *life cycle assessment*, *supply chain modelling*, dan *circular economy*^{54,55}.

LCA dapat digunakan untuk membantu pembuatan keputusan dalam strategi bisnis karena kemampuannya dalam mengidentifikasi dan menguantifikasikan semua bahan yang berkaitan, seperti emisi dan limbah yang dihasilkan. Keuntungan lain dari penggunaan LCA adalah kemampuannya dalam hal memberikan alternatif penurunan dampak lingkungan. LCA juga dapat digunakan untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK), audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumber daya alam, seperti tanah, air, energi, dan sumber daya alam lainnya⁵⁶.

Pada masa mendatang, LCA dapat diterapkan secara luas, baik pada sektor pemerintahan maupun pada sektor industri. LCA dapat menjadi dokumen resmi yang digunakan, baik untuk kepentingan pengelolaan proses produksi maupun untuk kepentingan pengembangan inovasi hijau. Beberapa produk LCA yang terkait dengan pengelolaan produk, seperti proses perancangan produk, peningkatan produksi, dan pemasaran antara lain *eco-labelling*, EPD, dan PDP. Aplikasi dan manfaat LCA dalam kebijakan serta bisnis lingkungan ditunjukkan pada Gambar 2⁵⁷.

LCA dapat memberikan dukungan teknis kepada para pembuat kebijakan *circular economy*, untuk menilai berbagai indikator dampak lingkungan, seperti penggunaan air, energi, perubahan iklim, dan bahan baku. LCA juga dapat diterapkan untuk mengidentifikasi strategi dan opsi *circular economy* yang paling menjanjikan untuk meningkatkan kinerja lingkungan dari pola konsumsi dan produksi masyarakat⁵⁸.

LCA juga dapat membawa perspektif holistik ke dalam pengambilan keputusan dengan membuat penilaian tidak hanya dalam aspek lingkungan, tetapi juga dalam aspek ekonomi dan sosial. Penggunaan LCA membantu meningkatkan posisi kompetitif dan mengubah strategi perusahaan, pasar, dan industri untuk menciptakan nilai. Secara umum, LCA dapat diterapkan untuk pengambilan keputusan dan penciptaan nilai dalam situasi yang berbeda^{58,59}. Aplikasi dan manfaat LCA dalam kebijakan serta bisnis lingkungan adalah sebagai berikut.

- 1) Inovasi. LCA digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari peningkatan produk, pengembangan produk, atau inovasi teknis.
- 2) Perencanaan strategis. Sebuah studi LCA dilakukan untuk menilai dampak lingkungan dari skenario strategis.
- 3) Perbandingan. Studi LCA dilakukan untuk menilai apakah suatu produk atau sistem memenuhi standar lingkungan tertentu atau apakah produk atau sistem itu lebih ramah lingkungan daripada produk atau sistem lain.
- 4) Klaim komparatif diungkapkan kepada publik. Sebuah studi LCA bertujuan untuk memberikan pernyataan lingkungan tentang keunggulan atau kesetaraan produk versus produk pesaing yang melakukan fungsi yang sama.
- 5) Mempromosikan pengembangan produk baru.
- 6) Menganalisis asal-usul masalah yang terkait dengan produk tertentu dan merekomendasikan perbaikan.

Pada masa mendatang, cakupan riset LCA akan lebih luas dan dalam, dari aspek lingkungan tradisional ke analisis keberlanjutan siklus hidup (*life cycle sustainability assessment/ LCSA*) yang lebih komprehensif. LCSA adalah kerangka

integrasi model multidisiplin dan transdisiplin, serta merupakan metode penggabungan antara LCA, *life cycle costing* (LCC), serta *social life cycle assessment* (SLCA). Ketiga metode tersebut memiliki fungsi yang berbeda, LCA sebagai metode untuk menilai dampak lingkungan, LCC menilai dampak ekonomi yang dihasilkan, serta SLCA menilai dampak sosial yang dihasilkan dari serangkaian siklus hidup sebuah produk.

Integrasi dari ketiga metode tersebut sangat dibutuhkan guna mencapai *sustainable development goals* (SDGs). Bagi periset, selanjutnya diharapkan untuk terus mengembangkan konsep ini, baik dalam bentuk studi kasus maupun studi literatur. Selain itu, LCA adalah penilaian *sustainability* berdasarkan siklus hidupnya maka pengumpulan data dapat menjadi tantangan tersendiri bagi periset. Oleh karena itu, hasil dari orasi ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan baru bagi periset berikutnya mengenai LCA dan *sustainable agroindustry*.

III. RISET *LIFE CYCLE ASSESSMENT* BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN

Untuk mengembangkan LCA yang sesuai dengan karakter lingkungan Indonesia, informasi dasar tentang *life cycle inventory* (LCI) data di Indonesia perlu dikembangkan. Hal yang perlu menjadi perhatian adalah masih sedikitnya penelitian tentang LCA di Indonesia karena terbatasnya jumlah ahli LCA dan kurangnya database LCI yang memadai dan relevan dengan kondisi Indonesia. Oleh karena itu, pada umumnya, data LCI menggunakan nilai *inventory data* luar negeri. Pada bab ini dijelaskan pengembangan data LCI untuk pemanfaatan biomassa pada industri, khususnya agroindustri dan evaluasi dampak lingkungan (*Life Cycle Impact Assessment/LCIA*) sistem industri, termasuk agroindustri di Indonesia dari sudut pandang LCA.

3.1 Riset Karakteristik *Life Cycle Inventory*

Riset LCI terdiri atas analisis aliran material dan energi dari suatu sistem yang dikaji dengan batasan sistem yang ditentukan. LCI merupakan tahapan dalam LCA yang berhubungan dengan pengumpulan dan perhitungan input dan output pada sebuah produk atau jasa selama masa siklus hidupnya. Setelah dilakukan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan pengolahan yang meliputi validasi data, menghubungkan data dengan unit proses, dan merelasikan data dengan alur proses fungsional. Tahapan LCI membutuhkan porsi waktu dan data paling banyak di antara tahapan LCA yang lain. Hasil dari LCI berupa daftar input dan output per tahapan dari *life cycle* produk atau jasa yang dikaji. Dari data tersebut akan diketahui tingkat konsumsi dan emisi yang dihasilkan dari setiap tahapan siklus hidup⁶⁰.

Dalam melakukan riset LCI produk industri, dikembangkan *LCA-inventory database* dan perangkat lunak *computer aided engineering* (CAE) yang dapat menerapkan metode LCA-NETS (Numerical Eco-load Total Standardization)^{61,62}. Adanya format ikon interaktif memungkinkan untuk melakukan proses dari input data hingga perhitungan, evaluasi, dan analisis dalam serangkaian langkah, sehingga dapat dengan mudah dan cepat menyajikan skema eko-operasi untuk produk industri⁶³.

Perangkat lunak LCA dikembangkan untuk mempermudah proses perhitungan dan analisis LCI. Perangkat lunak LCA belum dikenal secara luas di Indonesia. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu perangkat lunak yang dapat menjadi alat bantu dalam pengambilan keputusan mengenai efisiensi produksi dan pengurangan dampak lingkungan guna mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

Perangkat lunak Mie-LCA (Mie: Multi Indicator for Eco-load) (Gambar 3)^{64,65,66} adalah suatu program untuk memudahkan dalam menganalisis energi, emisi, dan dampak yang mungkin ditimbulkan oleh produk industri atau jasa, serta memudahkan pengelola, pelaku usaha, dan pengambil kebijakan untuk mengevaluasi proses pengolahan dan penanganan limbah pada industri. Perangkat lunak Mie-LCA sudah diterapkan untuk menganalisis dampak lingkungan pada *vending machine*, *refrigerator*, mesin cuci, pendingin ruangan, sepeda motor, mobil, ko-generasi, dan sistem pembangkit listrik. Pada subsubbab berikut akan dibahas aspek yang terkait dengan desain LCA biomassa untuk agroindustri berkelanjutan, yaitu pemodelan *material flow analysis*, model pemanfaatan biomassa agroindustri, dan konversi energi biomassa.

3.1.1 Riset Pemodelan *Material Flow Analysis*

Untuk menganalisis diagram aliran material yang terjadi selama proses produksi, digunakan pendekatan *material flow analysis* (MFA). Penyusunan model MFA didasarkan pada hubungan matematis berbagai fenomena dalam sistem yang menggambarkan kondisi proses yang terjadi. Model generik MFA yang diterapkan pada suatu kegiatan agroindustri sesuai dengan *proses flow* aktualnya digunakan untuk menganalisis tingkat swasembada energi agroindustri. Widiyanto dan Kamahara telah mengembangkan model MFA untuk produksi CPO dan turunannya^{67,68,69,70,71} yang kemudian dikembangkan lebih lanjut untuk beberapa agroindustri lain, seperti pabrik gula^{72,73,74} dan pabrik tapioka^{75,76,77,78,79}. Pengembangan model MFA digunakan untuk menganalisis dan menentukan tingkat swasembada energi pada agroindustri. Gambar 4 mengilustrasikan tahapan proses hipotesis suatu agroindustri⁸⁰. Dalam hal ini, setiap tahapan produksi biodiesel dapat dibuat menjadi satu kompartemen sebagai dasar pembuatan persamaan keseimbangan massa.

Model MFA merupakan alat untuk menganalisis dan memperkirakan kecukupan material dan energi di agroindustri dengan melibatkan banyak faktor yang saling terkait satu sama lain. Faktor pada model MFA dapat berupa bahan baku, kebutuhan energi, produk, dan produk samping. Pendekatan yang komprehensif mencakup semua langkah proses dari persiapan bahan mentah hingga produk akhir⁸⁰.

3.1.2 Riset Pemodelan Pemanfaatan Biomassa Agroindustri

Tujuan riset pemodelan pemanfaatan biomassa agroindustri adalah mengembangkan model sistem tertutup proses produksi agroindustri, khususnya minyak kelapa sawit dengan memanfaatkan hasil samping residu biomassa dari agroindustri kelapa sawit. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan

kegiatan berikut: (i) menghitung neraca massa dan energi proses produksi minyak kelapa sawit; (ii) menganalisis hasil kuantifikasi residu biomassa dan proses produksi minyak kelapa sawit yang berpotensi sebagai sumber energi; (iii) mengevaluasi pemanfaatan residu biomassa sebagai sumber energi; dan (iv) memilih teknologi konversi residu biomassa menjadi energi yang layak secara teknis dan ekonomis sebagai sumber energi⁸¹.

Residu biomassa yang dihasilkan dari agroindustri adalah multifase dan multikomponen dengan jumlah besar dalam bentuk cair, padat, dan gas. Komposisi residu biomassa bervariasi menurut sumber bahan baku, sifat produk, operasi, dan langkah pengolahan. Pada umumnya residu biomassa cair dari agroindustri banyak mengandung bahan organik, yang ditunjukkan dengan tingginya nilai BOD, COD, dan padatan tersuspensi. Karakteristik residu biomassa cair ini menunjukkan potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi, tetapi jika tidak dikelola dengan baik akan berpotensi menimbulkan dampak pencemaran yang besar terhadap lingkungan⁸².

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meminimalkan beban pencemaran lingkungan, baik melalui pengolahan limbah sebelum dibuang maupun pemanfaatan komponen yang masih memiliki nilai ekonomi. Pemanfaatan limbah dapat dilakukan secara kolektif dalam rantai nilai untuk memenuhi skala ekonomi dan kelayakan teknis atau melalui daur ulang, pemulihan, dan pemanfaatan di tempat sebagai sumber energi. Pemanfaatan dan pengambilan potensi energi yang terbuang dari sistem harus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja agroindustri secara keseluruhan. Potensi energi yang terbuang ini berupa residu biomassa yang pemanfaatannya belum maksimal. Oleh karena itu, perhitungan neraca massa dan energi yang dilanjutkan dengan pengolahan limbah biomassa pabrik kelapa

sawit menjadi energi perlu dilakukan untuk memastikan bahwa model tertutup ini dapat diterapkan pada agroindustri kelapa sawit⁸³.

Selain mengonversi residu biomassa kelapa sawit menjadi berbagai produk yang mempunyai nilai tambah, residu biomassa padat dan cair dari kelapa sawit juga memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan. Pemanfaatan residu biomassa kelapa sawit sebagai sumber energi akan memberi dampak positif terhadap lingkungan, seperti pengurangan emisi CO₂. Residu biomassa kelapa sawit, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat, dan cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap, yang dibutuhkan untuk kegiatan pengolahan minyak sawit dan untuk menghasilkan listrik. Hidrogen merupakan bahan bakar sintesis yang dapat diperoleh dari sumber energi terbarukan, seperti residu biomassa kelapa sawit. Gasifikasi merupakan salah satu teknologi untuk memproduksi hidrogen dari TKKS, serat, dan cangkang kelapa sawit, yang dapat digunakan untuk gasifikasi.

3.1.3 Riset Pemodelan Konversi Energi Biomassa

Riset pemodelan konversi residu biomassa untuk energi telah dianalisis dengan aspek dan metode yang beragam, seperti konversi biokimia⁸⁴, pengolahan anaerobik⁸⁵, biohidrogen dan biometana⁸⁶, listrik biogas⁸⁷, pirolisis dan gasifikasi⁸⁸, produksi bioetanol⁸⁹, pembangkitan gas metana⁹⁰, energi dari sisa makanan⁹¹, dan pemanenan biogas⁹². Sejalan dengan pemanfaatannya sebagai sumber energi, pengolahan residu biomassa dari agroindustri juga dilakukan untuk menghasilkan produk yang hemat biaya dalam jangka panjang⁹³.

Pengembangan kawasan agroindustri akan makin sulit karena produksi bahan baku makin menyebar, skala produksi makin kecil, permintaan produk makin beragam, dan daya

dukung lingkungan makin menurun⁹⁴. Dalam situasi seperti itu, pengurangan limbah dan pencegahan polusi harus berada di tingkat prioritas utama di masing-masing sektor industri. Mengoptimalkan pengelolaan residu biomassa melalui penggunaan kembali, pemanfaatan, dan daur ulang dapat membantu mengendalikan eksploitasi sumber daya alam (bahan baku) dan pencemaran lingkungan⁹⁴.

Analisis potensi swasembada energi membutuhkan data konsumsi energi aktual untuk dibandingkan dengan hasil model. Tingkat kecukupannya bervariasi tergantung pada komoditas, teknologi yang digunakan, dan kapasitas agroindustri. Data pendukung untuk menghitung energi dari setiap produk samping dikumpulkan dari literatur dan survei lapangan. Energi potensial yang dihitung kemudian didistribusikan melalui jaringan energi rantai proses untuk mengembangkan proses produksi yang mandiri energi. Perbandingan antara pemulihan energi total dan konsumsi energi menentukan tingkat kecukupan energi masing-masing agroindustri⁹⁵.

Untuk mendapatkan energi potensial, jumlah residu biomassa dari model neraca massa kemudian dikalikan dengan kandungan energi masing-masing residu biomassa. Konversi energi digunakan untuk menghitung panas *steam* dan listrik yang dibutuhkan untuk mendukung proses produksi. Beberapa contoh diberikan untuk menunjukkan bahwa agroindustri berpotensi menjadi industri yang mandiri energi dengan menerapkan prinsip *less input* dan *multiple output* melalui pemanfaatan kembali, pemulihan, dan daur ulang limbah. Potensi energi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Potential energy (MJ)} = \text{mass (ton)} \times \text{calorific value (MJ/ton)} \quad (1)$$

Total biomassa dihitung dari model neraca massa, sedangkan nilai kalor diperoleh dari berbagai literatur⁸⁰.

3.2 Riset Karakteristik *Life Cycle Impact Assessment*

Riset karakteristik *life cycle impact assessment* (LCIA) bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi seberapa besar dan seberapa signifikan dampak lingkungan potensial pada suatu sistem produk melalui siklus hidup produk tersebut. Pada tahap LCIA, semua masukan dan keluaran pada tahapan inventori daur hidup dihubungkan dengan potensi dampak lingkungan untuk mengevaluasi besaran (*magnitude*) dan signifikansi potensi dampak lingkungan dari sistem produk sepanjang daur hidup produk yang dikaji. Dalam LCIA terdapat empat elemen utama, yaitu *classification*, *characterization*, *normalization*, dan *weighting*^{96,97}.

Perbaikan lingkungan dari sudut pandang *life cycle management* (LCM), seperti LCA terkonsolidasi dan *life cycle costing* (LCC) harus diterapkan untuk mewujudkan produk sadar lingkungan (*environmental conscious product*: ECP). *Green productivity index* (GPI), yang merupakan salah satu pengembangan indikator Eco-load dari masalah trilema 3E (energi, ekonomi, dan ekologi), serta solusi simultan berdasarkan LCM agar segera direalisasikan untuk inovasi hijau, produk hijau dan masa depan masyarakat berkelanjutan⁹⁸.

LCA sebagai salah satu alat pendukung pengambilan keputusan yang efektif untuk menganalisis dan mengevaluasi dampak teknologi serta merekomendasikan perbaikan lingkungan sehingga industri memenuhi syarat dengan standar kualitas ISO 14040. Produk industri perlu dikembangkan sebagai strategi ECP. *Computer aided engineering* (CAE) berbasis LCA dapat mendukung dari sisi solusi teknis, yang dikombinasikan dengan LCC sebagai alat analisis dan evaluasi biaya sehingga dapat tercapai strategi produksi ECP^{99,100}.

Tabel 2 menunjukkan teknik konsolidasi LCA Numerical Eco-load Total Standardization (LCA-NETS) yang dibandingkan dengan skema tipikal LCA konsolidasi lainnya, seperti metode Eco-point (EP), Environmental Priority Strategies (EPS), dan *Environmental load point* (ELP)¹⁰¹. Metode Eco-point (EP) dikembangkan oleh Badan Lingkungan Swiss (*Swiss Environmental Agency*, BUWAL). Metode ini didasarkan pada berbagai indikator yang dibobot dan dijumlahkan berdasarkan seberapa dekat tingkat emisi saat ini dengan tingkat target Pemerintah Swiss. Metode ini cukup bagus, tetapi tidak dapat diimplementasikan pada saat memperhitungkan emisi yang dihasilkan di luar Swiss.

Strategi Prioritas Lingkungan (Environmental Priority Strategies/EPS) dikembangkan di Swedia, dengan menggunakan nilai ekonomi untuk mempertimbangkan berbagai kategori dampak yang timbul. Titik lemah strategi ini adalah penggunaan harga yang didasarkan pada situasi ketidakpastian. *Environmental load point* (ELP) adalah alat integrasi yang menggunakan nilai relatif di atas standar kimia dalam kategori beban lingkungan dan koefisien antara masing-masing kategori yang dianalisis dan hasil pembobotan kuesioner terkait dengan dampak lingkungan.

Pendekatan *distance to target* LCA-NETS dikembangkan dengan tujuan untuk mengonsolidasikan dan mengevaluasi secara kuantitatif berbagai beban lingkungan dengan penyebab yang berbeda, tetapi menggunakan standar yang sama. Metode Mie-LCA dapat digunakan untuk menganalisis berbagai dampak lingkungan dari suatu produk, yang terdiri atas kategori dampak lingkungan global dan kategori dampak lingkungan regional. Kategori dampak lingkungan global terdiri atas dampak penipisan sumber daya mineral, penipisan sumber bahan bakar fosil, pemanasan global, penipisan lapisan ozon, pencemaran

udara, dan pencemaran air. Kategori dampak lingkungan regional terdiri atas dampak hujan asam, pengolahan sampah, dan efek daur ulang. Tabel 3 menunjukkan beberapa contoh dari jenis kategori dampak lingkungan pada LCA-NETS^{101,102,103}.

Penulis telah berhasil mengembangkan skema terintegrasi yang disebut Skema Standardisasi Beban Lingkungan (LCA-NETS)¹⁰³ untuk menyatakan jumlah beban lingkungan dari berbagai penyebab dengan menggunakan standar berdasarkan data objektif. Skema toleransi “*Loader-Receiver*” menunjukkan keseimbangan nilai toleransi maksimum yang dapat diemisikan atau dikonsumsi oleh *Loader* dengan nilai maksimum yang dapat ditoleransi oleh penerima. LCA-NETS ini menggunakan Numerical Eco-load Total Standardization (NETS) sebagai unit untuk menyatakan secara kuantitatif beban lingkungan yang terintegrasi dan terstandardisasi. Pada orasi ini, metode LCA-NETS diterapkan pada sistem agroindustri Indonesia.

IV. PENERAPAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN

Riset karakteristik LCI dan database teknologi serta kajian metode penilaian dampak teknologi dan industri, khususnya pada agroindustri merupakan basis untuk menghasilkan inovasi teknologi perancangan sistem pemanfaatan energi biomassa dan optimasi agroindustri berkelanjutan (Gambar 5). Hasil riset yang dikembangkan adalah model Asia Biomass Network Model (AB-NET) untuk optimasi kegiatan pemanfaatan biomassa di agroindustri¹⁰⁴.

4.1 Penerapan Metode *Life Cycle Assessment* di Sektor Perkebunan

Model LCA di sektor perkebunan digunakan untuk memperkirakan produktivitas, beban lingkungan, biaya produk berdasarkan input data, seperti kondisi tanah dan jumlah aplikasi pupuk kimia. Di perkebunan tropis, sejumlah besar sisa biomassa dihasilkan terutama dari pabrik pengolahan hasil panen. Pembakaran dari sisa biomassa akan menghasilkan abu sebagai sisa pembakaran di tungku boiler dan abu dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Dalam budi daya kelapa sawit di Indonesia, dilaporkan bahwa produktivitas hasil tandan buah sawit lebih tinggi dan pengembalian investasi menjadi lebih tinggi ketika menggunakan penerapan abu yang berasal dari tandan kosong sawit daripada penerapan pupuk kimia sebagai kandungan kalium¹⁰⁵. Meskipun sudah ada beberapa model simulasi hasil untuk tanaman sumber daya di daerah tropis, termasuk model dari sudut pandang fisiologi tanaman¹⁰⁶, tidak banyak model yang memperkirakan biaya serta beban lingkungan^{107,108}.

Lahan dengan sifat kimia, fisika, dan biologi merupakan variabel penentu terhadap produksi kelapa sawit, bersama dengan faktor daya dukung lingkungan lainnya menentukan pola produksi status tanaman. Sebagai media tumbuh, aplikasi manajemen yang diterapkan, seperti pemupukan, pengendalian hama/penyakit, dan pengendalian gulma, semuanya diberikan melalui tanah. Dengan demikian, sifat tanah terutama yang berkaitan dengan kesesuaian lahan sangat menentukan tingkat efektivitas dari manajemen yang diaplikasikan. Tingkat manajemen yang sama akan memberikan hasil tandan buah segar (TBS) yang berbeda jika diaplikasikan pada tingkat kesesuaian lahan dan tingkat produktivitas yang berbeda.

Sifat genetik tanaman adalah faktor bawaan (*inherent*) dari tanaman itu sendiri yang memengaruhi produksi TBS. Berbeda dengan tanaman semusim, pada kasus komoditas kelapa sawit yang tergolong tanaman tahunan, selain faktor tersebut, pola produksi juga ditentukan oleh umur tanaman. Secara umum, pada tahap penanaman, produktivitas kelapa sawit rendah, kemudian produktivitas naik dan turun lagi seiring dengan usia tanaman.

Dalam model ini, hasil panen tahunan, konsumsi energi, emisi gas rumah kaca (GRK), dan biaya produksi dapat dihitung dengan memasukkan jenis bibit, kondisi iklim, dan lingkungan tanah dari perkebunan target, serta jumlah setiap pupuk hara yang digunakan setiap tahun. Pada perkebunan kelapa sawit, hasil standar untuk setiap bibit sawit ditetapkan berdasarkan hasil kajian Tohiruddin¹⁰⁹. Sementara itu, untuk kesesuaian budi daya tanaman ditetapkan berdasarkan hasil kajian Fauzi¹¹⁰. Residu biomassa digunakan sebagai pengganti pupuk, kemudian dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dibandingkan seberapa besar beban lingkungan, seperti konsumsi energi dan

emisi GRK yang dapat dikurangi sebagai pengganti pengurangan penggunaan pupuk kimia. Selanjutnya, dengan menampilkan aliran hara, dimungkinkan untuk memberikan informasi yang berguna untuk desain pemupukan untuk tahun berikutnya dan sesudahnya¹¹¹.

4.2 Penerapan Metode *Life Cycle Assessment* di Sektor Agroindustri

Model agroindustri digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan material dan energi di pabrik pengolahan hasil perkebunan, sekaligus untuk memperkirakan jumlah sisa biomassa yang dihasilkan dan jumlah energi yang diperoleh dari pembangkit listrik biomassa. Komoditas kelapa sawit, singkong, dan tebu, yang dibudidayakan dalam jumlah besar di daerah perkebunan tropis, diproses menjadi *crude palm oil* (CPO), tepung tapioka, dan gula di pabrik agroindustri. Pabrik kelapa sawit dan pabrik gula mandiri energi dengan menggunakan sisa biomassa yang dihasilkan selama pemrosesan produk dan dimanfaatkan sebagai energi. Di sisi lain, pabrik tepung tapioka mengandalkan bahan bakar fosil untuk produksi energinya karena hampir tidak ada sisa biomassa yang tersedia untuk penggunaan energi. Komponen karbon yang tidak terpakai ini mengalir keluar dengan sejumlah besar air limbah. Di sini, sejumlah besar gas metana dengan koefisien GRK yang tinggi dilepaskan¹¹². Oleh karena itu, model LCA agroindustri memungkinkan untuk memperkirakan efek perbaikan pada setiap proses di pabrik pengolahan hasil perkebunan, sebagai berikut:

- 1) memperkirakan jumlah energi yang diperoleh dengan fasilitas peralatan penangkapan gas metana dan peralatan fermentasi yang dihasilkan di laguna;

- 2) memperkirakan jumlah energi yang dapat diperoleh dengan fasilitas peralatan reforming biomassa residu; dan
- 3) memperkirakan efek penghematan energi dari pabrik dengan menggunakan kembali sisa uap panas.

Dengan menggunakan hasil di atas, efisiensi proses dapat ditingkatkan dan efeknya dapat diperkirakan berdasarkan beberapa skenario yang disiapkan untuk setiap tanaman. Selain itu, kondisi operasi unit proses, seperti perlakuan panas uap, penghilangan buah, dan pemerasan di pabrik dapat diubah. Gambar 6 menunjukkan gambaran *material flow analysis* pada pabrik kelapa sawit¹¹².

Gambar 7 menunjukkan konsumsi energi untuk menghasilkan minyak nabati¹¹². Konsumsi energi untuk memproduksi 1 ton minyak nabati dari CPO Indonesia, CPO Malaysia, minyak kedelai Argentina, dan minyak kanola Denmark, masing-masing adalah 3,4 GJ/ton-oil, 2,7 GJ/ton-oil, 8,9 GJ/ton-oil, 17,4 GJ/ton-oil. Konsumsi energi untuk produksi CPO dibandingkan minyak kedelai dan minyak kanola adalah jauh lebih rendah. Konsumsi bahan bakar fosil pada produksi CPO di Malaysia lebih tinggi dari CPO Indonesia karena banyak menggunakan mekanisasi untuk panen dan proses-proses lainnya. Akan tetapi, konsumsi pupuk CPO di Malaysia lebih rendah dan produktivitasnya lebih tinggi sehingga secara keseluruhan konsumsi energinya lebih rendah dari CPO Indonesia. Dalam perhitungan ini, produktivitas CPO Indonesia, CPO Malaysia, minyak kedelai Argentina, dan minyak kanola Denmark adalah 3,62 ton-oil/ha, 4,31 ton-oil/ha, 0,42 ton-oil/ha, dan 1,14 ton-oil/ha. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan 1 ton minyak nabati dari kedelai dan kanola diperlukan lahan yang lebih luas dibandingkan untuk menghasilkan 1 ton CPO¹¹³.

4.3 Penerapan Metode *Life Cycle Assessment* di Sektor Regional

Model pemanfaatan regional digunakan untuk mengevaluasi jumlah pengurangan beban lingkungan dan jumlah energi pengganti dengan memanfaatkan biomassa di wilayah sasaran. Dalam model LCA di sektor regional terdapat empat komponen, yaitu kota, tempat usaha seperti berbagai fasilitas industri, perkebunan termasuk pabrik pengolahan, dan pusat energi¹¹³.

Setiap komponen terkait satu sama lain, dan diasumsikan bahwa sisa biomassa dan energi ditransfer antarkomponen. Dengan pengaturan berbagai kondisi, dimungkinkan untuk menghitung jumlah kebutuhan energi dan jumlah energi yang dapat disuplai di daerah tersebut, serta mengevaluasi jumlah GRK yang dapat dikurangi dan jumlah energi yang dapat disubstitusi di daerah tersebut. Selain itu, jumlah substitusi energi dan jumlah pengurangan GRK akibat pemanfaatan sisa biomassa dapat dievaluasi secara kuantitatif, dan setiap skenario dapat dibandingkan dan diperiksa. Selanjutnya, dimungkinkan untuk memperkirakan pengaruh pendirian pusat energi yang dapat mengakumulasi dan menggunakan sisa biomassa pada masa depan¹¹⁴.

Simulasi model seperti ini telah diimplementasikan di Provinsi Lampung, yang berpenduduk sekitar 7×10^6 jiwa dan luas wilayah 35.000 km². Informasi terkait analisis LCA di sektor regional telah dikumpulkan dari 8 kota, 65 industri, dan 7 perkebunan kelapa sawit sehingga didapatkan kesimpulan bahwa pemanfaatan residu biomassa memberikan kontribusi terhadap pengurangan emisi GRK¹¹⁵.

Dari hasil penelitian, potensi biomassa yang ada dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik guna memenuhi kebutuhan operasional pabrik kelapa sawit

(PKS). Abu hasil pembakaran biomassa di boiler PKS dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik pengganti pupuk kimia di lahan perkebunan. Jika ada kelebihan listrik yang dibangkitkan, listrik tersebut dapat ditransmisikan melalui jaringan PLN untuk memenuhi konsumsi listrik kota. Total kebutuhan listrik kota dan industri (pabrik tepung tapioka) di seluruh Provinsi Lampung diperkirakan 21×10^6 TJ per tahun, dengan sekitar 6×10^6 TJ adalah kebutuhan industri dan 15×10^6 TJ adalah kebutuhan listrik kota. Jumlah energi yang dapat disuplai oleh biomassa sisa adalah sekitar 5×10^6 TJ, dan sebagian besar sumber energi untuk kebutuhan industri dapat digantikan dengan sumber energi dari residu biomassa. Selain itu, ada potensi pengurangan emisi GRK sekitar 200 kt-CO_{2eq} per tahun dengan menggunakan residu biomassa sebagai pengganti bahan bakar fosil di lokasi agroindustri. Residu biomassa yang ada dapat digunakan untuk menyuplai energi pada produksi pupuk kimia pertanian dan menyubstitusi dan mereduksi penggunaan pupuk kimia¹¹⁵.

Dari hasil simulasi model sektor agroindustri, pabrik kelapa sawit biasanya menghasilkan biomassa dengan potensi energi 5.000 MJ/t-CPO termasuk cangkang dan serat¹¹⁵. Di sisi lain, proses pembuatan *biodiesel fuel* (BDF) membutuhkan energi 3.000 MJ/t-BDF untuk listrik, yang dapat dipasok dari limbah agroindustri. Emisi GRK dalam skenario pasokan BDF turunan CPO adalah 1.725 kg-CO_{2eq}/t-BDF tanpa menggunakan biomassa residu. Di sisi lain, ketika residu biomassa digunakan, emisi GRK sebesar 1.500 kg-CO_{2eq}/t-BDF dapat dikurangi sekitar 12%. Konsumsi energinya adalah 11.000 MJ/t-BDF tanpa menggunakan residu biomassa. Selain itu, ketika biomassa residu digunakan menjadi 8.000 MJ/t-BDF, konsumsi energi dapat dikurangi sekitar 27%.

Nilai kalor BDF adalah 36.500 MJ/t-BDF dan ketika residu biomassa digunakan, ada potensi energi bersih sekitar 28.500 MJ/t-BDF. Emisi GRK dalam skenario pasokan BDF berasal dari CPO maka emisi gas metana (CH_4) dari laguna pabrik kelapa sawit mencapai sekitar sepertiga dari total emisi GRK. BDF yang berasal dari CPO memanfaatkan biogas metana ini. Dengan cara insinerasi atau konversi energi, emisi dan GRK dapat dikurangi lebih jauh. Gambar 8 menunjukkan keseimbangan karbon untuk siklus hidup biodiesel dari CPO¹¹⁵. Sementara itu, Gambar 9 menunjukkan aliran karbon untuk siklus hidup biodiesel dari CPO¹¹⁶.

Saat ini perhitungan lahan yang sesuai dengan kondisi perkebunan Indonesia adalah lebih banyak menggunakan hutan sekunder atau peremajaan perkebunan yang sudah ada (*replanting*). Perhitungan dilakukan per tahun dengan membagikan input material dan energi terhadap produksi biodiesel pada tahun tersebut. Rata-rata nilai emisi GRK sebelum produksi stabil (1–5 tahun) adalah 2.575 kg- $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /ton-BDF. Sementara itu, pada saat produksi stabil, tingkat emisinya adalah 1.500 kg- $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /ton-BDF untuk kelapa sawit. Total nilai penurunan emisi $\text{CO}_{2\text{eq}}$, yaitu penjumlahan sebelum dan sesudah produksi stabil, sebesar 1.725 kg- $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /ton-BDF atau mereduksi emisi GRK sebesar 49,3% (nilai ini sudah memenuhi standar US dan EU minimal 20% dan 35%) untuk biodiesel dari CPO. (Emisi karbon dioksida dari minyak solar/*diesel oil* adalah 3.400 kg- $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /ton-solar). Sementara itu, pada saat produksi stabil, dengan pemanfaatan residu biomassa, persentase nilai penurunan emisi $\text{CO}_{2\text{eq}}$ dibandingkan bahan bakar diesel dari fosil adalah sebesar 78,7% untuk BDF sawit. Gambar 10 menunjukkan aliran bahan siklus hidup bahan bakar biodiesel dari BDF¹¹⁷.

V. POTENSI METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* BIOMASSA UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN DAN KEBIJAKAN PENGEMBANGAN

Penerapan metode LCA biomassa untuk agroindustri berkelanjutan harus terus didorong agar berdampak pada peningkatan daya saing industri, kesejahteraan masyarakat, dan kualitas lingkungan. Penerapan memerlukan kerja sama pemerintah, lembaga penelitian dan pengembangan, serta masyarakat pengguna¹¹⁸. Pada bagian ini dipaparkan tantangan, peluang, serta kebijakan yang ada dan yang diperlukan.

5.1 Potensi Penerapan *Life Cycle Assessment* Biomassa

Metode LCA diterapkan untuk pengembangan energi berbasis biomassa yang mendukung agroindustri berkelanjutan. Penerapan ini diharapkan dapat mengoptimasi pemanfaatan residu biomassa sehingga dapat meningkatkan daya saing serta mengurangi beban lingkungan untuk mendukung agroindustri berkelanjutan. Teknologi konversi biomassa menjadi makin penting untuk menghasilkan biodiesel, bioetanol, bioproduk, dan bioenergi lainnya dari biomassa dan residunya. Pemanfaatan residu terutama untuk menyubstitusi produk-produk yang sebelumnya diperoleh dari bahan baku fosil sehingga menjadikan agroindustri lebih berwawasan lingkungan. Biodiesel dapat digunakan untuk substitusi solar, sedangkan *bio-compressed natural gas* (bioCNG) dari *methane capture* digunakan untuk substitusi *liquefied petroleum gas* (LPG). Bioetanol dapat digunakan untuk substitusi bensin, yang dapat diperoleh melalui proses konversi biomassa yang mengandung nira, pati, ataupun selulosa. Selain untuk substitusi bahan bakar minyak (BBM), bioetanol juga bermanfaat untuk industri lain, seperti

industri farmasi, kosmetik, cat, detergen, tinta, dan polimer. Proses konversi perlu diupayakan lebih bersifat efisien dalam penggunaan energi dan ramah lingkungan.

Indonesia berpotensi sebagai sumber biomassa karena merupakan produsen CPO terbesar di dunia dengan produksi lebih dari $43,0 \times 10^6$ t-CPO/tahun. Jumlah pabrik kelapa sawit (PKS) saat ini adalah 1.160 PKS, mempunyai potensi energi dari limbah cair yang dihasilkan kelapa sawit sebesar 14,2 TWh dan baru 10–20% dimanfaatkan dan berpotensi mereduksi emisi GRK sebesar $22,99 \times 10^6$ t-CO_{2eq}. Proses degradasi limbah cair ini menghasilkan biogas yang mengandung GRK berupa CH₄ dan CO₂. Peluang pemanfaatan teknologi residu biomassa, misalnya biogas terlihat pada target *national determined contribution* (NDC) (Tabel 4), di sektor limbah cair target pengurangan emisi GRK adalah 11×10^6 t-CO_{2eq} pada 2030. Di sisi lain, potensi pengurangan emisi GRK dari limbah cair kelapa sawit/*palm oil mill effluent* (POME) adalah $22,99 \times 10^6$ t-CO_{2eq} (= 919.512 t-CH₄×25).

Selain itu, biomassa dapat dikonversi menjadi biogas dan berpeluang dimanfaatkan pada sektor rumah tangga. Pemanfaatan bioCNG sebesar $8,35 \times 10^6$ *barrel oil equivalent* (BOE) dapat digunakan untuk mengurangi impor LPG yang selalu meningkat, dari $3,54 \times 10^6$ BOE pada 2008 menjadi $47,45 \times 10^6$ BOE pada 2018, yang bisa sekaligus mengurangi subsidi pemerintah. BioCNG juga dapat dimanfaatkan di sektor transportasi untuk bahan bakar mobil berbahan bakar gas. Pemanfaatan bioCNG akan mendorong terjadinya transisi energi menuju pemanfaatan energi bersih. Oleh karena itu, perlu dilakukan lebih lanjut riset dan pengembangan teknologi pemanfaatan biomassa serta teknologi konversi biomassa, seperti biogas *flaring system*, pembangkit listrik tenaga biomassa, *cofiring*, dan pemanfaatan biogas seperti bioCNG.

Konsumsi bensin di Indonesia pada 2019 mencapai sekitar 34,5 juta kL. Pengolahan biomassa yang tersedia di Indonesia menjadi bioetanol berpotensi menghasilkan bioetanol sebanyak 4,4 juta kL sehingga berpotensi untuk menyubstitusi penggunaan bensin sebesar 13%. Dengan demikian, dari segi kebutuhan dan potensi pasar, *biofuel* dan bioproduk mempunyai prospek untuk dikembangkan. Akan tetapi, pemanfaatan produk-produk tersebut secara komersial masih terkendala skala produksi dan keekonomisannya sehingga masih perlu dikaji lebih lanjut.

Untuk meningkatkan keekonomian pemanfaatan residu biomassa, dapat menggunakan skema pasar karbon Clean Development Mechanism (CDM) (Gambar 11) dan/atau Joint Crediting Mechanism (JCM) (Gambar 12).. *Cofiring* dan bioCNG menjadi pilihan ketika potensi biogas tidak dapat digunakan untuk sumber bahan bakar listrik. Beroperasinya proyek pemanfaatan teknologi biogas akan mendukung keberlanjutan industri kelapa sawit dari aspek sosial ekonomi dan lingkungan. Penggunaan mekanisme pasar karbon dengan *carbon offset* atau *cap-and-trade* sebagai suatu pendekatan kebijakan untuk mengontrol jumlah emisi dari sejumlah sumber, akan dapat berkontribusi pada *net zero emission* (NZE). *Cap* adalah jumlah emisi maksimum per periode untuk semua sumber yang telah disepakati.

Tantangan utama yang dihadapi dalam pemanfaatan biomassa pada agroindustri serta penerapan teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan produk *biofuel* dan biomaterial adalah kesiapan teknologi pada skala komersial dan keekonomian produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi *biofuel* dan bioproduk dengan konsep kilang hayati perlu terus dilanjutkan agar diperoleh teknologi yang dapat menghasilkan produk yang ekonomis dan dapat berdaya bersaing.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam upaya penerapan teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan *biofuel* dan bioproduct adalah lokasi industri dan kebijakan pemerintah. Lokasi industri *biofuel* dan bioproduct sebaiknya terintegrasi dengan industri atau pabrik yang memasok bahan baku berupa residu biomassa, misalnya pabrik tapioka, pabrik kelapa sawit, dan pabrik gula sehingga pasokan bahan baku lebih terjamin. Integrasi juga dapat dilakukan antara agroindustri gula, misalnya mengintegrasikan industri bioetanol dari molase dan dari bagas tebu, serta residu biomassa tanaman tebu. Kebijakan pemerintah berupa insentif pajak atau kemudahan lainnya kepada industri yang mengolah residu biomassa dan menghasilkan bioenergi dan bioproduct dapat menarik industri yang sudah ada ataupun investor lain yang akan menerapkan konsep kilang hayati tersebut. Pemerintah juga diharapkan dapat lebih mendorong kerja sama antarinstansi terkait, baik universitas, badan penelitian dan pengembangan kementerian, lembaga penelitian non-kementerian maupun pihak swasta, mulai dari hulu sampai hilir.

5.2 Rekomendasi Metode *Life Cycle Assessment* dalam Mendukung Kebijakan Pemerintah untuk Pemanfaatan Biomassa

Sinergi antarlembaga penelitian, universitas, kementerian terkait, serta industri dalam kegiatan penelitian dan pengembangan konversi biomassa dan kilang hayati perlu diperkuat. Keberhasilan pengembangan teknologi ini dapat mendukung upaya pemerintah dalam memenuhi target 23% penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) pada tahun 2025 dan/atau target substitusi bensin dengan bioetanol yang tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015 (Tabel 5), serta mengurangi impor beberapa produk yang

dapat dihasilkan sebagai ko-produk bioetanol. Selain sinergi dalam pengembangan teknologi konversi biomassa, diperlukan juga peran pemerintah dalam menciptakan inovasi kebijakan, mengeluarkan regulasi, dan memberikan insentif terkait EBT yang menarik para *stakeholder* untuk berperan dalam bisnis EBT di Indonesia.

Sebagai upaya strategis melihat dinamika keenergian yang terjadi, pemerintah telah menyusun rancangan Grand Strategi Energi Nasional yang mengakselerasi antara lain mengembangkan peningkatan kapasitas produksi dan penyerapan EBT. Namun, masih perlu penguatan strategi kebijakan pemerintah, antara lain perbaikan Permen ESDM 12/2017 agar harga jual listrik ke PT PLN menarik serta tidak merugikan PLN. Selain itu, perlu pembuatan tata niaga bahan bakar biomassa misalnya bioCNG, agar diseminasi pemanfaatannya segera terlaksana. Penerapan teknologi pemanfaatan biomassa dan residu biomassa akan berkontribusi pada percepatan tercapainya bauran energi primer, yang ujungnya meningkatkan ketahanan energi nasional dan akan mendukung terwujudnya NZE yang telah dicanangkan.

Konsistensi Kementerian BUMN dan PT PLN dalam memfasilitasi pemanfaatan biomassa untuk listrik sangat diperlukan. Pemanfaatan residu biomassa sebagai sumber bahan bakar alternatif diharapkan segera diterapkan oleh PGN dan Pertamina. Dalam penerapan metode LCA biomassa, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dapat berperan menciptakan ekosistem inovasi dalam mendukung pemanfaatan teknologi biomassa sebagai salah satu wahana menuju *circular economy* dan ekonomi hijau. Penerapan metode LCA lainnya bermanfaat sebagai alat untuk keberlanjutan. Selain itu, sertifikat *sustainability* Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) dan Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO) telah menjadi tuntutan pasar minyak kelapa sawit dalam dan luar negeri.

Adapun kontribusi nyata penulis dengan memanfaatkan metode LCA, sebagai Kepala Bidang Kapasitas Absorpsi, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi, BPPT tahun 2012–2014, sebagai berikut: (1) merancang dan mendampingi penyusunan masterplan pengembangan pembangunan Kawasan Technopark/Teknopolitan di Kabupaten Pelalawan; dan (2) memprakarsai pengembangan klaster industri pariwisata dan pangan di Kabupaten Gunungkidul, DIY. Selain itu, sebagai Kepala Balai Inkubator Teknologi, BPPT tahun 2014–2020, penulis telah memperoleh capaian-capaian berikut: (1) berhasil dalam pengembangan *Technopreneurship*: mendukung kegiatan *Science and Technology Park* BPPT melalui pilar teknopreneur antara lain pada *National Science and Techno Park* (NSTP) BIT-Puspiptek, *Technopark* Pelalawan, *Technopark* Cimahi, *Technopark* Pekalongan, *Baron Technopark*, *Technopark* Grobogan, dan *Technopark* Bantaeng; dan (2) berhasil menginkubasi 161 *tenant* dan 67 di antaranya merupakan *tenant graduate* dengan *graduation rate* 42%.

VI. KESIMPULAN

Pengembangan inovasi teknologi model desain pemanfaatan biomassa berbasis LCA di agroindustri serta simulasi model telah memberikan perspektif baru dalam mengoptimasi proses pemanfaatan biomassa secara lebih akurat dan ramah lingkungan. Penggunaan model LCA perancangan sistem pemanfaatan biomassa, baik untuk energi maupun produk, dan sistem evaluasi agroindustri di daerah tropis optimum dalam menghasilkan produk agroindustri yang efisien, berdaya saing tinggi, dan ramah lingkungan sehingga menjadikan industri yang berkelanjutan, khususnya agroindustri.

Penerapan metode LCA biomassa di agroindustri telah berhasil menciptakan sistem regional yang mandiri energi dengan memanfaatkan biomassa lokal. Selain itu, *biofuel* yang diproduksi di perkebunan tropis digunakan untuk substitusi konsumsi energi fosil dan pengurangan emisi GRK yang terkait dengan produksi dan transportasi. Peningkatan pemanfaatan residu biomassa yang efektif dan ramah lingkungan, perbaikan metode budi daya, serta peningkatan produktivitas agroindustri sangat diperlukan untuk mencapai pengelolaan yang berkelanjutan.

Penerapan metode LCA di agroindustri telah berhasil mengembangkan *inventory data* untuk pemanfaatan biomassa di Indonesia. Selain itu, telah dilakukan analisis kuantitatif beban lingkungan yang dihasilkan pada pemanfaatan biomassa dan sistem pembangkit listrik bahan bakar fosil sebagai pembanding saat menggunakan pendekatan LCA-NETS. Inovasi metode LCA dikembangkan untuk merancang dan mengevaluasi sistem pemanfaatan biomassa sesuai dengan karakteristik area target dan memastikan keberlanjutan jangka panjang dengan tetap

mempertahankan keunikannya. Metode LCA yang dirancang telah diterapkan pada agroindustri kelapa sawit, tebu, tapioka, nanas, karet, dan akasia dalam upaya pengurangan emisi GRK, serta mendukung tercapainya target NZE pada tahun 2060.

VII. PENUTUP

Penerapan model desain pemanfaatan biomassa LCA sebagaimana model lain yang dihasilkan dalam kerangka sains adalah merupakan representasi dari permasalahan di dunia nyata. Model LCA biomassa dianggap lebih multidimensi dan komprehensif, serta mengakomodasi kepentingan sosial dan ekonomi pelaku perkebunan, selain tetap mempertahankan keberlanjutan sumber daya hayati. Penggunaan model LCA biomassa yang lebih multidimensi dianggap lebih dapat diandalkan dan lebih rasional. Kebijakan dari studi pemanfaatan biomassa akan menghasilkan agroindustri yang efisien dan optimal. Dengan demikian, penerapan model LCA pemanfaatan biomassa dalam pengelolaan agroindustri diharapkan dapat mendorong pencapaian target melestarikan dan memanfaatkan secara berkelanjutan sumber daya hayati untuk pembangunan berkelanjutan yang termaktub dalam Sustainable Development Goals No. 12, yaitu *responsible consumption and production*.

Tantangan faktor keterulangan (*reproducibility*) penelitian menjadi salah satu faktor yang sangat penting dalam penelitian LCA biomassa sehingga laporan penelitian LCA biomassa perlu mengandung seluruh informasi yang memungkinkan peneliti lain untuk mengulang studi dan menghasilkan hasil yang sama. Seluruh data, metode, asumsi, dan limitasi harus ditulis secara transparan sehingga pembaca dapat memahami kompleksitas dari studi yang dilakukan serta menggunakan hasil penelitian LCA secara konsisten sesuai dengan tujuan studi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini perkenankan saya menyampaikan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. yang atas berkat dan karunia-Nya, orasi ini dapat berjalan sebagaimana yang diharapkan. Pada kesempatan ini juga perkenankan saya dengan segala kerendahan hati menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko M.Sc. Terima kasih juga kepada Ketua dan Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subianto, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Ir. Amirul Aziz, M.Sc., Prof. Dr. Irhan Febijanto, M.Eng., dan Prof. Dr. Wahyudi Sutopo, S.T., M.T.; Plt. Sekretaris Utama BRIN, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., MA.; Deputy Kebijakan Pembangunan BRIN, Dr. Mego Pinandito, M.Eng., atas telaahan dan arahan yang diberikan dalam penyempurnaan naskah orasi ini.

Kepada teman-teman Kedeputan Kebijakan Pembangunan serta rekan-rekan BRIN lainnya, saya menyampaikan apresiasi dan terima kasih atas semua dukungan dan peranannya dalam memfasilitasi saya selama meniti karier di BPPT-BRIN sampai orasi ini terlaksana.

Kepada dosen pembimbing S-1, S-2, dan S-3 di Mie University, Jepang: Prof. Dr. Seizo Kato, dan Associate Prof. Dr. Naoki Maruyama, guru dan dosen yang telah mendidik saya mulai dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Panitia Penyelenggara orasi ilmiah ini, rekan-rekan peneliti dan perekayasa BRIN, khususnya Kedeputan Kebijakan Pembangunan, seluruh undangan,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan hadirin, serta semua pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung untuk kesuksesan penyelenggaraan acara pengukuhan profesor riset hari ini.

Akhirnya, terima kasih yang tak terhingga saya berikan kepada kedua orang tua, Ayahanda H. Samidjo (alm.) dan Ibunda Hj. Sri Suwarni, yang telah membesarkan dan mendidik saya dengan penuh kasih sayang, memberikan kebebasan dalam menempuh pendidikan sesuai dengan yang saya inginkan, serta tak putus mendoakan segala kebaikan untuk anak-anaknya. Saya pun berterima kasih kepada bapak dan ibu mertua, H. Ery Soepardjan (alm.) dan Hj. Maruti Herawati (almh.). Terima kasih juga kepada keluarga besar dan istri yang selalu mendukung kami, khususnya kepada istri tercinta, Dra. Erwina Widjajawati, M.P.St. dan ananda tercinta, Ganesha, Ghania, Ghaisani, dan Ghazali, terima kasih atas doa, dukungan, dan perhatiannya, juga atas pengertian, pengorbanan, semangat, serta doa yang diberikan sehingga memberikan motivasi kepada saya untuk menyelesaikan penulisan naskah orasi ini. Saya berharap pencapaian ini dapat memberikan motivasi bagi keempat anak saya tercinta untuk mencapai cita-cita dan menghasilkan karya yang lebih baik dari orang tuanya pada masa yang akan datang.

Terakhir, perkenankan saya memohon maaf apabila dalam penyajian materi ini terdapat kekurangan dan kekeliruan sehingga tidak berkenan di hati Bapak, Ibu, dan Saudara sekalian. Semoga Allah Swt. senantiasa memberikan bimbingan, perlindungan, dan kesejahteraan bagi kita semua.

Aamiin ya Robbal alamiin.

Wabilahi taufik wal hidayah.

Wassalamu alaikum warohmatullohi wabarakatuh

DAFTAR PUSTAKA

1. Febijanto I. Biogas utilization for supporting the sustainability of palm oil mill, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020;742- 012021:1–9.
2. Rosana M. Kebijakan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan di Indonesia. Jurnal Ilmu Sosial, 2018;1(1):148–163.
3. Keraf AS. Etika lingkungan hidup. Jakarta: Kompas Press; 2010.
4. Hanafi J, Utomo THA, Harimurti. Panduan praktis kajian daur hidup (life cycle assessment). Edisi pertama. Jakarta: Pusat Standardisasi Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan; 2015.
5. Kato S, **Widiyanto A**. Environmental impact consolidated evaluation of energy systems by a LCA-NETS scheme. Energy. 2005;30(11–12):2057–2072.
6. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Development of decision model for selection of appropriate power generation system using Distance Based Approach method. JSME International Journal Series B-Fluids and Thermal Engineering. 2004;47(2):387–395.
7. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Life Cycle Consideration of the Flue Gas Desulphurization system at a lignite-fired power plant in Thailand. International Journal of Life Cycle Assessment. 2004;9(6):387–393.
8. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. A LCA/LCC optimized selection of power plant system with additional facilities options. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2002;124(4):290–299.
9. Fadli M, Mukhlis, Lutfi M. Hukum dan Kebijakan Lingkungan. Malang: UB Press; 2016. 224.

10. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**. Quantitative standardization of various global environmental loads and its applications to eco-load operation scheme of co-generation systems (in Japanese). *Journal of Fluid and Heat Engineering Research*. 1999;34(2):37–44.
11. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**. LCA estimation scheme aiming at compromising compatibility between environmental load and economical cost for co-generation eco-operation. *Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems (ECOS'99)*, Tokyo, Japan, June 8–10, 1999:276–281.
12. Odey G, Adelodun B, Kim SH, Choi KS. Status of Environmental Life Cycle Assessment (LCA): A Case Study of South Korea. *Sustainability*. 2021;13:6234.
13. Sampattagul S, Kato S, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Kimura Y. An integrated Life Cycle Eco-Improvement and NETS-Green Productivity Index of vending machines. *Proceedings of InLCA/LCM 2004 - The 2004 International Life Cycle Assessment and Life Cycle Management conference*, Seattle, USA, 11–24 Juli 2004.
14. Sadamichi Y, Kimura Y, **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Nishimura A. LCA evaluation of reuse / recycle impact for environmental conscious industrial products. *Proceedings of EcoDesign 2003: The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, IEEE, Tokyo, Japan, 8–11 Desember 2003:339–343.
15. Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Yamaoka Y, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Izu Y, Kimura Y, Nakamura M. Environmental load evaluation of industrial products in manufacturing stage (Inventory analysis of painting-coating and plastic-injection moulding processes) (in Japanese). *Proceedings of the 13th Symposium on Environmental Engineering 2003*, Kawasaki, Japan, 25–27 Juni 2003:381–384.

16. Kimura Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Nakamura M. Eco-management of the vending machine by using LCA method. Proceedings of the EcoBalance 2002, Tsukuba, Japan, 6–8 November 2002:225–228.
17. Kimura Y, Kato S, Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. Ecological improvement of the vending machine using LCA method. Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, Tokyo, Japan, 11–15 Desember 2001:341–346.
18. Steen, B., A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS), Version 2000 – General System Characteristics, Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems (CPM). Chalmers University of Technology Press; 1999.
19. Sadamichi Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Joukaku Y. LCA environmental load evaluation of industrial products proposal of reusing vending machines. Proceedings of the 8th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2001, Chiang Mai, Thailand, 30 Oktober–2 November 2001:141–146.
20. Kato S, Maruyama N, Kimura Y, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. LCA of industrial products (ecological improvement by reuse and recycle of vending machines) (in Japanese). Proceedings of the 11th Symposium on Environmental Engineering 2001, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2001:425–428.
21. **Widiyanto A**, Takai H, Kato S. Development of LCA environmental evaluation software and its application for vending machine. Proceedings Indonesian Scientific Meeting IX, 2000 (ISM-2000), Hamamatsu, Jepang, 2–3 September 2000:225–228.
22. Kato S, Maruyama N, Kimura Y, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. Environmental load evaluation of industrial products in manufacturing process (inventory analysis of manufacturing process) (in Japanese). Proceedings of the 11th Symposium on Environmental Engineering 2001, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2001:421–424.

23. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Life Cycle Analytical tools and externalities of the Flue Gas Desulphurization system in Thailand. *Chiang Mai University Journal*. 2005;4(1):1–17.
24. Sampattagul S, **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Kiatsiriroat T. LCA-NETS evaluation for GHG of power plants in Thailand. *Proceedings of LCM2005 -Innovation by Life Cycle Management*, Barcelona, Spain, 5–7 September 2005.
25. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Life Cycle Analysis for electricity grid systems in Japan. *Proceedings of 41st National Heat Transfer Symposium of Japan 2004*, Toyama, Japan, 26–28 Mei 2004: Vol. II:495–496.
26. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, Maruyama N, **Widiyanto A**, LCA-NETS tool for environmental design of natural gas-fired power generation systems in Thailand. *Proceedings of EcoDesign 2003: The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, IEEE, Tokyo, Japan, 8–11 Desember 2003:141–146.
27. Varabuntoonvit V, Mungcharoen T, Kato S, **Widiyanto A**, LCA evaluation for grid electricity power plants in Thailand using NETS method. *Proceedings of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE) 2003 Annual Meeting Conference*, San Francisco, USA, 16–21 November **2003**.
28. Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Izu Y, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Yamaoka Y, Kimura Y. Development of eco-accounting system (proposal of monetarization method for environmental protection effect by LCA-NETS) (in Japanese). *Proceedings of the 13th Symposium on Environmental Engineering 2003*, Kawasaki, Japan, 25–27 Juni 2003:378–381.
29. Kato S, Sadamichi Y, Osugi T, Maruyama N, **Widiyanto A**, Nishimura A. Environmental advantage of inverse manufacturing for end-of-life vehicles (in Japanese). *Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002*, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002:417–420.

30. Kimura Y, Joukaku Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Nakamura M. Proposal of optimum ecological manufacturing process of industrial products in manufacturing process and development of quality function deployment for environment (QFDE) (in Japanese). Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002:425–428.
31. Prasertsan P, Prasertsan S, H-Kittikun A. Recycling of agro-industrial wastes through cleaner technology (Fundamentals in Biotechnology) ed Doelle HW *et al* (Oxford Eolss Publ., Co Ltd.) Biotechnology:2009. Vol. X.
32. Ali S M, Sabae S Z, Fayez M, Monib M, Hegazi N A. The influence of agro-industrial effluents on River Nile pollution. Journal of Advanced Research. 2011; 2(1):85–95.
33. Sadh P K, Duhan S, Duhan J S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. Bioresources and Bioprocessing. 2018; 5(1):1–5.
34. Winkler H. Closed-loop production systems -A sustainable supply chain approach. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2011;4(3):243–246.
35. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S, Nishimura A. Environmental impact assessment of independent co-generation systems using LCA method. Proceedings of 2nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2004), Providence, USA, 16–19 Agustus 2004: Paper No: AIAA-2004-5552-105.
36. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Life Cycle Analysis for electricity grid systems in Japan. Proceedings of 2nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2004), Providence, USA, 16–19 Agustus 2004: Paper No: AIAA-2004-5553-242.

37. Atsuta Y, Shinbo T, **Widiyanto A**, Daimon H, Fujie K. Effectiveness of Poly Lactic Acid chemical recycling system by using hydrothermal treatment based on Life Cycle Inventory Analysis (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(1):11–18.
38. Hond F. *Industrial Ecology: a Review*. *Regional Environmental Change*. 2000; 1(2):60–69.
39. **Widiyanto A**, Widjajawati E. Ecological limit for sustainable development on the northern region of Mie Prefecture, Japan using UETs method. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2019;20(1):1–8.
40. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Kojima Y. Environmental impacts of fossil fuel fired co-generation plants using a numerically standardized LCA scheme. *Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME*. 2003;125(1):9–16.
41. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, **Widiyanto A**. Life Cycle Assessment estimation for eco-management of co-generation systems. *Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME*. 2001;123(1):15–20.
42. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Environmental impact assessment from operating co-generation systems and power plants. *Proceedings of 3rd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2005)*, San Fransisco, USA, 15–18 Agustus 2005: Paper No: AIAA 2005-5569.
43. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Environmentally conscious design from operating co-generation systems and power plants. *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2005 (ISETS 2005)*, Nagoya University, Nagoya, Japan, 8–9 Agustus 2005.
44. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Evaluation of environmental impact assessment from operating co-generation systems and power plants. *Proceedings of 42nd National Heat Transfer Symposium of Japan 2005*, Sendai, Japan, 6–8 Juni 2005: Vol. 2:321–322.

45. Deutz P, Gibbs D. Industrial ecology and regional development: eco-industrial development as cluster policy. *Regional Studies*. 2008;42:1313–1328.
46. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Design and evaluation of biomass effective utilization system for sustainable plantation. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium “Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization”, Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.
47. Tachibana R, Kamahara H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Daimon H, Goto N, Fujie K. Current state and problems of biomass effective utilization in plantation in Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 7th Nature Restoration and Conservation Symposium 2006, Tokyo, Japan, 9 Desember 2006:40–45.
48. Buyle M, Braet J, Audenaert A. Life cycle assessment in the construction sector: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;26:379–388.
49. Assies J A. Introduction paper to SETAC-Europe workshop on environmental life cycle analysis of products. In *Life-Cycle Assessment. Proceedings of a SETAC-Europe workshop on Environmental Life Cycle Assessment of Products*. Leiden; SETAC-Europe: Brussels, Belgium; 1992.
50. **Widiyanto A**. Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing (LCA/LCC) Evaluation for Power Generation Systems Using NETS Method. Mie University Press; 2001.
51. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, **Widiyanto A**, Kojima Y. A Proposal of ESS-NETS method and Its Application for Industrial Products (in Japanese). Proceedings of the 9th Symposium on Environmental Engineering 1999, Kawasaki, Japan, 30 Juni–2 Juli 1999:360–363.

52. **Widiyanto A.** Metode Life Cycle Assessment dan aplikasinya untuk peningkatan daya saing produk. Dalam: Vidyatmoko et al, editor. Peningkatan daya saing industri: metode dan studi kasus. Jakarta: BPPT Press; 2011:51–83.
53. Guinee JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, Ekvall T, Rydberd T. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*. 2011; 45(1):90–96.
54. **Widiyanto A.** An eco-improvement tool to enhance industrial product's competitiveness. Jakarta: BPPT Press; 2018.
55. Pena C, Civit B, Schmid AG, Druckman A, Pires AC, Weidema B, Mieras E, Wang F, Fava F, Canals LM, Cordella M, Arbuckle P, Valdiva S, Fallaha S, Motta W. Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2021;26:215–220.
56. Kato S, **Widiyanto A.** Environmental impact consolidated evaluation of energy systems by a LCA-NETS scheme. *Proceedings of the 5th International Symposium on CO2 Fixation and Efficient Utilization of Energy (C&E2002) and the 4th International World Energy System Conference (WESC-2002)*, Tokyo, Japan, 4–6 Maret 2002:137–144.
57. Piekarski CM, Luz LM, Zocche L, Francisco ACD. Life cycle assessment as entrepreneurial tool for business management and green innovations. *Journal of technology management & innovation*. 2013;8 (1), 44–53.
58. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. An optimized selection of appropriate electric power generation systems by using Distance Based Approach method. *Proceedings of the 5th International Symposium on CO2 Fixation and Efficient Utilization of Energy (C&E2002) and the 4th International World Energy System Conference (WESC-2002)*, Tokyo, Japan, 4–6 Maret 2002:229–234.

59. **Widiyanto A.** Kajian pemanfaatan metode Life Cycle Assessment dan aplikasinya untuk peningkatan daya saing Startup. Dalam: Rudi et al, editor. Strategi pendampingan Startup di masa pandemic. Tangerang Selatan: Balai Inkubator Teknologi, BPPT; 2020:56–81.
60. Kato S, Maruyama N, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. Proposal of eco-product design using LCA environmental evaluation tool (in Japanese), Proceedings of the 10th Symposium on Environmental Engineering 2000, Kawasaki, Japan, 6–7 Juli 2000:297–300.
61. Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Takai H, **Widiyanto A**. LCA environmental load evaluation in energy system (in Japanese). Proceedings of the 37th National Heat Transfer Symposium of Japan 2000, Kobe, Japan, 29–31 Mei 2000: Vol. 2:533–534.
62. Kimura Y, Shimizu A, Kanno Y, Hasegawa Y, Kato S, Maruyama N, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. LCA analysis and eco improvement for vending machine (in Japanese). Proceedings of the Eco-Design Japan Symposium 1999, Tokyo, Japan, 10–11 Desember 1999:28–31.
63. **Widiyanto A**, Kato S. Eco-management of automatic vending machines using LCA method. Proceeding Indonesian Scientific Meeting XI, 2002 (ISM- 2002), Nagoya, Jepang, 21 Desember 2002:32–39.
64. Maruyama N, Kato S, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Environmental impacts assessment of power generation systems - power generation plants and co-generation system. Proceedings of the International Conference on Power Engineering 2001 (ICOPE-2001), Xi'an, China, 9–11 Oktober 2001:1605–1612.
65. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y. Evaluation of environmental loads for co-generation system using LCA Method (in Japanese). Proceedings of the 34th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2001, Sapporo, Japan, 28–31 September 2001:391.

66. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Development of software tool for power plant selection using a LCA optimization method (in Japanese). Proceedings of the 10th annual meeting of Japan Institute of Energy 2001, Kitakyushu, Japan, 31 Juli–1 Agustus 2001:463–466.
67. Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Evaluation of net greenhouse gas emission from palm oil based BDF production considering land use change (in Japanese). Proceedings of the 4th Annual Meeting 2009 of The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Kita Kyushu, Japan, 5–7 Maret 2009:84–85.
68. **Widiyanto A**. Possibility of biotechnology fuels in Indonesia. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium “Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization”, Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.
69. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Tachibana R, Hasanudin U, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of palm mill industry based on material and energy flow analysis in Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*, 2008;14(2):151.
70. Kamahara H, Shimizu S, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Evaluation of energy consumption and greenhouse gas emission on oil palm BDF production system based on life cycle approach. the Institute of Life Cycle Assessment, Japan. 2007; Special Edition:86.
71. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Biomass flow analysis and recycling potential of agricultural wastes in tropical plantation. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium “Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization”, Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.

72. **Widiyanto A**, Widjajawati E. Analisis peningkatan efisiensi sistem kogenerasi berbahan bakar ampas tebu dan potensinya untuk penyediaan listrik. Dalam: Vidyatmoko et al, editor. Peningkatan daya saing industri: metode dan studi kasus. Jakarta: BPPT Press; 2011;139–174.
73. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Energy evaluation of Indonesian sugar mills and its potential for Clean Development Mechanism (in Japanese). Proceedings of the 39th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007, Sapporo, Japan, 9–13 September 2007:328.
74. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Material flow analysis and energy management at sugar mills in Indonesia. Proceedings of the 16th annual meeting of Japan Institute of Energy 2007, Fukuoka, Japan, 2–4 Agustus 2007:230–231.
75. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Fujie K, Daimon H. Reduction effect of greenhouse gas emissions by biogas utilization in tapioca starch factory (in Japanese). Kagaku Kogaku Ronbunshu. 2012;38(5):299–304.
76. Kamahara H, Hasanudin U, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Methane emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. Journal of Ecotechnology Research. 2010;15(2):79–83.
77. Kamahara H, Hasanudin U, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Methane and carbon dioxide emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. Journal of Ecotechnology Research. 2008;14(2):117.
78. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Life cycle greenhouse gas emissions from tapioca starch production in Lampung, Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 5th Annual Meeting 2010 of The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Yokohama, Japan, 4–6 Maret 2010:206–207.

79. Kamahara H, Udin H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Methane and carbon dioxide emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. Proc. of the 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET15). Kanazawa, Japan, 18–19 Oktober 2008.
80. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice. *Biomass and Bioenergy*, 2010;34(12):1818–1824.
81. Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Environmental load by producing and importing Indonesian palm biodiesel fuel (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(4):247–256.
82. Atsuta Y, Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of greenhouse emission from waste water of farm crops processing in tropical plantation (in Japanese). *Proceedings of 41st Japan Society on Water Environment Annual Conference 2007*, Osaka, 15–17 Maret 2007:378.
83. Davis ML, Cornwell DA. *Introduction to Environmental Engineering* 5th edition. McGraw Hill Companies. New York: 2013.
84. Balat M. Biomass Energy and Biochemical Conversion Processing for Fuels and Chemicals. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2006;28(6):517–525.
85. Demirer GN, Duran M, Ergüder TH, Güven E, Ugurlu Ö, Tezel U. Anaerobic treatability and biogas production potential studies of different agro-industrial wastewaters in Turkey. *Biodegradation* 2000;11(6):401–405.
86. Varaldo HMP, Paez KMM, Alvarado CE, Narváez PNR, Noyola MTP, Calva GC, Leal ER, Mayer JG, Vázquez CE, Clemente AO, Seijas NFR. Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review. *Waste Management & Research*. 2014;32:353–365.

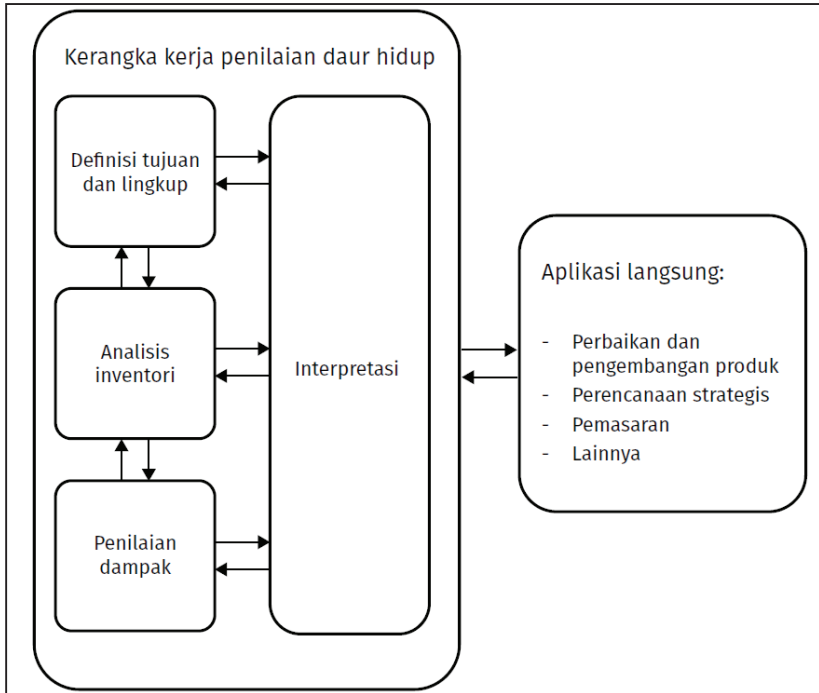
87. Kivaisi AK, Rubindamayugi MST. The potential of agro-industrial residues for production of biogas and electricity in Tanzania. *Renewable Energy*. 1996;9(1–4):971–921.
88. Malkow T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. 2004;24(1):53–79.
89. Lennartsson PM, Erlandsson P, Taherzadeh MJ. Integration of the first and second generation bioethanol processes and the importance of by-products. *Bioresource Technology*. 2014;165:3–8.
90. Atsuta Y, Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of greenhouse gas emissions from lagoon waste water treatment of Indonesian agro-industries plantation (in Japanese). *Proceedings of 42nd Japan Society on Water Environment Annual Conference 2008, Nagoya, Japan, 19–21 Maret 2008*.
91. Rani DS, Nand K. Ensilage of pineapple processing waste for methane generation. *Waste Management*. 2004;24:523–528.
92. Madurwar MV, Ralegaonkar RV, Mandavgane SA. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A Review. *Construction and Building Materials*. 2013;38:872–878.
93. Gandhi V, Kumar G, Marsh R. Agro-industry for rural and small farmer development: Issues and lessons from India. *International Food and Agribusiness Management Review*. 2001;2(3/4):331–344.
94. Boehlje M, Bröring S. The Increasing Multifunctionality of Agricultural Raw. Materials: Three Dilemmas for Innovation and Adoption. *International Food and Agribusiness Management Review*. 2011;14(2):1–16.
95. Bommarco R, Kleijn D, Potts SG. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in ecology & evolution*. 2013;28(4):230–238.

96. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Joukaku Y, Sadamichi Y, Osugi T. Development of Life Cycle Inventory for Indonesian's grid electric generation system. Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002:409–412.
97. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Assessing the environmental impacts of Indonesian electricity grid system using an LCA method. Proceedings of the 12th annual meeting of Japan Institute of Energy 2003, Sapporo, Japan, 30–31 Juli 2003:422–423.
98. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Evaluation of Indonesian's grid electricity system from A Life Cycle Assessment point of view. Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems 2003 (ECOS 2003), Copenhagen, Denmark, 30 Juni–2 Juli 2003: Vol. 1:521–528.
99. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Optimizing selection of appropriate power generation systems in Indonesia by using Distance Based Approach method. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2004;126(1):63–71.
100. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Environmental impact analysis of Indonesian electric generation systems (Development of a Life Cycle Inventory of Indonesian electricity). JSME International Journal Series B-Fluids and Thermal Engineering. 2003;46(4):650–659.
101. **Widiyanto A**. Life Cycle Assessment (LCA) Consolidated Evaluation of Indonesian Electricity Generation Systems. Mie University Press; 2004.
102. Kato S, **Widiyanto A**, Maruyama N. Power plant design optimized from environmental and economical aspects. Proceedings of the 40th National Heat Transfer Symposium of Japan 2003, Hiroshima, Japan, 28–30 Mei 2003:105–108.
103. **Widiyanto A**. Life Cycle Analysis as a tool for industrial policy assessment: Evaluation of power generation systems. Jakarta: BPPT Press; 2018.

104. Tachibana R, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Goto N, Arakawa M, Funatsu K, Fujie K. AB-NET for optimal biomass network design (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(4):257–269.
105. Othman H, Mohammed AT, Dolmat MT. Bunch ash: An efficient and cost-effective K fertilizer source for mature oil palm on peat under high rainfall environment, *MPOB Information Series*. 2005;(254):4.
106. van Kraalingen DWG, Breure CJ, Spitters CJT. Simulation of oil palm growth and yield, *Agricultural and forest Meteorology*. 1989;46:227–244.
107. Khamis A, Ismail Z, Haron K, Mohammed AT. Nonlinear growth models for modeling oil palm yield growth, *Journal of mathematics and statistics*. 2005;1(3):225–233.
108. Aggarwal PK, Kalra N, Chander S, Pathak. A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description, *Agricultural systems*. 2006;89:1–25.
109. Tohiruddin L, Prabowo NE, Foster HL. Comparison of the response of oil palm fertilisers at different locations in north and south Sumatra. *Proceedings of International Oil Palm Conference 2006, Nusa Dua, Bali*, 2006;188–200.
110. Fauzi Y, Widyastuti YE, Satyawibawa I, Hartono R. Kelapa Sawit: Budi daya, pemanfaatan hasil & limbah, analisis usaha & pemasaran. Jakarta: Penerbit Swadaya. 2006;159.
111. Tachibana R, Fujie K, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Goto N, Arakawa M, Funatsu K. Development of “AB-NET” for Optimal biomass network design (in Japanese). *Proceedings of Japan Society of Environmental Science, Annual Meeting 2008, Tokyo, Japan*, 18–19 September 2008.
112. Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Greenhouse gas balance on life cycle of biodiesel: A case of palm biodiesel production in Indonesia. *Proceedings of the 8th International Conference on Ecobalance, Tokyo, Japan*, 10–12 Desember 2008:741–744.

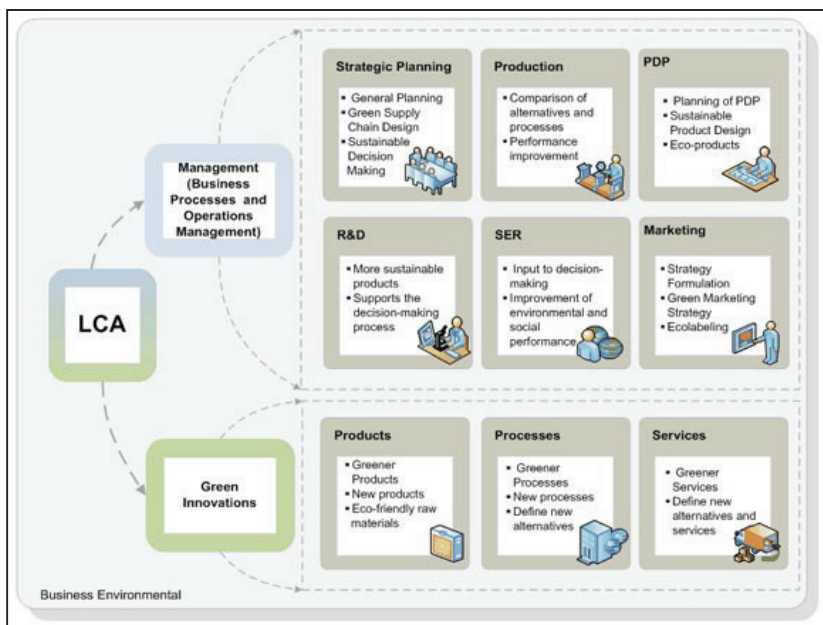
113. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Tachibana R, Udin H, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of palm mill industry based on material and energy flow analysis in Indonesia. Proceedings of the 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET15), Kanazawa, Japan, 18–19 Oktober 2008: Paper No. P-79.
114. Tachibana R, Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Daimon H, Goto N, Fujie K. Development of numerical simulation model of Oil Palm Yield in tropical plantation (in Japanese). Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008, Hamamatsu, Japan, 17–19 Maret 2008.
115. Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation and modeling of energy balance in Bio-Diesel-Fuel/BDF import of palm oil origin from Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008, Hamamatsu, Japan, 17–19 Maret 2008.
116. Tachibana R, Kamahara H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of emerging efficient management method for soil sustainability in Oil Palm plantation (in Japanese). Proceedings of 8th Nature Restoration and Conservation Symposium 2007, Tokyo, Japan, 12 Desember 2007.
117. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of agriculture wastes utilization concerning energy independence of Agro-industry in Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 39th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007, Sapporo, Japan, 9–13 September 2007:329.
118. **Widiyanto A**, Taufik TA. Life Cycle Engineering as a tool for policy assessment on sustainable biomass utilization program in Indonesia. Proceedings of the 7th Biomass Asia Workshop. Jakarta, 29 November–1 Desember 2010.

LAMPIRAN



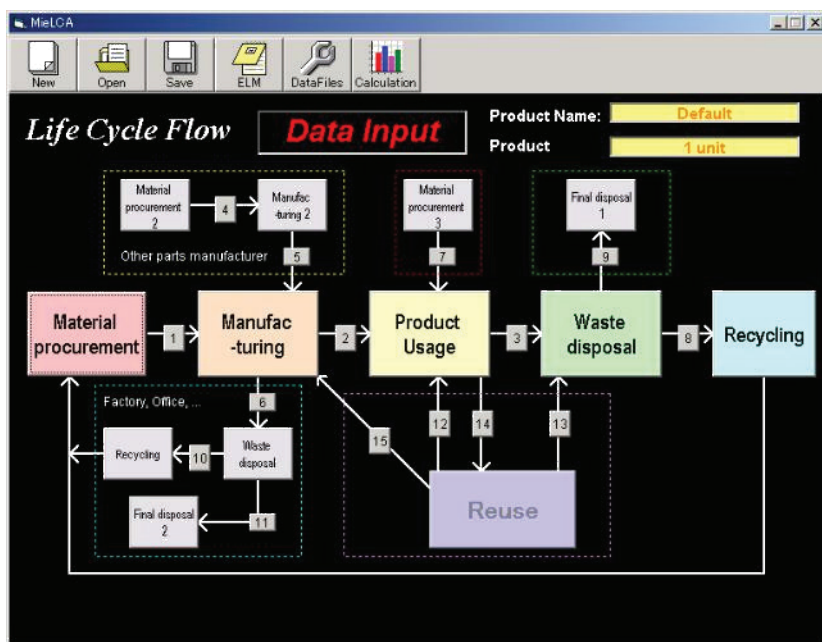
Sumber: SNI ISO 14040:2016

Gambar 1. Kerangka Kerja *Life Cycle Assessment*⁴⁶

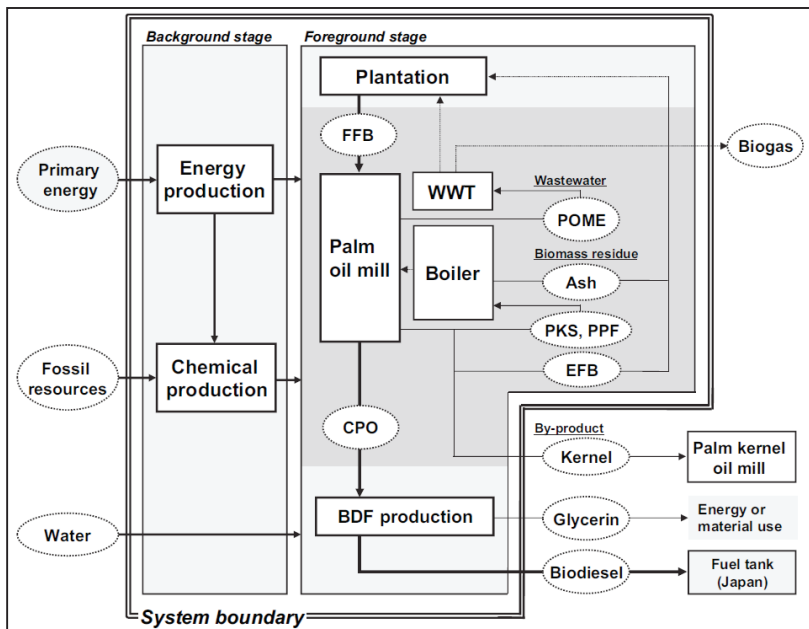


Sumber: Piekarski et al, 2013

Gambar 2. Aplikasi dan Manfaat LCA dalam Kebijakan serta Bisnis Lingkungan⁵⁷

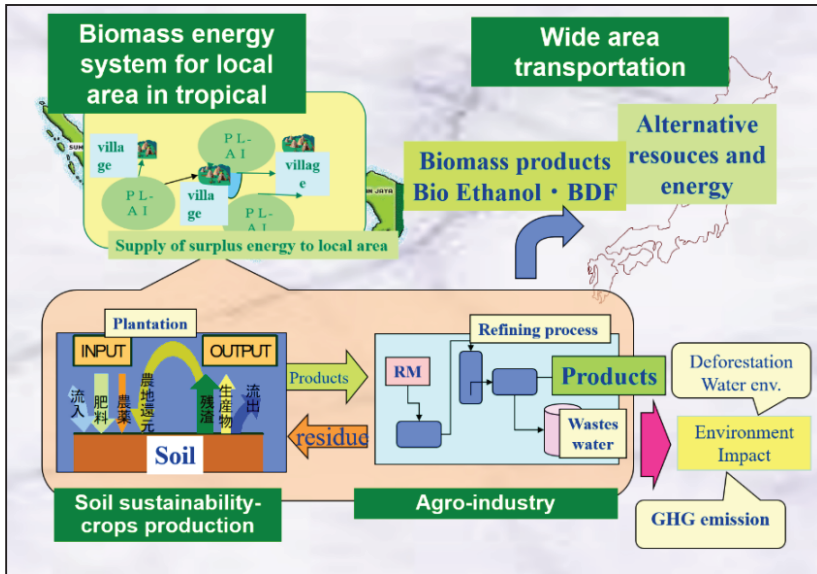


Gambar 3. Tampilan Software MielCA yang Dikembangkan^{64,65,66}

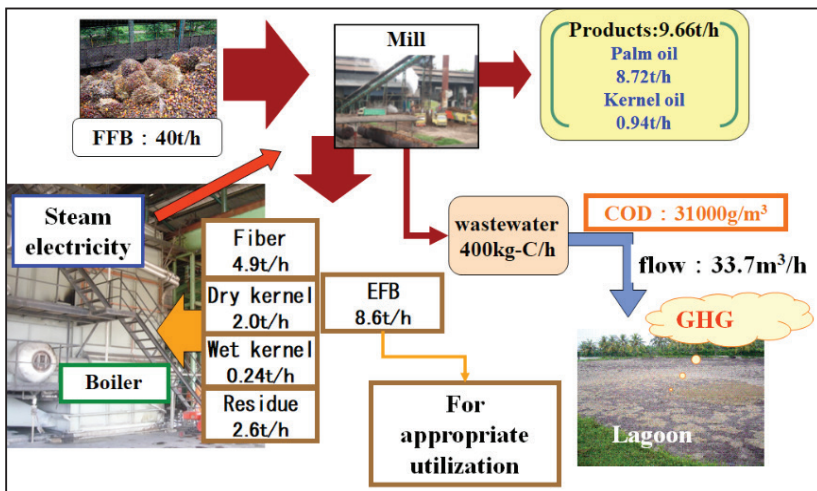


Ket.: FFB: *Fresh fruit bunch*, CPO: *Crude palm oil*, WWT: *Wastewater treatment*, POME: *Palm oil mill effluent*, PKS: *Palm kernel shells*, PPF: *Palm press fiber*, EFB: *Empty fruit bunch*

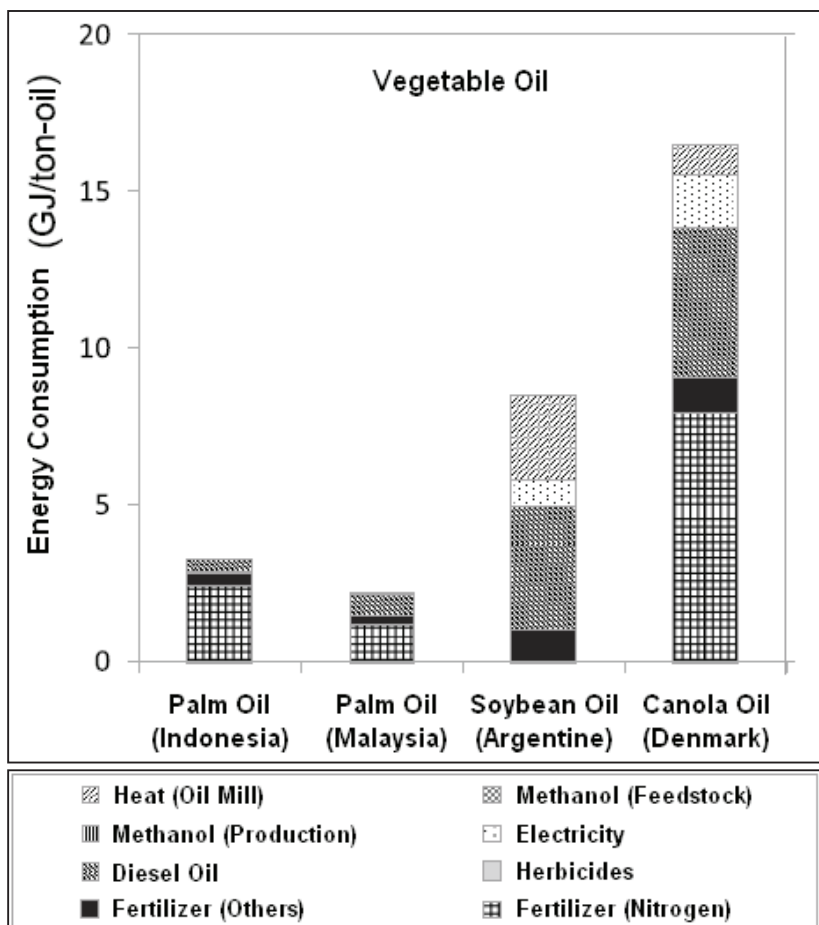
Gambar 4. Diagram Alir Analisis Sistem Produksi Biodiesel⁸⁰



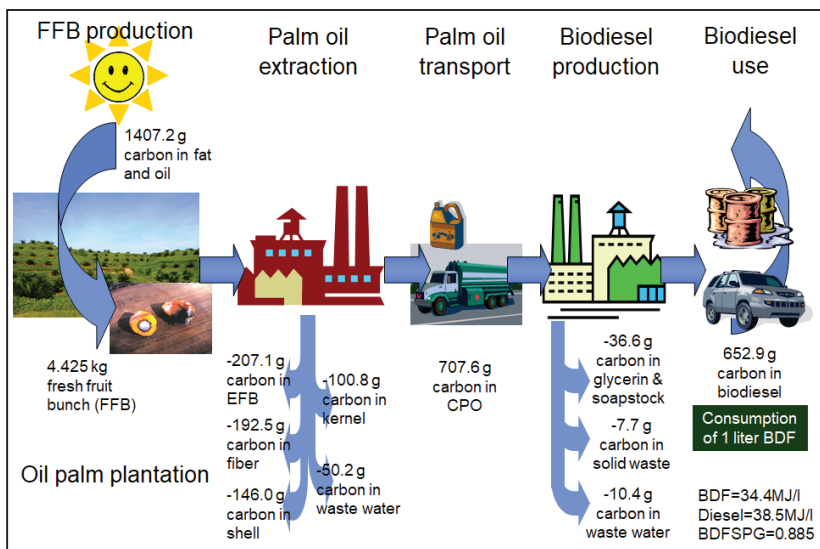
Gambar 5. Konsep LCA untuk Agroindustri Berkelanjutan¹⁰⁴



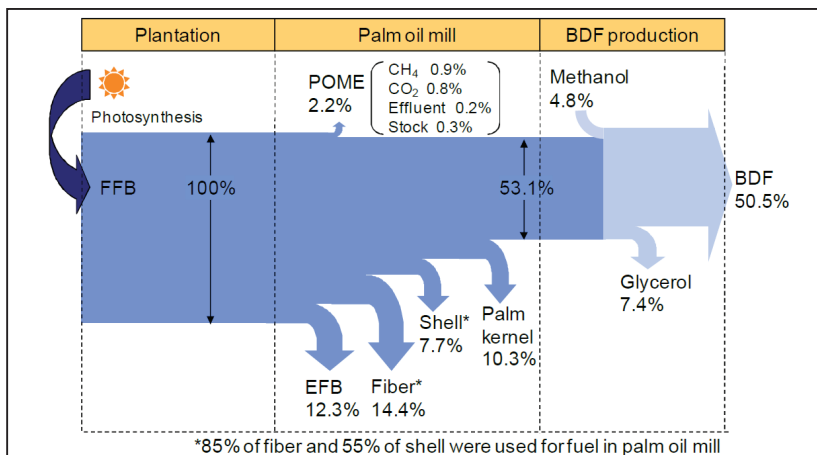
Gambar 6. Material Flow pada Pabrik Kelapa Sawit¹¹²



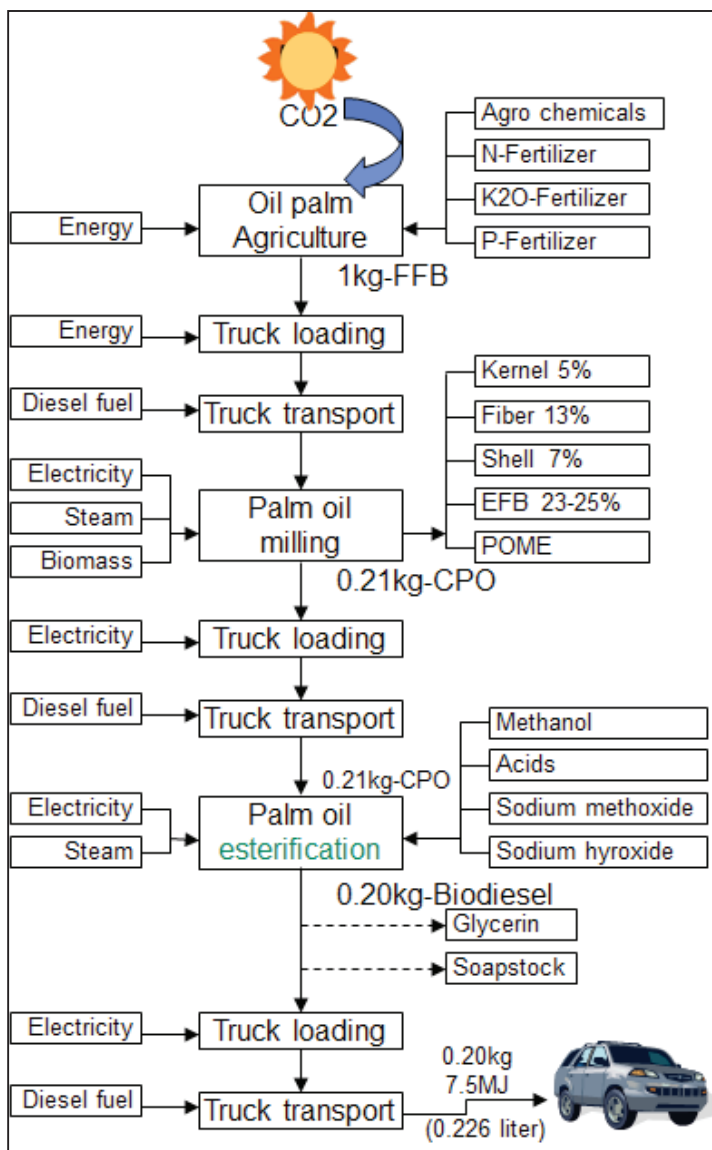
Gambar 7. Konsumsi Energi untuk Produksi Minyak Nabati⁶⁷



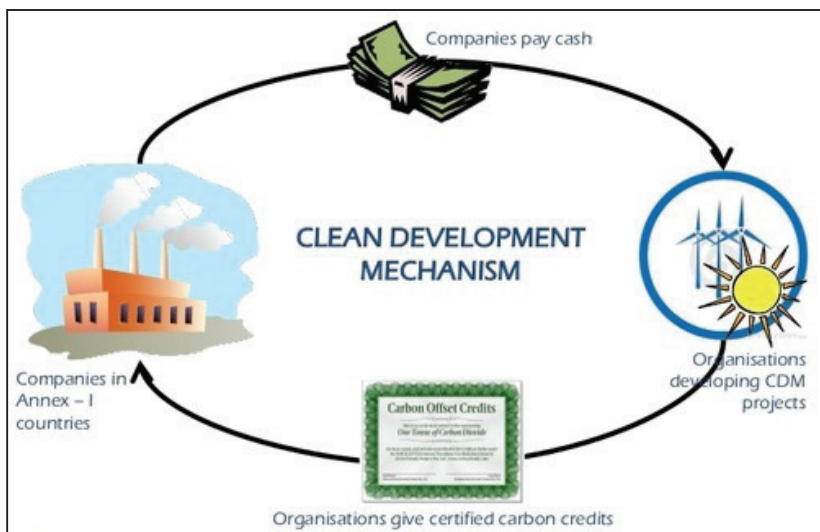
Gambar 8. Keseimbangan Karbon untuk Siklus Hidup Biodiesel dari Minyak Sawit^{67,115}



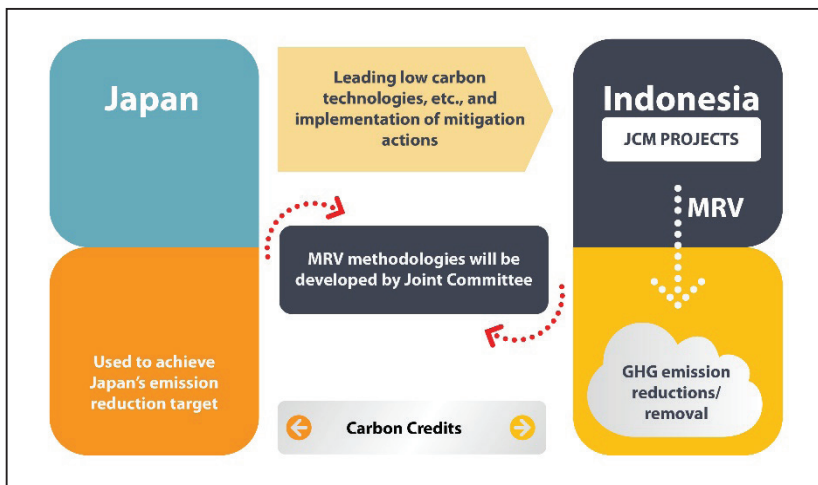
Gambar 9. Aliran Karbon untuk Siklus Hidup Biodiesel dari Minyak Sawit^{67,115}



Gambar 10. Aliran Bahan Siklus Hidup Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Sawit^{67,70}



Gambar 11. Skema Pasar Karbon CDM



Gambar 12. Skema Pasar Karbon *Joint Crediting Mechanism*

Tabel 1. Luas Area dan Produksi Tanaman Penghasil Biomassa yang Potensial di Indonesia Tahun 2018

Komoditas	Luas Panen (ha)	Produksi (ton)	Keterangan
Kelapa sawit	9.277.690	1,58 x 10 ⁸	Tandan buah segar (TBS)
Tebu	430.112	21.212.950	Batang tebu digiling
Kelapa	3.260.015	18.983.378	Kelapa utuh
			Gabah kering giling (GKG)
Padi	15.788.000	81.382.000	
Jagung	5.375.000	27.952.000	Jagung pipil kering
Ubi kayu	779.000	19.046.000	Umbi basah

Sumber: FAO (2019) diolah

Tabel 2. Tipikal Skema LCA Terkonsolidasi¹⁰¹

Name	EP	EPS	ELP	NETS
Org.	BUWAL, Swiss	IVL, Sweden	Waseda University, Japan	Mie University, Japan
Method	Distance to target	Monetary valuation method	Questionnaires	Load-Receiver tolerant balance theory
Unit	EP (Eco Point)	ELU (Environmental Load Units)	ELP (Environmental Load Point)	NETS (Numerical Eco-load Total Standardization)
Standardization principle for different environmental impacts	Standardized environmental impacts are expressed by EF (Eco factor) consisting F_k (governmental goal value) and F_i (domestic present value) on each environmental factor, $EF_i = \frac{1}{F_k} \times \frac{F_i}{F_k} \times 10^{12}$ Whole env. impact EP is $EP = \sum_i (EF_i \times x_i)$	Standardization for environmental impacts is shown by (cost to avoid environmental intervention) $\times$ (Impact range $\times$ intensity $\times$ durability) in each environmental factor, called "ELI (Environmental Load Index)". Entire environmental impact ELV is $ELV = \sum_i (ELI_i \times x_i)$	Standardized impacts for environmental factor ELF_k consist of the weighting factors $C_{j,k}$ (for an environmental factor k in an environmental impact category j), weighting factor W_j (determined by classified questionnaires), and A_j (accumulated annual emission / consumption in j). $A_j = \sum (C_{j,k} \times x_k)$ $ELF_k = \sum (C_{j,k} \times x_k / A_j) \times 10^{16}$ $ELP_i = \sum_i (ELF_i \times x_i)$	Standardization is based on balance between "Loader's" maximum allowable value for emission or consumption (P_i) and "Receiver's" maximum tolerant value (MEV_i), in an environmental factor i . Standardized impacts for each environmental factor are shown by the conversion coefficient ELM_i with respect to the Loader (P_i) and Receiver (MEV_i). $P_i \times xELM_i = MEV$ The entire impacts is $ECL = \sum_i ELM_i \times x_i$

Sumber: Widiyanto (2004)

Tabel 3. Faktor beban lingkungan ditangani oleh LCA-NETS dan nilai standar untuk konsolidasi.^{101,102,103}

Environmental load factors		Consolidated standardization values	Number of chemical for the calculation	Data sources
Global scale	Depletion of fossil fuel	Proven coal reserve	4	MITI United Nations statistic materials and others
	Depletion of natural resources	Proven mineral reserve	42	United Nation, USGS published materials and other sources
	Global warming	GHG emissions, GWP	43	IPCC report, environmental white paper and other sources
	Ozonosphere destruction	Emission of CFCs, ODP	24	Material from related industries, environmental statistical materials and other sources
	Atmospherically pollution	Environment Agency, WHO regulation values	11	Tables published by the Environment Agency, chronological scientific tables and other sources
	Hydrosphere pollution	Environment Agency, WHO regulation values	28	Tables published by the Environment Agency, chronological scientific tables and other sources
Regional scale	Acid rain	[H ^C] Concentration in rainwater	7	Environmental white paper, chronological scientific table, tables published by academic magazines
	Waste processing	Amount of residuals in the final disposal	Many	Materials from related industries, environmental white paper, and UN statistics
	Recycling effect	Factor classified statistical materials	Many	Material from related industries, academic papers, statistics, and other sources

Sumber: Widiyanto (2004), Kato (2003), Widiyanto (2018)

Tabel 4. Proyeksi BAU dan Reduksi Emisi GRK dari Setiap Kategori Sektor

No	Sector	GHG Emission Level 2010*	GHG Emission Level 2030 (MTon CO ₂ e)			GHG Emission Reduction (MTon CO ₂ e)				% of Total BaU	Annual Average Growth BAU (2010-2030)	Average Growth 2000-2012*
		MTon CO ₂ e	BaU	CM1	CM2	CM1	CM2	CM1	CM2			
1	Energy*	453.2	1,669	1,355	1,271	314	398	11%	14%		6.7%	4.50%
2	Waste	88	296	285	270	11	26	0.38%	1%		6.3%	4.00%
3	IPPU	36	69.6	66.85	66.35	2.75	3.25	0.10%	0.11%		3.4%	0.10%
4	Agriculture	110.5	119.66	110.39	115.86	9	4	0.32%	0.13%		0.4%	1.30%
5	Forestry**	647	714	217	64	497	650	17.2%	23%		0.5%	2.70%
TOTAL		1,334	2,869	2,034	1,787	834	1,081	29%	38%		3.9%	3.20%

Notes: * Termasuk fugitive **Termasuk kebakaran gambut
CM1 = Counter Measure 1 (kondisi scenario tanpa persyaratan mitigasi-unconditional)
CM2 = Counter Measure 2 (kondisi scenario dengan persyaratan mitigasi-conditional)

Tabel 5. Pentahapan Kewajiban Minimal Pemanfaatan Bioetanol sebagai Campuran Bahan Bakar Minyak (Permen ESDM No. 12 tahun 2015)

Jenis Sektor	April 2015		Januari 2020		Keterangan
	2015	2015	2020	2025	
Rumah Tangga	-	-	-	-	Saat ini tidak ditentukan
Usaha Mikro, Usaha Perikanan, Usaha Perta-	1%	2%	5%	20%	Terhadap kebu-
nian, Transportasi, dan Pelayanan Umum (PSO)					tuhan total
Transportasi Non-PSO	2%	5%	10%	20%	Terhadap kebu-
Industri dan Komersial	2%	5%	10%	20%	tuhan total
Pembangkit Listrik	-	-	-	-	Terhadap kebu-
					tuhan total

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku/Bagian dari Buku

1. **Widiyanto A.** Kajian pemanfaatan metode Life Cycle Assessment dan aplikasinya untuk peningkatan daya saing Startup. Dalam: Wijayanto RP, Rahmawati D, editor. Strategi pendampingan Startup di masa pandemic. Tangerang Selatan: Balai Inkubator Teknologi, BPPT; 2020. 56–81.
2. **Widiyanto A,** Putri IS, Supomo ADP, Cahyanto TD, Hamdani M, Hamzah A, Rahmawati D, Hadiono S, Maso RA, Prasetyo D, Ilyas A, Farisy SA. Kajian dampak COVID-19 terhadap PPBT. Tangerang Selatan: Balai Inkubator Teknologi, BPPT; 2020.
3. **Widiyanto A.** Life Cycle Analysis as a tool for industrial policy assessment: Evaluation of power generation systems. Jakarta: BPPT Press; 2018.
4. **Widiyanto A.** An eco-improvement tool to enhance industrial product's competitiveness. Jakarta: BPPT Press; 2018.
5. **Widiyanto A,** Guntoro I, Ismariny, Oktaviani W, Sumaryanto. Peningkatan daya saing industri dan daerah: Pengembangan klaster industri pariwisata dan pangan di Kabupaten Gunungkidul. Jakarta: BPPT Press; 2017.
6. **Widiyanto A.** Metode Life Cycle Assessment dan aplikasinya untuk peningkatan daya saing produk. Dalam: Vidyatmoko D, Rosadi HY, Taufiq R, editor. Peningkatan daya saing industri: Metode dan studi kasus. Jakarta: BPPT Press; 2011;51–83.
7. **Widiyanto A,** Widjajawati E. Analisis peningkatan efisiensi sistem kogenerasi berbahan bakar ampas tebu dan potensinya untuk penyediaan listrik. Dalam: Vidyatmoko D, Rosadi HY, Taufiq R, editor. Peningkatan daya saing industri: Metode dan studi kasus. Jakarta: BPPT Press; 2011;139–174.

8. **Widiyanto A.** Life Cycle Assessment (LCA) Consolidated Evaluation of Indonesian Electricity Generation Systems [Disertasi]. [Jepang]: Mie University; 2004.
9. **Widiyanto A.** Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing (LCA/LCC) Evaluation for Power Generation Systems Using NETS Method. Mie University Press; 2001.

Jurnal Internasional

10. Sutopo W, Erliza A, **Widiyanto A**, Apriandy RR, Ali A. The model of investment promotion policy scheme in science and technology park: A case study of technopolis in Indonesia. *Production and Manufacturing Research*. 2018;6(1):308–327.
11. Erliza A, Zakaria R, Sutopo W, **Widiyanto A**, Supriyanto E. Formulation strategy for promoting investment of technopolis: A case study. *Directory of Open Access Journal (DOAJ), Lecture Notes in Engineering and Computer Science*. 2014;22(10):1013–1018.
12. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Fujie K, Daimon H. Reduction effect of greenhouse gas emissions by biogas utilization in tapioca starch factory (in Japanese). *Kagaku Kogaku Ronbunshu*. 2012;38(5):299–304.
13. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice. *Biomass and Bioenergy*, 2010;34(12):1818–1824.
14. Kamahara H, Hasanudin U, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Methane emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*. 2010;15(2):79–8–3.
15. Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Environmental load by producing and importing Indonesian palm biodiesel fuel (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(4):247–256.

16. Tachibana R, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Goto N, Arakawa M, Funatsu K, Fujie K. AB-NET for optimal biomass network design (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(4):257–269.
17. Atsuta Y, Shinbo T, **Widiyanto A**, Daimon H, Fujie K. Effectiveness of Poly Lactic Acid chemical recycling system by using hydrothermal treatment based on Life Cycle Inventory Analysis (in Japanese). *Journal of Society of Environmental Science, Japan*. 2009;22(1):11–18.
18. Kamahara H, Hasanudin U, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Methane and carbon dioxide emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*. 2008;14(2):117.
19. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Tachibana R, Hasanudin U, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of palm mill industry based on material and energy flow analysis in Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*, 2008;14(2):151.
20. Kamahara H, Shimizu S, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Goto N, Daimon H, Fujie K. Evaluation of energy consumption and greenhouse gas emission on oil palm BDF production system based on life cycle approach. *The Institute of Life Cycle Assessment, Japan*. 2007; Special Edition:86.
21. Kato S, **Widiyanto A**. Environmental impact consolidated evaluation of energy systems by a LCA-NETS scheme. *Energy*. 2005;30(11–12):2057–2072.
22. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Life Cycle Analytical tools and externalities of the Flue Gas Desulphurization system in Thailand. *Chiang Mai University Journal*. 2005;4(1):1–17.
23. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Life Cycle Consideration of the Flue Gas Desulphurization system at a lignite-fired power plant in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2004;9(6):387–393.

24. **Widiyanto A.** LCA consolidated evaluation of Indonesian electricity generation systems. Res. Rep. Fac. Eng. Mie University Journal. 2004;29(1):111–112.
25. **Widiyanto A,** Kato S, Maruyama N. Development of decision model for selection of appropriate power generation system using Distance Based Approach method. JSME International Journal Series B-Fluids and Thermal Engineering. 2004;47(2):387–395.
26. **Widiyanto A,** Kato S, Maruyama N. Optimizing selection of appropriate power generation systems in Indonesia by using Distance Based Approach method. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2004;126(1):63–71.
27. **Widiyanto A,** Kato S, Maruyama N. Environmental impact analysis of Indonesian electric generation systems (Development of a Life Cycle Inventory of Indonesian electricity). JSME International Journal Series B-Fluids and Thermal Engineering. 2003;46(4):650–659.
28. **Widiyanto A,** Kato S, Maruyama N, Kojima Y. Environmental impacts of fossil fuel fired co-generation plants using a numerically standardized LCA scheme. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2003;125(1):9–16.
29. **Widiyanto A,** Kato S, Maruyama N. A LCA/LCC optimized selection of power plant system with additional facilities options. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2002;124(4):290–299.
30. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, **Widiyanto A.** Life Cycle Assessment estimation for eco-management of co-generation systems. Journal of Energy Resources and Technology, Transaction of the ASME. 2001;123(1):15–20.
31. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A.** Quantitative standardization of various global environmental loads and its applications to eco-load operation scheme of co-generation systems (in Japanese). Journal of Fluid and Heat Engineering Research. 1999;34(2):37–44.

Jurnal Nasional

32. **Widiyanto A**, Widjajawati E. Ecological limit for sustainable development on the northern region of Mie Prefecture, Japan using UETs method. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2019;20(1):1–8.
33. **Widiyanto A**. Life Cycle Assessment of power generation systems. *Jurnal Fusii*. 2000; Edisi Khusus.(6):72–76.

Prosiding Internasional

34. **Widiyanto A**, Supomo ADP, Rahmawati D, Prasetyo D. Startups business opportunities analysis as an effort to arrange policy design for reducing the impact of Covid-19 pandemic on startups business. *Proceedings of International Conference on Sustainable Management and Innovation (ICoSMI) 2020*, IPB, Bogor, 14–16 September 2020.
35. Sutopo W, Yuniaristanto, Wicaksana DEP, **Widiyanto A**. Framework system of university technology based start-up development by university incubator: case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, Bangkok, Thailand, 5–7 Maret 2019: 3582–3590.
36. Yuniaristanto, Sutopo W, **Widiyanto A**, Putri AS. Concept of economic readiness levels assessment. *Proceedings of 2016 Annual Conference on Industrial and System Engineering (ACISE)*, Surakarta, 6–7 Oktober 2016: 322–329.
37. Astuti RW, Sutopo W, Yuniaristanto, **Widiyanto A**. The Development of Funding Strategies for Technology Commercialization. *Proceedings of the 4th International Conference On Advanced Manufacturing Technology (ICAMT 2015)*, Johor Bahru, Malaysia, 20–22 September 2015.
38. Erliza A, Zakaria R, Sutopo W, **Widiyanto A**, Supriyanto E. formulation strategy for promoting investment of Technopolis: a case study. *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2014 (IMECS 2014)*, Hongkong, 12–14 Maret 2014, Vol II: 1013–1018.

39. **Widiyanto A**, Taufik TA. Life Cycle Engineering as a tool for policy assessment on sustainable biomass utilization program in Indonesia. Proceedings of the 7th Biomass Asia Workshop. Jakarta, 29 November–1 Desember 2010.
40. Kamahara H, Hasanudin U, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Life cycle greenhouse gas emissions from tapioca starch production in Lampung, Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 5th Annual Meeting 2010 of The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Yokohama, Japan, 4–6 Maret 2010: 206–207.
41. Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Evaluation of net greenhouse gas emission from palm oil based BDF production considering land use change (in Japanese). Proceedings of the 4th Annual Meeting 2009 of The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Kita Kyushu, Japan, 5–7 Maret 2009: 84–85.
42. Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Greenhouse gas balance on life cycle of biodiesel: A case of palm biodiesel production in Indonesia. Proceedings of the 8th International Conference on Ecobalance, Tokyo, Japan, 10–12 Desember 2008: 741–744.
43. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Tachibana R, Udin H, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of palm mill industry based on material and energy flow analysis in Indonesia. Proceedings of the 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET15), Kanazawa, Japan, 18–19 Oktober 2008: Paper No. P-79.
44. Kamahara H, Udin H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Methane and carbon dioxide emission from anaerobic pond of tapioca starch extraction wastewater in Indonesia. Proc. of the 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET15). Kanazawa, Japan, 18–19 Oktober 2008: Paper No. P-45.

45. Tachibana R, Fujie K, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Kamahara H, Goto N, Arakawa M, Funatsu K. Development of “AB-NET” for Optimal biomass network design (in Japanese). Proceedings of Japan Society of Environmental Science, Annual Meeting 2008, Tokyo, Japan, 18–19 September 2008.
46. Atsuta Y, Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of greenhouse gas emissions from lagoon waste water treatment of Indonesian agro-industries plantation (in Japanese). Proceedings of 42nd Japan Society on Water Environment Annual Conference 2008, Nagoya, Japan, 19–21 Maret 2008.
47. Tachibana R, Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Daimon H, Goto N, Fujie K. Development of numerical simulation model of Oil Palm Yield in tropical plantation (in Japanese). Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008, Hamamatsu, Japan, 17–19 Maret 2008.
48. Kamahara H, **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation and modeling of energy balance in Bio-Diesel-Fuel/BDF import of palm oil origin from Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008, Hamamatsu, Japan, 17–19 Maret 2008.
49. Kamahara H, Shimizu S, **Widiyanto A**, Tachibana R, Atsuta Y, Goto N, Daimon H, Fujie K. Evaluation of energy consumption and greenhouse gas emission on oil palm Bio-Diesel-Fuel/BDF production system based on life cycle approach (in Japanese). Proceedings of the 3rd The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Annual Meeting 2008, Nagoya, Japan, 28 Februari–1 Maret 2008.: 174–175.
50. Tachibana R, Kamahara H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of emerging efficient management method for soil sustainability in Oil Palm plantation (in Japanese). Proceedings of 8th Nature Restoration and Conservation Symposium 2007, Tokyo, Japan, 12 Desember 2007.

51. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of agriculture wastes utilization concerning energy independence of Agro-industry in Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 39th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007, Sapporo, Japan, 9–13 September 2007: 329.
52. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Energy evaluation of Indonesian sugar mills and its potential for Clean Development Mechanism (in Japanese). Proceedings of the 39th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007, Sapporo, Japan, 9–13 September 2007: 328.
53. Tachibana R, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Daimon H, Goto N, Fujie K. Current state and problem on tropical plantation toward effective sound materials cycle (in Japanese). Proceedings of the 39th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007, Sapporo, Japan, 9–13 September 2007: 327.
54. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Material flow analysis and energy management at sugar mills in Indonesia. Proceedings of the 16th annual meeting of Japan Institute of Energy 2007, Fukuoka, Japan, 2–4 Agustus 2007: 230–231.
55. Atsuta Y, Kamahara H, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Evaluation of greenhouse emission from waste water of farm crops processing in tropical plantation (in Japanese). Proceedings of 41st Japan Society on Water Environment Annual Conference 2007, Osaka, 15–17 Maret 2007: 378.
56. **Widiyanto A**. Possibility of biotechnology fuels in Indonesia. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium “Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization”, Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.

57. **Widiyanto A**, Atsuta Y, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Design and evaluation of biomass effective utilization system for sustainable plantation. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium "Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization", Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.
58. Atsuta Y, **Widiyanto A**, Tachibana R, Daimon H, Goto N, Fujie K. Biomass flow analysis and recycling potential of agricultural wastes in tropical plantation. Proceedings of Indonesia and Japan Joint Symposium "Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization", Bandung Institute of Technology-the 21st Century Center of Excellent (COE) Program Toyohashi University of Technology, Ecological Engineering for Homeostatic Human Activities, Bandung, Indonesia, 4–5 Maret 2007.
59. Tachibana R, Kamahara H, Atsuta Y, **Widiyanto A**, Daimon H, Goto N, Fujie K. Current state and problems of biomass effective utilization in plantation in Indonesia (in Japanese). Proceedings of the 7th Nature Restoration and Conservation Symposium 2006, Tokyo, Japan, 9 Desember 2006: 40–45.
60. Sampattagul S, **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Kiatsiriroat T. LCA-NETS evaluation for GHG of power plants in Thailand. Proceedings of LCM2005 -Innovation by Life Cycle Management, Barcelona, Spain, 5–7 September 2005.
61. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Environmental impact assessment from operating co-generation systems and power plants. Proceedings of 3rd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2005), San Fransisco, USA, 15–18 Agustus 2005: Paper No: AIAA 2005-5569.
62. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Environmentally conscious design from operating co-generation systems and power plants. Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2005 (ISETS 2005), Nagoya University, Nagoya, Japan, 8–9 Agustus 2005: Paper No: OS2-P-11.

63. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S. Evaluation of environmental impact assessment from operating co-generation systems and power plants. Proceedings of 42nd National Heat Transfer Symposium of Japan 2005, Sendai, Japan, 6–8 Juni 2005: Vol. 2: 321–322.
64. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S, Nishimura A. Environmental impact assessment of independent co-generation systems using LCA method. Proceedings of 2nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2004), Providence, USA, 16–19 Agustus 2004: Paper No: AIAA-2004-5552-105.
65. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Life Cycle Analysis for electricity grid systems in Japan. Proceedings of 2nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2004), Providence, USA, 16–19 Agustus 2004: Paper No: AIAA-2004-5553-242.
66. Sampattagul S, Kato S, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Kimura Y. An integrated Life Cycle Eco-Improvement and NETS-Green Productivity Index of vending machines. Proceedings of InLCA/ LCM 2004 - The 2004 International Life Cycle Assessment and Life Cycle Management conference, Seattle, USA, 11–24 Juli 2004.
67. Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Kato S, Nishimura A. Environmental impact assessment of independent co-generation systems using LCA Method. Proceedings of 41st National Heat Transfer Symposium of Japan 2004, Toyama, Japan, 26–28 Mei 2004: Vol. II: 493–494.
68. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Life Cycle Analysis for electricity grid systems in Japan. Proceedings of 41st National Heat Transfer Symposium of Japan 2004, Toyama, Japan, 26–28 Mei 2004: Vol. II: 495–496.
69. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Sampattagul S. Environmental impacts evaluation of electricity grid mix systems in four selected countries using a Life Cycle Assessment point of view. Proceedings of EcoDesign 2003: The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, Tokyo, Japan, 8–11 Desember 2003: 26–33.

70. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, Maruyama N, **Widiyanto A**, LCA-NETS tool for environmental design of natural gas-fired power generation systems in Thailand. Proceedings of EcoDesign 2003: The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, Tokyo, Japan, 8–11 Desember 2003: 141–146.
71. Sadamichi Y, Kimura Y, **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Nishimura A. LCA evaluation of reuse / recycle impact for environmental conscious industrial products. Proceedings of EcoDesign 2003: The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, Tokyo, Japan, 8–11 Desember 2003: 339–343.
72. Varabuntoonvit V, Muncharoen T, Kato S, **Widiyanto A**, LCA evaluation for grid electricity power plants in Thailand using NETS method. Proceedings of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE) 2003 Annual Meeting Conference, San Francisco, USA, 16–21 November 2003.
73. Kato S, Sadamichi Y, **Widiyanto A**. LCA environmental load minimization for operating different cogeneration systems. Proceedings of the International Conference on Power Engineering-03 (ICOPE-03), Kobe, Japan, 9–13 November 2003: Vol. 3: 229–234.
74. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. LCA-NETS evaluation of coal-fired and natural gas-fired power generations in Thailand. Proceedings of the International Conference on Power Engineering-03 (ICOPE-03), Kobe, Japan, 9–13 November 2003: Vol. 3: 235–239.
75. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Externality analysis of the flue gas desulphurization system at Mae Moh lignite-fired power plant in Thailand from LCA-NETS viewpoint. Proceedings of InLCA/LCM 2003 Conference, Seattle, USA, 22–25 September 2003.
76. Maruyama N, Kato S, **Widiyanto A**. Life Cycle Management for power plant optimization by LCA consolidated evaluation scheme. Proceedings of 1st International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2003), Portsmouth, USA, August 17–21, 2003: Paper No: AIAA 2003-5995.

77. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Assessing the environmental impacts of Indonesian electricity grid system using an LCA method. Proceedings of the 12th annual meeting of Japan Institute of Energy 2003, Sapporo, Japan, 30–31 Juli 2003: 422–423.
78. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Evaluation of Indonesian's grid electricity system from A Life Cycle Assessment point of view. Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems 2003 (ECOS 2003), Copenhagen, Denmark, 30 Juni–2 Juli 2003: Vol. 1: 521–528.
79. **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Kato S, Maruyama N, Nishimura A. A design methodology of environmentally conscious products for co-generation systems. Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems 2003 (ECOS 2003), Copenhagen, Denmark, 30 Juni–2 Juli 2003: Vol. 1: 529–536.
80. Kato S, Sampattagul S, Kiatsiriroat T, Maruyama N, **Widiyanto A**, Nishimura A, Sadamichi Y. LCA/LCC of Mae Moh coal fired power plant in Thailand. Proceedings of the 13th Symposium on Environmental Engineering 2003, Kawasaki, Japan, 25–27 Juni 2003: 402–405.
81. Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Yamaoka Y, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Izu Y, Kimura Y, Nakamura M. Environmental load evaluation of industrial products in manufacturing stage (Inventory analysis of painting-coating and plastic-injection moulding processes) (in Japanese). Proceedings of the 13th Symposium on Environmental Engineering 2003, Kawasaki, Japan, 25–27 Juni 2003: 381–384.
82. Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Izu Y, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Yamaoka Y, Kimura Y. Development of eco-accounting system (proposal of monetarization method for environmental protection effect by LCA-NETS) (in Japanese). Proceedings of the 13th Symposium on Environmental Engineering 2003, Kawasaki, Japan, 25–27 Juni 2003: 378–381.

83. Kato S, **Widiyanto A**, Maruyama N. Power plant design optimized from environmental and economical aspects. Proceedings of the 40th National Heat Transfer Symposium of Japan 2003, Hiroshima, Japan, 28–30 Mei 2003: 105–108.
84. Sampattagul S, Kato S, Kiatsiriroat T, **Widiyanto A**. Life Cycle Assessment of Mae Moh coal-fired power plant in Thailand. Proceedings of the Regional Conference on Energy Technology towards a Clean Environment (RCETCE), Phuket, Thailand, 12–14 Februari 2003.
85. Kimura Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Nakamura M. Eco-management of the vending machine by using LCA method. Proceedings of the EcoBalance 2002, Tsukuba, Japan, 6–8 November 2002: 225–228.
86. Kato S, **Widiyanto A**. Eco-management of energy utilization systems, environmental Life Cycle Assessment for power plant systems. Proceedings of the 9th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2002, Jiangsu, China, 28–31 Oktober 2002: 297–305.
87. Kimura Y, Joukaku Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Sadamichi Y, Nakamura M. Proposal of optimum ecological manufacturing process of industrial products in manufacturing process and development of quality function deployment for environment (QFDE) (in Japanese). Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002: 425–428.
88. Kato S, Sadamichi Y, Osugi T, Maruyama N, **Widiyanto A**, Nishimura A. Environmental advantage of inverse manufacturing for end-of-life vehicles (in Japanese). Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002: 417–420.
89. Varabuntoonvit V, Kato S, Maruyama N, Mungcharoen T, **Widiyanto A**, Sadamichi Y. LCA evaluation for grid electricity power plants in Thailand using LCA-*NETS* method. Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002: 413–416.

90. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Joukaku Y, Sadamichi Y, Osugi T. Development of Life Cycle Inventory for Indonesian's grid electric generation system. Proceedings of the 12th Symposium on Environmental Engineering 2002, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2002: 409–412.
91. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Optimizing selection of appropriate power generation systems in Indonesia by using Distance Based approach method. Proceedings of the 2002 International Joint Power Generation Conference & Exposition (IJPGC2002), Phoenix, Arizona, USA, 24–26 Juni 2002: Paper Number IJPGC2002-26167.
92. Kato S, **Widiyanto A**. Environmental impact consolidated evaluation of energy systems by a LCA-NETS scheme. Proceedings of the 5th International Symposium on CO2 Fixation and Efficient Utilization of Energy (C&E2002) and the 4th International World Energy System Conference (WESC-2002), Tokyo, Japan, 4–6 Maret 2002: 137–144.
93. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. An optimized selection of appropriate electric power generation systems by using Distance Based Approach method. Proceedings of the 5th International Symposium on CO2 Fixation and Efficient Utilization of Energy (C&E2002) and the 4th International World Energy System Conference (WESC-2002), Tokyo, Japan, 4–6 Maret 2002: 229–234.
94. Kimura Y, Kato S, Maruyama N, Sadamichi Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. Ecological improvement of the vending machine using LCA method. Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, Tokyo, Japan, 11–15 Desember 2001: 341–346.
95. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Kimura Y, Joukaku Y, Sadamichi Y. Eco-operation scheme of co-generation systems with compromising compatibility of environmental impacts and generating cost. Proceedings of 3rd International Symposium on Advanced Energy Conversion Systems and Related Technologies (RAN2001), Nagoya, Japan, 15–17 Desember 2001: 380–387.

96. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y. LCA environmental load evaluation of co-generation systems (optimum eco-operation scheme) (in Japanese). Proceedings of Thermal Engineering Conference '01, JSME, Okayama, Japan, 3–4 November 2001: 69–70.
97. Kato S, **Widiyanto A**. Environmental impact assessment of various power generation systems. Proceedings of the 8th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2001, Chiang Mai, Thailand, 30 Oktober–2 November 2001: 1–9.
98. Sadamichi Y, Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Joukaku Y. LCA environmental load evaluation of industrial products proposal of reusing vending machines. Proceedings of the 8th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2001, Chiang Mai, Thailand, 30 Oktober–2 November 2001: 141–146.
99. Maruyama N, Kato S, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y. Environmental impacts assessment of power generation systems - power generation plants and co-generation system. Proceedings of the International Conference on Power Engineering 2001 (ICOPE-2001), Xi'an, China, 9–11 Oktober 2001: 1605–1612.
100. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y. Evaluation of environmental loads for co-generation system using LCA Method (in Japanese). Proceedings of the 34th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2001, Sapporo, Japan, 28–31 September 2001: 391.
101. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. Development of software tool for power plant selection using a LCA optimization method (in Japanese). Proceedings of the 10th annual meeting of Japan Institute of Energy 2001, Kitakyushu, Japan, 31 Juli–1 Agustus 2001: 463–466.
102. Kato S, Maruyama N, Kimura Y, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. LCA of industrial products (ecological improvement by reuse and recycle of vending machines) (in Japanese). Proceedings of the 11th Symposium on Environmental Engineering 2001, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2001: 425–428.

103. Kato S, Maruyama N, Kimura Y, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. Environmental load evaluation of industrial products in manufacturing process (inventory analysis of manufacturing process) (in Japanese). Proceedings of the 11th Symposium on Environmental Engineering 2001, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2001: 421–424.
104. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. LCA and LCC evaluation in power plant systems (validity of optional equipment for environment) (in Japanese). Proceedings of the 11th Symposium on Environmental Engineering 2001, Kawasaki, Japan, 10–12 Juli 2001: 417–420.
105. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. A LCA/LCC optimizes selection of power plant system with additional facilities options. Proceedings of the 2001 International Joint Power Generation Conference & Exposition (IJPGC2001), ASME, New Orleans, Louisiana, USA, 4–7 Juni 2001: FACT-19087.
106. Kato S, Maruyama N, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y, Sadamichi Y, Matsui M. Evaluation of co-generation system optimized operation, using LCA (in Japanese), Proceedings of The 38th National Heat Transfer Symposium of Japan 2001, Omiya, Japan, 23–25 Mei 2001: Vol. 2: 249–250
107. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N. “A LCA/LCC optimized selection of power plant system with additional facilities options” (Pre-IJPGC 2001), Proceedings of The 38th National Heat Transfer Symposium of Japan 2001, Omiya, Japan, 23–25 Mei 2001: Vol. 2: 455–456.
108. **Widiyanto A**, Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Joukaku Y. Energy analysis and environmental impact assessment of various power generation systems. Proceedings of the 7th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2000, Tsu, Japan, 16–19 Oktober 2000: 27–32.
109. Kato S, Kojima Y, **Widiyanto A**, Maruyama N. Environmental impact of fuel fired co-generation plants using a numerically standardized LCA scheme. Proceedings of the 2000 International Joint Power Generation Conference (IJPGC-2000), Miami Beach, Florida, USA, 23–26 Juli 2000: Vol. I: 649–656.

110. Maruyama N, Kato S, Kojima Y, **Widiyanto A**, Takai H. LCA estimation scheme of co-generation systems reconcile environmentally and economically eco-operations with a NETS concept. Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems 2000 (ECOS 2000), Enschede, Netherlands, 5–7 Juli 2000: Vol. 2: 1093–1104.
111. Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Takai H, **Widiyanto A**, Joukaku Y. LCA environmental evaluation in co-generation system (analysis of different fossil fuels and economical estimation) (in Japanese). Proceedings of the 10th Symposium on Environmental Engineering 2000, Kawasaki, Japan, 6–7 Juli 2000: 317–320.
112. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Kojima Y, Takai H, Joukaku Y. Development of a LCA optimization tool for energy systems selection (environmental and economical estimations of power generation systems) (in Japanese). Proceedings of the 10th Symposium on Environmental Engineering 2000, Kawasaki, Japan, 6–7 Juli 2000: 313–316.
113. Kato S, Maruyama N, Takai H, **Widiyanto A**, Kojima Y, Joukaku Y. Environmental load evaluation of industrial products in manufacturing process (inventory analysis of metal processing) (in Japanese). Proceedings of the 10th Symposium on Environmental Engineering 2000, Kawasaki, Japan, 6–7 Juli 2000: 301–304.
114. Kato S, Maruyama N, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. Proposal of eco-product design using LCA environmental evaluation tool (in Japanese). Proceedings of the 10th Symposium on Environmental Engineering 2000, Kawasaki, Japan, 6–7 Juli 2000: 297–300.
115. Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Takai H, **Widiyanto A**. LCA environmental load evaluation in energy system (in Japanese). Proceedings of the 37th National Heat Transfer Symposium of Japan 2000, Kobe, Japan, 29–31 Mei 2000: Vol. 2: 533–534.
116. Kimura Y, Shimizu A, Kanno Y, Hasegawa Y, Kato S, Maruyama N, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**, Joukaku Y. LCA analysis and eco improvement for vending machine (in Japanese). Proceedings of the Eco-Design Japan Symposium 1999, Tokyo, Japan, 10–11 Desember 1999: 28–31.

117. Kato S, **Widiyanto A**, Kojima Y. Environmental impacts of power generation systems –numerical standardization using LCA concept–. Proceedings of the 6th Tri-University International Joint Seminar and Symposium, Zhenjiang, China, 26–29 Oktober 1999: 250–255.
118. Kato S, **Widiyanto A**. A Life Cycle Assessment scheme for environmental load estimation of power generation systems with NETS evaluation method. Proceedings of the 1999 International Joint Power Generation Conference (IJPGC-99), ASME, San Francisco, USA, 25–28 Juli 1999: Vol. I: 139–145.
119. Kato S, Maruyama N, **Widiyanto A**, Nikai Y, Takai H, Kojima Y. LCA evaluation in power generation systems with a proposal of NETS Eco-Loads (in Japanese). Proceedings of the 9th Symposium on Environmental Engineering 1999, Kawasaki, Japan, 30 Juni–2 Juli 1999: 368–371.
120. Kato S, Maruyama N, Kojima Y, Nikai Y, Takai H, **Widiyanto A**. Co-generation system concerning of environmental and economical estimation optimized by Eco-Load Standardization Scheme (ESS) (in Japanese). Proceedings of the 9th Symposium on Environmental Engineering 1999, Kawasaki, Japan, 30 Juni–2 Juli 1999: 364–367.
121. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, **Widiyanto A**, Kojima Y. A Proposal of ESS-NETS method and Its Application for Industrial Products (in Japanese). Proceedings of the 9th Symposium on Environmental Engineering 1999, Kawasaki, Japan, 30 Juni–2 Juli 1999: 360–363.
122. Kato S, Maruyama N, Nikai Y, Takai H, Kojima Y, **Widiyanto A**. LCA estimation scheme aiming at compromising compatibility between environmental load and economical cost for co-generation eco-operation. Proceedings of International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems (ECOS'99), Tokyo, Japan, 8–10 Juni 1999: 276–281.

Prosiding Nasional

123. Cakrasiwi ASP, Sutopo W, **Widiyanto A**. Evaluasi keberhasilan strategi bisnis komersialisasi teknologi tenant (Studi kasus: tenant BIT-BPPT). Prosiding Seminar Nasional Industrial Engineering Conference (IDEC) 2015, Surakarta, 9 September 2015: 218–224.
124. Erliza A, Sutopo W, **Widiyanto A**. Pengembangan model kebijakan promosi investasi pada Kawasan Teknopolitan. Prosiding Seminar Nasional Industrial Engineering Conference (IDEC) 2014, 20 Mei 2014: 260–267.
125. **Widiyanto A**, Kato S. A Life Cycle Assessment for electricity grid system in Indonesia. Proceeding Indonesian Scientific Meeting XI, 2002 (ISM-2002), Nagoya, Jepang, 21 Desember 2002: 40–49.
126. **Widiyanto A**, Kato S. Eco-management of automatic vending machines using LCA method. Proceeding Indonesian Scientific Meeting XI, 2002 (ISM-2002), Nagoya, Jepang, 21 Desember 2002: 32–39.
127. **Widiyanto A**, Takai H, Kato S. Development of LCA environmental evaluation software and its application for vending machine. Proceeding Indonesian Scientific Meeting IX, 2000 (ISM- 2000), Hamamatsu, Jepang, 2–3 September 2000: 225–228.
128. **Widiyanto A**. A proposal of eco-operation of co-generation system. Proceeding Indonesian Scientific Meeting IX, 2000 (ISM-2000), Hamamatsu, Jepang, 2–3 September 2000: 185–188.
129. **Widiyanto A**. A Life Cycle Assessment of Indonesian power generation systems. Prosiding Temu Ilmiah I Persatuan Pelajar Indonesia (PPI) Korda Jepang Tengah, Nagoya, Jepang, 30 Maret 2000: 72–76.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama lengkap	: Dr. Anugerah Widiyanto, B.Sc., M.Eng.
Tempat, tgl lahir	: Jakarta, 18 April 1969
Anak ke-	: Pertama dari dua bersaudara
Jenis kelamin	: Laki-laki
Nama Ayah Kandung	: H. Samidjo, B.A. (alm.)
Nama Ibu Kandung	: Hj. Sri Suwarni
Nama Istri	: Dra. Erwina Widjajawati, MPSt.
Jumlah Anak	: 4 (empat) orang
Nama Anak	: 1. Ganesha Afnan Adipradana 2. Ghania Arian Maharani 3. Ghaisani Farzana Itqan 4. Ghaizali Akmal Yusuf
Nama Instansi	: Direktorat Kebijakan Pembangunan Manusia, Kependudukan, dan Kebudayaan
Judul Orasi	: Kontribusi Metode <i>Life Cycle Assessment</i> Biomassa untuk Agroindustri Berkelanjutan
Bidang Kepakaran	: Manajemen Teknologi
No. SK Pangkat Terakhir	: Keppres RI No. 61/K Tahun 2021
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Keppres RI No. 3/M Tahun 2022

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat	Tahun Lulus
1.	SD	SD Hangtuh 1	Tanjung Pinang	1981
2.	SMP	SMP Negeri 77	Jakarta	1984
3.	SMA	SMA Negeri 1	Jakarta	1987
4.	S-1	Mie University	Tsu, Jepang	1994
5.	S-2	Mie University	Tsu, Jepang	2001
6.	S-3	Mie University	Tsu, Jepang	2004

C. Pendidikan Non Formal

No.	Nama Pelatihan	Nama Kota/ Negara	Tahun
1.	Monbusho Research Training Program on Thermodynamics	Tsu, Jepang	1998
2.	Monbusho Research Training Program on Energy System Design	Tsu, Jepang	1998–1999
3.	Post-Doctoral research at Faculty of Bioresources, Mie University	Tsu, Jepang	2004–2006
4.	Post-Doctoral research at Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology	Toyohashi, Jepang	2006–2008
5.	Post-Doctoral at International Cooperation Center for Engineering Education Development (ICCEED), Toyohashi University of Technology	Toyohashi, Jepang	2008–2010
6.	Training Course on Design and Evaluation of Innovation Policy in Developing Countries	Jakarta	2011
7.	Pelatihan Auditor Teknologi	Jakarta	2011

D. Jabatan Struktural

No.	Nama Jabatan/Eselon	Nama Instansi	Tahun
1.	Pelaksana Tugas Kepala Bidang Kapasitas Absorpsi, Eselon 3	Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi BPPT	2012–2014
2.	Kepala Bidang Kapasitas Absorpsi, Eselon 3	Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi BPPT	2014
3.	Kepala Balai Inkubator Teknologi, Eselon 3	Deputi PKT BPPT	2014–2016
4.	Kepala Balai Inkubator Teknologi, Eselon 3	Pusat Teknopreneur dan Klaster Industri, Deputi PKT, BPPT	2016–2020
5.	Pelaksana Tugas Direktur Kebijakan Pembangunan Manusia, Kependudukan, dan Kebudayaan, Eselon 2	Deputi Kebijakan Pembangunan, BRIN	2022– sekarang

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Madya IV/c	01-04-2014
2.	Peneliti Ahli Madya IV/c	14-10-2020
3.	Peneliti Ahli Utama IV/e	01-03-2021

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan / Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Penanggung Jawab Kegiatan Program Penerapan dan Pelayanan Inkubasi Teknologi	Kepala BPPT	2016–2020
2	Kepala Program Penerapan dan Pelayanan Inkubasi Teknologi	Deputi Kepala Bidang PKT	2016–2020

No.	Jabatan / Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
3	Penanggung Jawab Kegiatan BIT untuk Program Inkubasi Bisnis Teknologi pada Technology Business Incubation Center (TBIC)	Kepala Puspiptek, Kemenristekdikti	2018–2020
4	Peneliti Utama Insentif Program Pengembangan Teknologi Industri: Peningkatan TKDN Teknologi Kincir Angin 1000 Watt	Dirjen Risbang, Kemenristekdikti	2019
5	<i>Principal Investigator: Feasibility Study on Social Implementation of Bioenergy in East Asia</i>	Japan Science and Technology Agency (JST)	2017–2019
6	Penanggung Jawab Kegiatan BIT untuk Pelaksanaan Program Inkubasi Bisnis Teknologi	Dirjen Penguatan Inovasi, Kemenristekdikti	2016–2017
7	Penanggung Jawab Kegiatan BIT untuk Program Inkubasi Bisnis Teknologi pada Technology Business Incubation Center (TBIC)	Kepala Puspiptek, Kemenristekdikti	2016
8	Penanggung Jawab Kegiatan Program National Science and Technology Park (NSTP) BPPT	Kepala BPPT	2015
9	Penanggung Jawab Kegiatan Program Pengkajian dan Penerapan Inkubasi Teknologi	Kepala BPPT	2014–2015
10	Kepala Program Pengkajian dan Penerapan Inkubasi Teknologi	Deputi Kepala Bidang PKT	2014–2015

No.	Jabatan / Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
11	Tim Fasilitasi Peningkatan Kapasitas Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi	Sesmen, Kemenristek	2013
12	Peneliti Utama Insentif PKPP: Pengembangan Klaster Industri Pariwisata dan Pangan di Kabupaten Gunung Kidul	Kemenristek	2012
13	Tim Teknis/Tenaga Ahli Kajian Faktor Emisi Bio-Ethanol Karakteristik Nasional, Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim	KESDM	2012
14	Tim Teknis/Tenaga Ahli Kajian Faktor Emisi Bio-diesel Karakteristik Nasional, Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim	KESDM	2011

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy and Process Systems (ECOS'99)	Pemakalah	Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan	1999
2	Eco-Micro Energy System Symposium and Preliminary Discussion of IJPGC 1999	Pemakalah	Hokkaido University, Sapporo, Japan	1999

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
3	The 9 th Symposium on Environmental Engineering 1999, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kawasaki, Jepang	1999
4	The 1999 International Joint Power Generation Conference (IJPGC-99), American Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	San Fransico, USA	1999
5.	The Japan Society for Precision Engineering (JSPE), Chapter Tokai, Hamamatsu Meeting 1999	Pemakalah	Hamamatsu, Japan	1999
6.	The 6 th Tri-University International Joint Seminar and Symposium	Pemakalah	Jiangsu University, Zhenjian, China	1999
7.	Eco-Design Japan Symposium 1999	Pemakalah	Eco-Design Association, Tokyo, Japan	1999
8.	The Indonesian Scientific Meeting of Chubu 2000	Pemakalah	Nagoya, Japan	2000
9.	The 37 th National Heat Transfer Symposium of Japan (HTSJ) 2000	Pemakalah	Kobe, Japan	2000
10	The 10 th Symposium on Environmental Engineering 2000, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kawasaki, Japan	2000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
11	The 2000 International Joint Power Generation Conference (IJPGC-2000), The American Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Miami Beach, USA	2000
12	The 9 th Scientific Meeting of Indonesian Students Association 2000	Pemakalah	PPI Jepang, Hamamatsu, Japan	2000
13	The 7 th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2000	Pemakalah	Mie University, Tsu, Japan	2000
14	The Heat Transfer Society of Japan, Chapter Tokai, FY 2000 Winter Meeting	Pemakalah	Nagoya, Japan	2000
15	The 38 th National Heat Transfer Symposium of Japan 2001	Pemakalah	Omiya, Japan	2001
16	The 2001 International Joint Power Generation Conference & Exposition (IJPGC2001), The American Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	New Orleans, USA	2001
17	The 46 th American Society of Mechanical Engineers (ASME) International Gas Turbine & Aero Engine Technical Congress 2001	Peserta	New Orleans, USA	2001

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
18	The 11 th Symposium on Environmental Engineering 2001, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kawasaki, Japan	2001
19	The 10 th Annual Meeting of Japan Institute of Energy 2001	Pemakalah	Kita Kyushu, Japan	2001
20	The 34 th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2001	Pemakalah	Sapporo, Japan	2001
21	The International Conference on Power Engineering 2001 (ICOPE-2001)	Pemakalah	Xian, China	2001
22	The 8 th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2001	Pemakalah	Chiang Mai University, Thailand	2001
23	Thermal Engineering Conference '01, The Japan Society of Mechanical Engineers/ JSME	Pemakalah	Okayama, Japan	2001
24	Eco-Design 2001: 2 nd International Symposium on Environmentally Conscious Design & Inverse Manufacturing	Pemakalah	IEEE, Tokyo, Japan	2001

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
25	The 3 rd International Symposium on Advanced Energy Conversion Systems and Related Technologies (RAN2001)	Pemakalah	Nagoya University, Nagoya, Japan	2001
26	The 4 th International World Energy System Conference	Pemakalah	Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan	2002
27	The 5 th International Symposium on CO ₂ Fixation and Efficient Utilization of Energy (C&E2002)	Pemakalah	Tokyo Institute of Technology, Japan	2002
28	The 38 th Tokai Fluid and Heat Engineering Research Symposium 2002, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Nagoya, Japan	2002
29	The 2002 International Joint Power Generation Conference & Exposition (IJPGC2002), The American Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Phoenix, USA	2002
30	The 12 th Symposium on Environmental Engineering 2002, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kawasaki, Japan	2002

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
31	The 9 th Tri University International Joint Seminar and Symposium 2002	Pemakalah	Jiangsu University, Zhenjian, China	2002
32	The Eco-Balance 2002, The Institute of Life Cycle Assessment	Pemakalah	Tsukuba, Japan	2002
33	The 11 th Indonesian Scientific Meeting 2002	Pemakalah	Nagoya, Japan	2002
34	The Regional Conference on Energy Technology towards a Clean Environment (RCETCE)	Pemakalah	Phuket, Thailand	2003
35	The 40 th National Heat Transfer Symposium of Japan 2003	Pemakalah	Hiroshima, Japan	2003
36	The 13 th Symposium on Environmental Engineering 2003, The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kawasaki, Japan	2003
37	International Conference on Efficiency, Costs, Optimization and Environmental Aspects of Energy & Process Systems (ECOS 2003)	Pemakalah	Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark	2003
38	The 12 th Annual Meeting of Japan Institute of Energy 2003	Pemakalah	Sapporo, Japan	2003

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
39	The 1 st International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2003), The American Institute of Aeronautics and Astronautics	Pemakalah	Portsmouth, USA	2003
40	InLCA/LCM 2003: An International Conference on Supporting Environmental Decision-Making with Life Cycle Assessment	Pemakalah	Seattle, USA	2003
41	The 10 th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2003	Pemakalah	Mie University, Tsu, Japan	2003
42	The International Conference on Power Engineering-03 (ICOPE-03), The Japan Society of Mechanical Engineers	Pemakalah	Kobe, Japan	2003
43	Eco-Design 2003: The 3 rd Int'l Symposium on Environmentally Conscious Design & Inverse Manufacturing	Pemakalah	Tokyo, Japan	2003
44	Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Europe 14 th Annual Meeting	Pemakalah	Prague, Czech Republic	2004

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
45	The 41 st National Heat Transfer Symposium of Japan 2004	Pemakalah	Toyama, Japan	2004
46	The 2 nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 2004), The American Institute of Aeronautics and Astronautics	Pemakalah	Providence, USA	2004
47	The 42 nd National Heat Transfer Symposium of Japan 2005	Pemakalah	Sendai, Japan	2005
48	International Symposium on Eco-Topia Science 2005 (ISETS 2005)	Pemakalah	Nagoya University, Japan	2005
49	The 7 th Nature Restoration and Conservation Symposium (NAREC) 2006,	Pemakalah	Tokyo University of Agriculture, Japan	2006
50	Joint Symposium “Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization”	Pemakalah	ITB, Bandung	2007
51	The 41 st Japan Society on Water Environment Annual Conference 2007	Pemakalah	Osaka University, Japan	2007
52	The 16 th Annual Meeting of Japan Institute of Energy 2007	Pemakalah	Fukuoka, Japan	2007

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
53	The 39 th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2007	Pemakalah	Sapporo, Japan	2007
54	The 8 th Nature Restoration and Conservation Symposium 2007	Pemakalah	Tokyo University of Agriculture, Japan	2007
55	The 3 rd The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Annual Meeting 2008	Pemakalah	Nagoya, Japan	2008
56	The 73 rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008	Pemakalah	Hamamatsu, Japan	2008
57	The 73 rd Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2008	Invited Lecturer	Hamamatsu, Japan	2008
58	The 42 nd Japan Society on Water Environment Annual Conference 2008	Pemakalah	Nagoya University, Japan	2008
59	Society of Environmental Science, Japan, Annual Meeting 2008	Pemakalah	Tokyo, Japan	2008
60	The 15 th Asian Symposium on Ecotechnology 2008	Pemakalah	Kanazawa University, Japan	2008

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
61	The 7 th International Cooperation Center for Engineering Education Development Open Forum	Peserta	Tokyo, Japan	2008
62	The 8 th International Conference on Eco-Balance 2008, The Institute of Life Cycle Assessment	Pemakalah	Tokyo, Japan	2008
63	The 4 th The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Annual Meeting 2009	Pemakalah	Kita Kyushu, Japan	2009
64	The Indonesian Scientific Meeting of Chubu 2009	Moderator	Toyohashi, Japan	2009
65	The 8 th International Cooperation Center for Engineering Education Development Open Forum	Pemakalah	Tokyo, Japan	2009
66	The 5 th The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, Annual Meeting 2010	Pemakalah	Yokohama, Japan	2010
67	The 7 th Biomass Asia Workshop 2010	Pemakalah	BPPT, Jakarta	2010
68	Symposium on “Research and Development (R&D) and Open Innovation in the Era of Globalization”	Peserta	The Nikkei, Tokyo, Japan	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
69	Seminar International ASEAN/Japan e-ASIA Workshop (e-ASIA JRP) “Feasiblity Study on Social Implementation of Bioenergy in East Asia 2017”	Pemakalah	Phatum Thani, Thailand	2017
70	International Conference on Sustainable Management and Innovation (ICoSMI) 2020	Pemakalah	IPB, Bogor	2020
71	The 2 nd Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) 2021	Pembicara Panel	UNS, Surakarta	2021

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah/ Prosiding

No.	Jabatan	Majalah/Prosiding	Tahun
1.	Editor	Jurnal Ilmiah Teknik Industri Performa	2014–2018
2.	Editor	Proceedings the Joint 3 rd International Conference in Electrical Vehicular Technology (ICEVT)	2015
3.	Editor	Proceedings of the International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (IMECE)	2015

4	Editor	Proceedings of the 2016 Annual Conference on Industrial and System Engineering (ACISE 2016)	2016
5	Editor	Proceedings of the 2016 2 nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE 2016)	2016
6.	Penelaah	Indonesian Scientific Meeting of Chubu, Japan	2009

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	11
2.	Penulis bersama Penulis lainnya	118
	Total	129
No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	7
2.	Bahasa Inggris	84
3.	Bahasa Jepang	38
	Total	129
No.	Kualifikasi Publikasi	Jumlah
1.	Buku dan Bagian dari Buku	9
2.	Jurnal Internasional	22
3.	Jurnal Nasional	2
4.	Prosiding Internasional	89
5.	Prosiding Nasional	7
	Total	129

J. Pembinaan Kader Ilmiah

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Nama yang Dibimbing	Tahun
1.	Program Sarjana S-3 Toyohashi University of Technology, Jepang (Pembimbing)	Hirotsugu Kamahara	2007–2010
2.	Program Sarjana S-2 Toyohashi University of Technology, Jepang (Pembimbing)	Hirotsugu Kamahara	2006–2007
3.	Program Sarjana S-3 IPB Bogor (Penguji)	Tarwa	2015
4.	Program Sarjana S-1 Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta (Pembimbing)	Ayu Erliza	2014
5.	Program Sarjana S-1 Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta (Pembimbing)	Ajeng Sista Palupi Cakrasiwi	2015

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Nama Organisasi	Jabatan	Tahun
1	The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME)	Anggota	1998–2004
2	The Society of Chemical Engineers, Japan (SCEJ)	Anggota	2006–2008
3	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	Anggota	2020–2021
4.	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	Anggota	2021– Sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Pejabat/Instansi yang memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	Tahun
1	Presiden RI	Satyalancana Wirakarya	2013
2	Presiden RI	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	2019
3	Presiden RI	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	2009
4	Presiden RI	Satyalancana Karya Satya X Tahun	1999



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.698



ISBN 978-623-8052-06-6



Buku ini tidak diperjualbelikan.