

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 10, No. 1, April 2022



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



DAFTAR ISI

Technical Paper

1

Limbah Padat Kelapa Sawit sebagai Alternatif Energi Pembangkit Listrik di Barat Selatan Aceh
Palm Oil Solid Waste as an Alternative Energy Source of Electricity generation in The Southwest of Aceh
Agustiar, Tajuddin Bantacut, Muhammad Romli, Bambang Pramudya

11

Pengaruh Proses Torefaksi terhadap Kualitas Serbuk Kayu
The Torrefaction Effect on The Sawdust Quality
Ismail, Erlanda Augupta Pane, I Gede Eka Lesmana, Rovida Camalia Hartantrie, Deni Rifki.

21

Penerapan Metode Ekstraksi Microwave Untuk Meningkatkan Rendemen dan Mutu Oleoresin Lada Putih (*Piper nigrum L*)
*Application of Microwave-Assisted Extraction Method to Improve Yield and Quality of White Pepper (*Piper Nigrum L*) Oleoresin.*
Annisa Purnamasari Damanik, Edy Hartulistiyoso*, Rokhani Hasbullah.

29

Pengaruh Waktu Pemanasan, Jenis dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Karakteristik Edible Film K-karagenan
The Effect of Heating Time, Type and Plasticizer Concentration on Characteristics of Edible Film K-carrageenan
Desi Juliani*, Nugraha Edhi Suyatma, Fahim Muchammad Taqi.

41

Pemanfaatan Water Power Generator di Saluran Irigasi Tersier untuk Penanganan Hama Padi
Utilization of Water Power Generator in The Tertiary Irrigation Canal for Paddy's Pest Handling
Lilis Dwi Saputri, Elsa Wulandari, Febri Nur Azra, Afik Hardanto*.

49

Sistem Monitoring dan Kontrol Iklim Mikro pada Plant Factory Berbasis Internet of Things
Microclimate Monitoring and Control System in a Plant Factory Using the Internet of Things
Ardiansyah*, Ikhsan Nur Rahmaan, Eni Sumarni, Afik Hardanto.

59

Portable/Handheld NIR sebagai Teknologi Evaluasi Mutu Bahan Pertanian secara Non-Destruktif
Portable/Handheld NIR as a Non-Destructive Technology for Quality Evaluation of Agricultural Materials
Widyaningrum*, Y Aris Purwanto, Slamet Widodo, Supijatno, Evi Savitri Iriani.

69

Detection of Chilling Injury Symptoms of Salak Pondoh Fruit during Cold Storage with Near Infrared Spectroscopy (NIRS)
Sutrisno Suro Mardjan* and Jery Indriantoro.

77

Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Bedadung Kabupaten Jember Menggunakan Program Qual2Kw
Determination of Total Pollution Load Capacity at the Bedadung River, Jember Regency Using Qual2Kw Program
Elida Novita, Rodzika Diah Mauvi, Hendra Andianata Pradana*.

85

Analisis Orifice pada Reaktor Biodiesel Sistem Kavitasi Hidrodinamik dengan Computational Fluid Dynamics
Orifice Analysis in Biodiesel Reactor with Hydrodynamic Cavitation System using Computational Fluid Dynamics
Yayan Heryana*, Dyah Wulandani, Supriyanto.

Penerbit:

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor d/a Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com. Website: <http://web.ipb.ac.id/~jtep>.



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irelandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
I Dewa Made Subrata (Scopus ID: 55977057500, IPB University)
Administrasi : Khania Tria Tifani (IPB University)

Penerbit: Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor bekerjasama dengan Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA).

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@apps.ipb.ac.id
Website: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah naskah pada penerbitan Vol. 10, No. 1 April 2022. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Eng. Obie Farobie, S.Si, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Lilis Sucahyo, S.TP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr.Agr.Sc., Diding Suhandy, S.TP., M.Agr (Universitas Negeri Lampung), Yusuf Hendrawan, STP, M.App.Life Sc., PhD (Universitas Brawijaya), Dr.Ir. I Ketut Budaraga, M.Si (Universitas Ekasakti), Ir. Sri Endah Agustina, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Asri Widyasanti, S.TP., M.Eng (Universitas Padjadjaran), Dr.Ir. Christina Winarti, MA (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M. Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr. Supriyanto, S.TP, M.Kom (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Bayu Dwi Apri Nugroho, S.T.P., M.Agr., Ph.D (Universitas Gadjah Mada), Ansita Gupitakingkin Pradipta, ST, M.Eng (Universitas Gadjah Mada), Dr. Andasuryani, S.TP, M.Si (Universitas Andalas), Dr.Ir. Lady Lengkey, M.Si (Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M. Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Prof.Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University).

Technical Paper

Limbah Padat Kelapa Sawit sebagai Alternatif Energi Pembangkit Listrik di Barat Selatan Aceh

Palm Oil Solid Waste an Alternatif as an Energy Source of Electricity generation in The Southwest of Aceh

Agustiar*, Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB University, Indonesia
email: agustiar@gmail.com

Tajuddin Bantacut, Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University, Indonesia

Muhammad Romli, Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University, Indonesia

Bambang Pramudya, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University, Indonesia

Abstract

The source of electrical energy from palm oil waste has been successfully developed as a renewable energy substitute for fossil energy. The potential waste is quite good and has the potential to reduce the amount of biodiesel in the oil palm processing process, energy availability, and available palm oil waste. Palm oil solid waste has the capacity, quantity of substitute for diesel energy (petroleum) in the processing process at the palm oil mill. This study aims to determine the availability of electrical energy from oil palm waste biomass. The potential of solid waste electrical energy in the Aceh Jaya, West Aceh and Nagan Raya regions shows a surplus of energy respectively 32,479.139 GW, 559,506.094 GW and 4,470,241.985 GW. The needs of PKS in each company are 0.75%, 67% and 85.19%. This potential can absorb the need for electrical energy in the Barsela region against the potential value of solid waste electrical energy generated for the region and the allotment of Aceh as a whole to supply electrical energy through North Sumatra. This is supported by the related management of oil palm waste in an integrated and well-organized manner, especially in the palm oil mill area in the Southwest of Aceh (Barsela), indicating that the potential for electrical energy to be produced is highly dependent on the capacity and time of production as well as biomass waste.

Keywords: *potential solid waste, electricity energy, palm waste biomass*

Abstrak

Sumber energi listrik berasal dari limbah kelapa sawit telah berhasil dikembangkan sebagai energi terbarukan pengganti energi fosil. Potensi limbah kelapa sawit cukup berpotensi, dan dapat mengurangi penggunaan minyak solar pada proses pengolahan kelapa sawit di pabrik. Limbah padat kelapa sawit memiliki kapasitas, kuantitas pengganti energi solar (minyak bumi) dalam proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan mengetahui ketersediaan energi listrik biomassa limbah kelapa sawit. Potensi energi listrik limbah padat di wilayah Aceh Jaya, Aceh Barat dan Nagan Raya menunjukkan surplus energi berturut turut 32,479.139 GW, 559,506.094 GW dan 4,470,241.985 GW. Untuk kebutuhan listrik di PKS, potensi limbah padat yang dihasilkan untuk wilayah Aceh Jaya sebesar 0.75%, Aceh Barat 67%, dan Nagan Raya 85.19%. Potensi ini dapat menyerap kebutuhan energi listrik di wilayah Barsela pada perusahaan yang memiliki pabrik kelapa sawit. Hal ini didukung adanya terkait pengelolaan limbah sawit secara terpadu dan terorganisasi secara baik terutama di kawasan pabrik sawit di Barat Selatan Aceh (Barsela), menunjukkan bahwa potensi energi listrik yang akan dihasilkan sangat bergantung pada kapasitas dan waktu produksi serta limbah biomasa.

Kata kunci : potensi limbah padat, energi listrik, limbah kelapa sawit

Diterima: 4 Juni 2021; Disetujui: 21 Januari 2022.

Latar Belakang

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) di pabrik kelapa sawit menghasilkan minyak sawit CPO (*Crude Palm Oil*), limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat, cangkang dan limbah cair POME (*Palm Oil Mill Effluent*) sebagian tidak dimanfaatkan, terjadi penumpukan limbah sawit, adanya proses teknologi, serta dapat meningkatkan rendemen minyak sawit (Sivasothy et al. 2005; Kelly-Yong et al. 2007). Limbah minyak sawit (*biomass*) yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit dapat digunakan untuk mendukung pembangunan industri berkelanjutan, salah satu energi alternatif dalam meningkatkan pemanfaatan limbah sehingga menjadi efisien yang bernilai ekonomis. Proses konversi energi tandan buah segar kelapa sawit pada proses menghasilkan minyak sawit (CPO) sangat membutuhkan energi, baik energi listrik, air dan materi proses lainnya. Untuk memproduksi minyak sawit, pabrik kelapa sawit memproduksi tandan buah segar kapasitas 30-60 ton/jam sangat membutuhkan energi listrik 14-25 kwh/jam, dikategorikan sesuai (Mahlia et al. 2001; Chavalparit et al. 2006; Yusoff 2006; Nasution et al. 2014).

Dalam kondisi sebenarnya (*existing*), proses pengolahan menghasilkan minyak sawit sangatlah membutuhkan energi sangat besar, dan kebutuhan air dalam memproses menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat tandan kosong kelapa sawit, serat, dan cangkang, dan limbah cair POME (Husain et al. 2002; Goh et al. 2009; Abdullah dan Sulaiman 2013). Pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas 30-60 ton/jam, beroperasi selama 20 jam/hari, 25 hari/bulan dan 300 hari/tahun dengan efisiensi pabrik 80% untuk memproses tandan buah segar menghasilkan minyak sawit, minyak inti sawit dan limbah (Aswin 2015). Proses menghasilkan tiga limbah padat sangat berpotensi sebagai energi alternatif, pengganti bahan bakar biodiesel bagi *steam* sebagai pembangkit tenaga listrik, produksi minyak sawit 10-30%, limbah padat 30-70%, limbah cair 60-79% (Shuit et al. 2009; Silvestre et al. 2014), serta komposisi limbah tandan kosong (20-23%), serat (12-15%) dan cangkang (5-7%) (Nasution et al. 2014).

Secara regional luas perkebunan kelapa sawit di wilayah Barat Selatan Aceh sebesar 258,254 ha, dan produksi sebesar 2,232,799 ton. Perbandingan luas areal perkebunan Nagan Raya 74.54%, Aceh barat 8.95%, Aceh selatan 8.92% dan Aceh Jaya 7.59%, serta produksi yang dihasilkan Nagan Raya 65.03%, Aceh Barat 15.03%, Aceh Selatan 13.24% dan Aceh Jaya 6.69%. Perbandingan dari perbandingan area produksi dan luas perkebunan kelapa sawit di Barsela, lebih detail dapat dilihat pada Tabel 4.

Potensi sumber energi berasal dari limbah kelapa sawit akan terus dikaji dalam penelitian ini. Dimana,

banyak penelitian kompeten memasukkan kedalam potensi energi limbah padat, dan limbah cair (Gobi dan Vadivelu 2013). Secara umum, tanaman kelapa sawit menghasilkan 10% minyak, limbah samping 90%, TBS 21%, serat 14-15%, cangkang 6-7%, dan TKKS 23% (Fauzianto 2014). Selanjutnya (Ahmad dan Tahar 2014; Kramanandita et al. 2014), produksi TBS memberikan energi potensial untuk limbah cair 1,250 kWh, serat 10,000 kWh, cangkang 1,350 kWh dan TKKS 10,100 kWh. Untuk proses 45-ton perjam, menghasilkan 11.8% cangkang, 10.62% serat, dan 43.42% limbah cair serta hilang selama proses di pabrik kelapa sawit sebesar 34.34% selama 24 jam, dan 20.94% hilang di proses boiler (Mahlia et al. 2001; Kamahara et al. 2010; Ahmad dan Tahar 2014). Penelitian ini bertujuan untuk pemanfaatan kegunaan limbah padat kelapa sawit untuk potensi energi bagi pengolahan pabrik kelapa sawit pengganti bahan bakar *steam*.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Barat Selatan Aceh (Barsela) pada bulan Juli sampai Desember 2019. Secara geografis Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat, Nagan Raya dan Aceh Barat Daya berada pada suatu kawasan atau wilayah berdekatan secara terintegrasi oleh pegunungan perkebunan kelapa sawit serta jalan nasional yang saling berhubungan satu sama lainnya. Pertumbuhan kebun kelapa sawit berada pada subtropik pada lintang 12° N and 120° S, temperature optimum 24°– 38°C, rata-rata penyinaran 5-7 jam per hari, curah hujan 2,500 – 3,000 mm per tahun dan kelembaban rata-rata 80% - 90%.

Secara geografis memiliki temperatur dan curah hujan merata disetiap wilayah. Adapun letak geografis, luas dan batas-batas wilayah daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Luas keseluruhan sebesar 1,208,100 ha atau 12.081 km², wilayah potensial bagi pengembangan komoditas kelapa sawit di provinsi aceh termasuk dalam kelompok tipe iklim Oldeman, terdiri dari bulan basah jenis tipe A dan B. Pada tipe A; bulan basah dengan curah hujan berkisar lebih dari 200 mm/bulan, berkisar lebih besar 9 bulan/tahun. Pada tipe bulan B; bulan basah lebih dari 200 mm/bulan, curah hujan tinggi berkisar antara 7-9 bulan terhadap pertumbuhan perkebunan kelapa sawit di Barat Selatan Aceh. Industri perkelapasawitan di (Barsela) sangat didukung oleh curah hujan dan bulan basah yang tinggi serta menjadikan perkebunan kelapa sawit yang mendukung industri di wilayah Barsela. Wilayah perkebunan kelapa sawit di barsela terbagi atas empat wilayah, diantaranya di Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat, dan Nagan Raya serta perkebunan yang memiliki industri pengolahan

kelapa sawit, atau wilayah lain yang tidak memiliki pabrik pengolahan, Kabupaten Abdy.

Pengumpulan data dilakukan langsung di lapangan terhadap 10 pabrik PKS berkepasitas 30-ton/jam, dan 2 pabrik berkepasitas 60-ton/jam dengan tehnik wawancara, kuestioner dan petani sampel di wilayah penelitian secara survei mendalam (*case study*) pada perusahaan yang memiliki pabrik-pabrik di wilayah Barsela. Adapaun responden penelitian berjumlah 139 orang, terdiri atas: 39 perusahaan perkebunan, petani pekebun 88 orang, 12 industri PKS serta kantor dinas yang berhubungan dengan riset penelitian pada setiap kabupaten. Penelitian diawali dengan identifikasi input (energi, bahan baku, bahan jadi dan bahan pendukung), proses pengolahan, dan output (limbah, emisi, dan produk samping atau waste). Masalah yang diteliti adalah: 1) Kegiatan perkebunan (*on farm*) dengan produk akhir menghasilkan (CPO), 2) Potensi limbah yang dihasilkan terhadap proses di pabrik kelapa sawit, 3) Analisa potensi limbah kelapa sawit terhadap potensi energi yang dihasilkan (kwh), 4) Potensi limbah alternatif bagi proses pengolahan pabrik kelapa sawit (Faisal *et al.* 2010; Singh *et al.* 2011; Sommart dan Pipatmanomai 2011).

Metodologi

Data produksi pabrik kelapa sawit diperoleh dan dianalisis untuk mengetahui potensi limbah padat kelapa sawit menjadi limbah sumber energi alternatif, dan potensi energi yang dihasilkan menggunakan limbah sawit alternatif sebagai bahan bakar sumber energi di pabrik kelapa sawit di wilayah Kabupaten Barat Selatan Aceh.

a. Analisis Jumlah Limbah Padat dihasilkan di Wilayah Barat Selatan Aceh

Perusahaan kelapa sawit kapasitas produksi 30-ton perjam, dengan faktor konversi produksi (C%) sekitar 80%, 20 jam setiap hari. Jumlah sampah/limbah (F_{tw}) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{tw} = F_{ffb} \times C\% \times T_{prod} \quad (1)$$

Limbah pabrik kelapa sawit terdiri dari EFB (W_{efb}) 20% ww^{-1} ; Serat (W_{fiber}) 13% ww^{-1} ; dan cangkang (W_{shell}) 7% ww^{-1} . Untuk menghitung jumlah setiap sampah dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{efb} = F_{tw} \times W_{efb} \quad (2)$$

$$F_{fibre} = F_{tw} \times W_{fibre} \quad (3)$$

$$F_{shell} = F_{tw} \times W_{shell} \quad (4)$$

b. Analisis Jumlah Limbah Serat dan Cangkang di Barat Selatan Aceh.

Kapasitas produksi 60 ton FFB perjam dapat di kalkulasi menjadi konversi energi potensial, bagi

Tabel 1. Letak Geografis, Luas dan Batas-batas Wilayah Penelitian.

Kabupaten	Letak Geografis	Luas
Aceh Jaya	04°22" – 05°16" LU 95°02" – 96°03" BT	3,727 km 372,700 Ha
Aceh Barat	04°61" – 04°47" LU 95°00" – 86°30" BT	2,928 Km 292,800 Ha
Nagan Raya	03°40" – 04°38" LU 97°11" – 96°48" BT	3,544 Km 354,400 Ha
Aceh Barat Daya	03°34" – 04°05" LU 96°34" – 97°09" BT	1,882 Km 188,200 Ha

Sumber: data 2019

fiber dan cangkang (Kramanandita *et al.* 2014). Bahan bakarnya hanya terdiri dari cangkang 6% dan serat 14% dengan kerapatan rata-rata 1,02 kg/m. Analisis nilai kalor serat dan cangkang terhadap nilai kalor rendah (*gross calorific value*) dapat dikalkulasi dengan persamaan (Purwanto 2011; Aziz dan Kurniawan 2016).

$$H_u = 2.321[14093C + 61,095(H - O/8)] \quad (5)$$

H_u = nilai kalor (kJ/kg); C = carbon (%) bahan yang diuji; H = hidrogen (%) bahan yang diuji; dan O = oksigen (%) bahan diuji.

Bahan bakar sebenarnya terdiri dari serat 70% dan cangkang 30% sehingga nilai kalor yang lebih rendah per kg campuran bahan bakar dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$LHV_{fs} = 0.7 LHV_f + 0.3 LHV_s \quad (6)$$

LHV_{fs} = *lower heating value* (serat, cangkang) (kJ/kg); LHV_f = *lower heating value* serat (kJ/kg); LHV_s = *lower heating value* cangkang (kJ/kg); Konversi energi potensial yang dihasilkan dari serat dan cangkang for that particular palm oil mill dapat dikalkulasi dengan persamaan:

$$E_p = M_f LHV_f + M_s LHV_s \quad (7)$$

E_p = energi potensial konversi serat dan cangkang (kW); M_f = produksi serat per jam (kg/jam); M_s = produksi cangkang per jam (kg/jam); LHV_f = *lower heating value* serat (kJ/kg); LHV_s = *lower heating value* cangkang (kJ/kg).

c. Analisis Kebutuhan energi Listrik di Pabrik Kelapa Sawit.

Kebutuhan energi listrik dalam proses pengolahan 1 ton tandan buah segar diperlukan sebesar 15-17 kWh (Chavalparit *et al.* 2006; Yusoff 2006; Subramaniam *et al.* 2010; Loh 2016), dan 20-25 kWh (Mahlia *et al.*, 2001). Kebutuhan energi listrik untuk 30, 60 ton FFB per ton (E_c), steam

dibutuhkan untuk menghasilkan listrik (m_c), steam dibutuhkan untuk memproses TBS (m_p), dan steam potential yang didapat (m_o) steam dibutuhkan untuk menghasilkan listrik (m_c), dapat dikalkulasikan pada persamaan berikut:

$$E_c = \sum TBS \text{ (ton)} \times E_1 \text{ (kWh)} \quad (8)$$

E_c = kebutuhan listrik untuk proses TBS (kWh); E_1 = energi listrik 1 ton TBS (kWh); Energi tersedia untuk meningkatkan steam, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E_r = \eta b \times E_p \quad (9)$$

ηb = efisiensi boiler (%); E_p = konversi energi potensial dari serat dan cangkang (kJkg^{-1}); M_c = steam dibutuhkan untuk menghasilkan listrik (kg^{-1}); M_p = steam dibutuhkan untuk memproses TBS FFB (kg^{-1}); M_o = steam potential yang didapat (kg^{-1})

Hasil dan Pembahasan

Sumber daya energi listrik merupakan penggerak dunia industri menuju pengembangan bioenergi biomassa untuk suatu negara atau wilayah tertentu dalam memperoleh tenaga listrik. Pemanfaatan faktor-faktor tertentu seperti ekonomi, sosial, dan lingkungan sangat penting untuk pelaksanaan sumber daya terbarukan untuk dimanfaatkan. Hal ini menjadi prioritas utama untuk kebutuhan energi listrik di Barsela yang umumnya masih menggunakan mesin diesel (biodiesel) sebagai penggerak listrik di seluruh pantai Barat Daya Aceh. Pabrik sawit hanya mampu mengolah TBS dalam waktu 20 jam/hari, 25 hari kerja per bulan, dan 300 hari per tahun, untuk efisiensi mesin pabrik sawit hanya 75-80% (Alsubari *et al.* 2013; Nasution *et al.* 2014; Kyriakopoulos dan Arabatzis 2016) (Kramanandita *et al.* 2014). Jumlah energi listrik yang dibutuhkan PKS untuk memproduksi TBS dengan kapasitas 30, 60 ton per jam sangat besar baik untuk sehari, satu bulan, dan 1 tahun (Table 5, dan Tabel 6). Jumlah energi listrik yang diperlukan untuk memproses minyak sawit (CPO) sebesar 15-17 kWh (Chavalparit *et al.* 2006; Yusoff 2006; Vijaya *et al.* 2008; Sommart dan Pipatmanomai 2011; Huenteler *et al.* 2016).

Produksi TBS dihasilkan wilayah Nagan Raya sangatlah besar, yaitu 1,452,047 ton per ha, terhadap luas areal 192,931 ha, Aceh Barat 23,161 ha, produksi sebesar 335,680 ton per ha, Aceh Barat Daya 23,089 ha, produksi 295,557 ton per ha, dan Aceh Jaya 19,643 ha, produksi sebesar 149,515 ton per ha (Tabel 4). Pabrik kelapa sawit di wilayah Barat Selatan Aceh terdapat 16 PKS; 11 PKS berkapasitas 30 ton per jam (68.75%), 4 PKS kapasitas sedang (<30 ton) (25%) dan 1

PKS berkapasitas 60 ton per jam (6.25%). Proses pengolahan kelapa sawit 30-ton dan 60 ton per jam memberikan jumlah produksi limbah yang dihasilkan yang berbeda terhadap TKKS, serat, cangkang dan limbah cair POME. Umumnya, limbah cair POME dapat digunakan untuk pupuk, dan makanan ternak. Energi potensial limbah TKKS, serat, dan cangkang dapat menjadi sumber energi (energi potensial) untuk sumber energi listrik di pabrik kelapa sawit.

Pabrik kelapa sawit tersebar di Nagan Raya, Aceh Barat, dan Aceh Jaya. Pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 60 ton per jam hanya tersedia di PT. SPS 2/ASTRA, Kabupaten Nagan Raya dimana persentase kapasitas pengolahan terbesar adalah 30 ton TBS per jam (69%). Pabrik pengolahan kelapa sawit di wilayah ini menggunakan sebagian limbah sebagai bahan bakar industri pabrik kelapa sawit; tandan kosong, serat, dan cangkang. Tetapi, ada pabrik PKS sebagian kecil menggunakan limbah sebagai energi pembakaran (Kamahara *et al.* 2010; Singh *et al.* 2010; Sulaiman *et al.* 2011; Salomón *et al.* 2013), dan sisa limbah digunakan sebagai kompos diperkebunan kelapa sawit, diantaranya TKKS dan serat. Limbah cair POME yang dihasilkan proses pengolahan PKS sebesar 50%, dimana limbah ini sangat mengganggu terhadap lingkungan sekitar pabrik dan tidak ramah lingkungan (Wu *et al.* 2010; Hosseini dan Wahid 2015; Pandia *et al.* 2020).

Potensi ini tidak hanya berdampak positif bagi pabrik pengolahan kelapa sawit sebagai penghasil utama limbah, tetapi juga memberikan potensi besar bagi penciptaan energi listrik di suatu daerah, khususnya di wilayah Barsela. Potensi ini dapat dikembangkan oleh suatu kawasan sebagai energi potensial limbah dengan membangun pembangkit listrik bersumber dari biomassa yang dapat memberikan energi aktual atau energi potensial, dan limbah kelapa sawit atau limbah energi terbarukan berasal dari POME (Subramaniam *et al.* 2010; Begum *et al.* 2013; M. Faisal dan Mahidin 2013; Nasution *et al.* 2014; Alkusma *et al.* 2016), tidak parsial dalam pengelolaan sampah (Alkusma *et al.* 2016), sedangkan limbah cair POME harus melalui proses aerobik karena mengandung biogas dan gas *methane* (CH_4) (Wu *et al.* 2010; Alkusma *et al.* 2016; Aja *et al.* 2017).

Perusahaan perkebunan baik yang memiliki perkebunan maupun pabrik biasanya memiliki banyak permintaan baik dari perkebunan rakyat, perkebunan swasta maupun perkebunan lain yang diakomodasi untuk mendapatkan kapasitas pengolahan yang sesuai dengan pabrik kelapa sawit. Daerah yang memiliki areal perkebunan dan pabrik termasuk Kabupaten Nagan Raya memiliki 9 PKS (69.23%), sedangkan Aceh Barat dan Aceh Jaya masing-masing memiliki 3 PKS (23.07%) dan 1 PKS (7.695%). Sedangkan wilayah yang hanya memiliki luas perkebunan di Aceh Jaya sebanyak 8 unit (30.77%), di Aceh Barat sebesar 23.08%

Table 2. Karakteristik perusahaan Perkebunan memiliki perkebunan dan pabrik di wilayah Barat Selatan Aceh (Barsela)

No.	Deskripsi	Aceh Jaya	Aceh barat	Nagan Raya	Abdya	Total 4 wilayah	
						Amount	Percentage (%)
1	Perkebunan dan Pabrik*)	1	3	9	0	13	0.95
2	Perkebunan	8	6	9	3	26	61.90
3	Pabrik	0	0	3	0	3	7.14
Total		9	9	21	3	42	100.00
						Perkebunan	39
						Perkebunan dan Pabrik	26
						Pabrik	16

Sumber : data diolah, 2019

*) Mill

dan di Nagan Raya sebanyak 9 unit (23.08%) (Tabel 2). Energi biomassa dihasilkan dari limbah padat dan cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari olahan tandan buah sawit yang menghasilkan minyak sawit, limbah padat, dan limbah cair (Shuit *et al.* 2009; Singh *et al.* 2010; Sulaiman *et al.* 2011). Pengolahan industri pabrik kelapa sawit dalam menghasilkan limbah cair, padat dapat memperhatikan serta mempertimbangkan berbagai aspek diantaranya; Aspek lingkungan, aspek sosial, dan aspek ekonomi, serta untuk mencegah kerusakan dan pencemaran, juga memperhatikan isu global lingkungan dan konservasi sumber daya alam (Goh *et al.* 2009; Ng *et al.* 2012; Alkuma *et al.* 2016).

Kegunaan Bahan Baku Biomas untuk Pembangkit Energi Listrik

Potensi energi yang dihasilkan limbah sawit memiliki energi berlebih (surplus), dan memberikan potensi luar biasa pengganti biodiesel/minyak bumi saat pengolahan TBS di pabrik PKS yang beroperasi di wilayah Barsela. Apabila penggunaan biodiesel dihentikan atau dilakukan proses campuran (*mixing and blending*) biodiesel dan biofuel, tidak menutup kemungkinan bahwa kawasan Barsela akan memberikan potensi energi berlebih dari limbah padat kelapa sawit. Limbah cangkang, serat, dan limbah TKKS kelapa sawit dapat memberikan energi yang besar seperti perhitungan perbandingan (rasio) 45 ton dan 30 ton per jam (Hassan *et al.* 2013; Kramandinata, Ridzky, Bantacut T, Romli M 2014; Nasution *et al.* 2014).

Limbah padat biomassa TKKS, serat, cangkang, dan POME dapat digunakan sebagai pengganti energi listrik, terutama pada industri sawit dalam untuk *steam* dan *boiler*. Setiap ton tandan buah sawit yang diproses di pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah padat menghasilkan energi dalam bentuk energi listrik yang dapat menggantikan penggunaan biodiesel di industri pengolahan kelapa sawit. Pabrik kelapa sawit membutuhkan energi yang sangat besar dalam mengolah minyak sawit (*Crude Palm*

Oil). Kebutuhan 1 (satu) ton tandan buah segar (TBS), diperkirakan membutuhkan listrik sekitar 15-17 kWh (Chavalparit *et al.* 2006; Yusoff 2006; Vijaya *et al.* 2008; Sommart dan Pipatmanomai 2011). Kebutuhan energi listrik pabrik kelapa sawit dalam mengolah TBS menjadi CPO diperkirakan 144 MW per tahun dari potensi energi yang dihasilkan sebesar 39 960 MW untuk pabrik pengolahan kelapa sawit di PT. Boswa Megapolis Kabupaten Aceh Jaya, di Aceh Jaya. Proses ini menghasilkan limbah padat yang dapat memberikan manfaat potensi energi listrik untuk kebutuhan pabrik dan listrik dari proses pengolahan kelapa sawit. Dimana, kemampuan PKS dalam mengolah tandan buah segar, diharapkan limbah padat dihasilkan dapat memberikan potensi energi listrik untuk PKS sendiri maupun listrik untuk masyarakat sekitar perkebunan.

Potensi energi listrik yang dihasilkan dari limbah kelapa sawit seperti TKKS, serat, dan cangkang berpotensi sebagai pengganti energi fosil yang digunakan perusahaanyang memiliki pengolahan pabrik kelapa sawit. Nilai kalor serta jumlah per ton TBS menghasilkan 13% serat, 7% cangkang, 20% TKKS terhadap nilai kalor limbah (Hashim *et al.* 2014; Nasution *et al.* 2014; Mohamed Halim *et al.* 2016; Rahayu *et al.* 2018). Pemanfaatan limbah kelapa sawit memberikan dampak positif terhadap ketersediaan listrik di suatu daerah, terutama di daerah sekitar pabrik. Ketersediaan ini akan memberikan peluang ketersediaan limbah bahan baku (biomassa) kelapa sawit untuk terciptanya energi berkelanjutan (*renewable energy*) di masa mendatang.

Potensi Energi Limbah Kelapa sawit di Barsela

Industri kelapa sawit di Barsela dibagi menjadi tiga wilayah: Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat, dan Nagan Raya. Pabrik kelapa sawit yang berlokasi di Aceh Jaya, Aceh Barat dan Nagan Raya memiliki kapasitas pengolahan yang berbeda untuk setiap pabrik kelapa sawit (12 pabrik kelapa sawit) dan proses pengolahan kelapa sawit (*boundary system*)

Table 3. Kapasitas pengolahan TBS PKS di wilayah Barat Selatan Aceh (Barsela).

No	Kapasitas (tones hr ⁻¹)	Palm Oil Mills (Unit)	Kapasitas olah (ton day ⁻¹)
1.	30	11	480
2.	60	1	960
Total		12	1 440

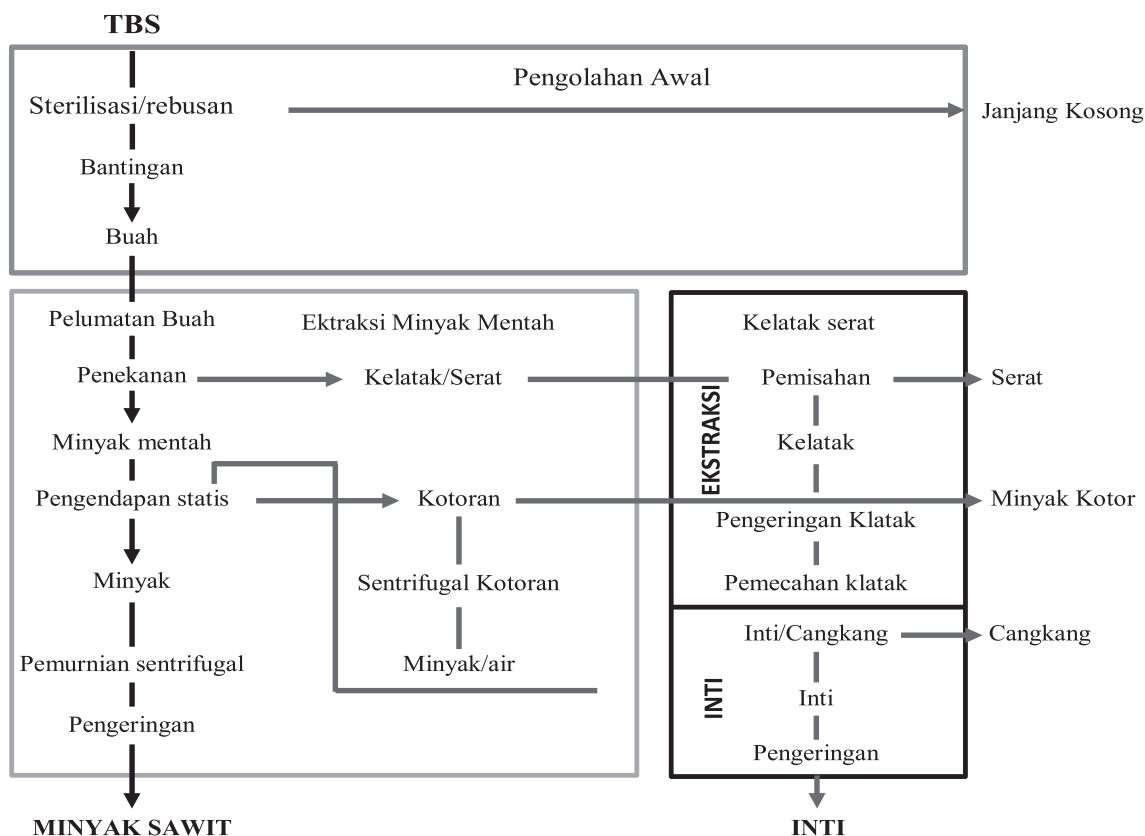
Sumber: data diolah, 2019

Gambar 1. Menurut (Singh et al. 2011; Embrandiri et al. 2013), pabrik kelapa sawit yang beroperasi di Barsela hanya bekerja selama 20 jam/hari, dengan efisiensi kerja mesin 80%, dan setiap bulan pabrik ini menjalankan proses pengolahan dalam 25 hari kerja (Aswin 2015). Kapasitas produksi TBS yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit di Barsela dibandingkan dengan jumlah pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada (Tabel 3). Pabrik pengolahan kelapa sawit di Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat dan Nagan Raya diharapkan mampu memberikan surplus energi listrik dari limbah yang dihasilkan. Energi sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia, seiring dengan pertambahan penduduk, energi fosil masih menjadi energi utama disamping energi lain seperti energi yang berasal dari limbah samping (Husain et al. 2003; Meher et al. 2006; Sulaiman et al. 2011).

Kapasitas olah produksi 30-ton /jam, dan 60-ton/ jam (Table 3). Hasil perhitungan nilai potensi energi

listrik yang dihasilkan oleh kapasitas olah 30-ton/ jam terhadap limbah seperti cangkang (14 400 kWh), serat (28 800 kWh), TKKS (107 728 kWh) dan POME (13 328 kWh). Kebutuhan listrik untuk mengolah 1 ton TBS di pabrik kelapa sawit rata-rata sebesar 16 kWh (Chavalparit, 2006; Vijaya et al., 2008), maka kebutuhan energi listrik pabrik kelapa sawit kapasitas olah 30-ton/jam sebesar 7,680 kwh (7.68 MW), sedangkan energi potensial listrik di hasilkan serat dan cangkang sebesar 136,528 MW, maka energi potensial listrik limbah cangkang dan serat memberikan surplus sebesar 128,848 MW. Limbah serat dan TKKS adalah energi potensial, sedangkan cangkang, serat dan TKKS adalah energi aktual (Nasution et al. 2014). Potensi limbah sawit yang dihasilkan dengan kapasitas 30-ton/ jam terhadap persentase tandan buah segar yang dihasilkan memberikan potensi listrik yang bervariasi.

Limbah yang dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar sebagai bahan bakar boiler diantaranya; TKKS, serat, cangkang, limbah cair (*palm oil mill effluent*)(Husain et al. 2002; Pleanjai et al. 2007). Untuk pengolahan 30-ton TBS/jam menghasilkan serat (12-15%), cangkang (5-7%) dan POME (20-23%) (Kramanandita et al. 2014; Nasution et al. 2014; Bantacut dan Novitasari 2016) dan proses konversi tandan buah segar akan menghasilkan 10-30% *crude palm oil* (CPO) dengan limbah padat sebesar 30-70% dan 60-70% limbah cair (Ohimain et al., 2014 ; Izah et al., 2016). Potensi energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh



Gambar 1. Boundary System Pengolahan Kelapa Sawit

Table 4. Karakteristik Luas areal dan produksi di PKS di wilayah Barsela.

No.	Wilayah (Region)*	Area (ha)	Production (ton ha ⁻¹)	Perbandingan	
				Area (%)	Production (%)
1	Aceh Jaya	19 643	149 515	8.92	6.69
2	Aceh Barat	23 161	335 680	8.95	15.03
3	Nagan Raya	192 931	1 452 047	74.54	65.03
4	Aceh Barat Daya	23 089	295 557	7.59	13.24
Total		258 824	2 232 779	100.00	100.00

Sumber: data diolah, 2019

Table 5. Potensi energi listrik yang dihasilkan limbah kapasitas 30 ton per jam di PKS di wilayah Barsela.

No.	Potensial limbah	% FFB	Potensial energi listrik (kwh)*	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kwh)/20 hours/day	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kWh)/month	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kWh)/year
1	EFB	22	6 733.33	107 733.28	2 693 332	32 319 984
2	Fiber	12	1 800	28 800	720 000	8 640 000
3	Shell	5.19	900	14 400	360 000	4 320 000
Jumlah		43	-	150 933.28	3 773 332	45 279 984

*) Kramandita, R 2014

Sumber: data diolah, 2019

pabrik pengolahan dalam memanfaatkan energi yang tersimpan pada tandan kosong, serat, dan cangkang kelapa sawit, sebagai pengganti biodiesel yang selama ini digunakan oleh pabrik yang dapat mencemari lingkungan dengan kadar CO₂ yang dihasilkan sebagai serta emisi NH₄ dan pencemaran lingkungan di sekitar pabrik. Produksi tandan buah segar kelapa sawit yang memiliki kandungan energi tinggi belum dimanfaatkan secara optimal atau terbuang percuma ke lingkungan dalam bentuk hasil samping, seperti cangkang, ijuk, tandan kosong kelapa sawit, yang memberikan potensi energi (nilai kalor) 17-21 MJ/kg, 4.6-5 MJ/kg dan 9.619 MJ/kg (Prasertsan dan Prasertsan 1996; Husain *et al.* 2003; Pleanjai *et al.* 2007).

Potensi Energi Listrik Biomassa di Aceh Jaya

Potensi energi listrik limbah kelapa sawit proses 30-ton/jam, memberikan potensi sangat besar bagi kebutuhan listrik di wilayah Aceh Jaya dan sekitarnya. Energi listrik biomas (*renewable energy*) dapat dikembangkan, diperkirakan tidak mengalami surplus terhadap pemakaian energi listrik yang dihasilkan oleh PLTD Aceh Jaya. Hal ini didukung adanya proses pengolahan kelapa sawit (PKS) di wilayah Aceh jaya pada perusahaan perkebunan PT Boswa Megapolis yang dapat memproses TBS 30 ton per jam selama 20 jam per hari, 25 hari selama sebulan dan 300 hari selama satu tahun (1 ton = 16 kWh) (Yusoff 2006). Perusahaan ini memerlukan energi listrik minyak bumi sebesar 246,462 MW per tahun untuk memproses 15,404-ton TBS, dan perusahaan sendiri 10,319 ton (66.99%) dan PT

Tunggal Perkasa Plantation sebesar 5,085 ton (33,01%) per tahun. Potensi energi listrik limbah padat yang dihasilkan sebesar 32,725,603,152 kWh (32,725.603 GW). Potensi listrik biomas padat yang dapat menggantikan energi listrik sebesar 0.75% atau 32,479,139,152 kWh setara 32,479.139 GW, terjadi surplus energi listrik biomas. Kebutuhan listrik proses pengolahan PKS hanya sebesar 66.99% dari surplus energi pensial. Untuk potensial energi alternatif proses 30-ton/jam yang dihasilkan PKS di Barsela dapat dilihat pada Tabel 5.

Potensi Energi Listrik Biomas di Aceh Barat

Produksi TBS di wilayah Aceh Barat yang dihasilkan 9 perusahaan perkebunan memberikan sepenuhnya terhadap perusahaan yang bergerak di proses pengolahan kelapa sawit. Ketiga perusahaan memiliki kapasitas olah pabrik sebesar 30 ton per jam. Produksi sawit yang dihasilkan oleh PB-PTPN-1 sebesar 790 ton (0.30%) per tahun, PT KTS sebesar 123,155 ton (46.41%) per tahun dan PT MR sebesar 53,628 ton (20.21%) per tahun, sedangkan 5 perusahaan hanya memiliki kebun yang memproduksi buah sawit sebesar 87,786 ton per tahun (33.08%), dan satu perusahaan belum memproduksi buah sawit. Dalam proses pengolahan tandan buah sawit, pabrik kelapa sawit memerlukan energi listrik sebesar 4,245.744 MW (1 ton = 16 kWh) (Yusoff 2006), hal ini sangat didukung adanya potensi limbah padat kelapa sawit surplus sebesar 559,506,094,930 kWh atau setara 559,506.094 GW. Kebutuhan listrik untuk proses pengolahan PKS sebesar 67% dari surplus energi yang dihasilkan.

Table 6. Potensi energi listrik yang dihasilkan limbah kapasitas 60 ton per jam di PKS di wilayah Barsela.

No.	Potensial limbah	% FFB	Potensial energi listrik (kwh)*)	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kwh)/20 hours/day	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kWh)/month	Potensi energi listrik yang dihasilkan (kWh)/year
1	EFB	24,5	13 467	215 472	5 386 800	64 641 600
2	Fiber	12.5	3 600	5 760	144 000	1 728 000
3	Shell	6	1 800	28 800	720 000	8 640 000
Jumlah		43	-	450 032	6 250 800	75 009 600

*) Kramandita, R 2014
 Sumber: data diolah, 2019

Untuk potensial energi alternatif proses 30-ton/jam yang dihasilkan PKS di Barsela dapat dilihat pada Tabel 5.

Potensi Energi Listrik Biomas di Nagan Raya

Produksi TBS di wilayah Nagan Raya terhadap produksi limbah yang dihasilkan dapat memberikan peluang besar bagi tersedia limbah. Limbah yang dihasilkan dari proses 60-ton perjam dihasilkan oleh perusahaan-perusahaan besar yang mendominasi PKS di wilayah tersebut. Produksi buah sawit dihasilkan oleh perusahaan PT FBG, PT. KA, PT SPSWRA, PT PPM, PT UND, PT SF1 dan PT RM. Jumlah produksi keseluruhan sebesar 2,120,118 ton, asumsi kebutuhan energi listrik untuk proses pengolahan TBS yang dilakukan oleh PKS perusahaan membutuhkan energi listrik sebesar 33,921,888,000 kWh (33,991.888 GW), hal ini sangatlah didukung adanya potensi limbah yang dihasilkan sebesar 4,504,163,873,278 kWh (4,504,163.873 GW). Untuk hal ini wilayah Nagan Raya dapat memberikan surplus energi listrik biomass sebesar 4,470,241.985 GW. Kebutuhan listrik untuk proses pengolahan PKS sebesar 85.19% dari surplus energi listrik biomas. Untuk potensial energi alternatif proses 60-ton/jam yang dihasilkan PKS di Barsela dapat dilihat pada Tabel 6.

Simpulan

Potensi limbah kelapa sawit memberikan peluang sangat baik dalam pengembangan potensi keenergilistrik, dan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses pengolahan pabrik kelapa sawit. Pengaruh lingkungan dapat berdampak pada masyarakat, perusahaan, dan pemerintah daerah, baik langsung maupun tidak langsung. Potensi limbah berperan sebagai dampak ganda dari pemanfaatan limbah biomassa sebagai energi terbarukan untuk ketersediaan energi listrik. Energi listrik yang berasal dari limbah kelapa sawit sangat diperlukan untuk kepentingan pembangunan kelistrikan di masa yang akan datang. Oleh karena itu, berbagai kemungkinan dapat dilakukan untuk kelebihan

bahan atau bahan baku pembangkit listrik. Wilayah Barsela saat ini dalam kondisi krisis energi akibat jarak transmisi listrik di Sumbagut. Pembangunan pembangkit listrik di wilayah ini menjadi salah satu tolak ukur keberhasilan wilayah Barsela dalam memanfaatkan limbah biomassa kelapa sawit menjadi listrik yang bermanfaat bagi perusahaan, masyarakat, dan juga pemerintah selaku pemegang hak kewenangan daerah pembangkit tenaga listrik, serta pembangunan pembangkit tenaga listrik yang bersumber dari bahan baku limbah kelapa sawit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan kelapa sawit di wilayah Barat Selatan Aceh (Barsela), Pemerintah Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat, Nagan Raya dan Abdy serta LPDP sebagai sponsor beasiswa yang diberikan kepada kami melalui BUDI-DN. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis mengucapkan banyak terima kasih telah dimuat di Jurnal Keteknikan Pertanian (JTPE) IPB, semoga terakumulasi hendaknya, Amin.

Daftar Pustaka

- Abdullah, N., and F. Sulaiman. 2013. The Oil Palm Wastes in Malaysia, Biomass Now-Sustainable Growth and Use. *Biomass Now - Sustain Growth Use.*, siap terbit.
- Ahmad, S., and R.M. Tahar. 2014. Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renew Energy*. 63:458–466. doi:10.1016/j.renene.2013.10.001.
- Aja, A., S. Oseghale, A. Mohamed. 2017. Status Evaluation of Palm Oil Waste Management Sustainability in Malaysia. *OIDA Int J Sustain Dev*. 10(12):41–48.
- Alkuma, Y.M., H. Hermawan, H. Hadiyanto. 2016. Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit

- Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur. *J Ilmu Lingkung*. 14(2):96. doi:10.14710/jil.14.2.96-102.
- Alsubari, B., P. Shafiqh, M.Z. Jumaat, M. Amer, N. Farzadnia, A. Abdullah, A. Ali, R. Demirboga, A.S.M.A. Awal, M.W. Hussin, et al. 2013. Journal of Oil Palm & The Environment An official publication of the Malaysian Palm Oil Council (MPOC) Opportunities and challenges in the development of a viable Malaysian palm oil biomass industry. *J Oil Palm & The Environ*. 3 April:41–46. doi:10.5366/jope.2013.05.
- Aswin, N. 2015. Analisis Pola Produksi Dan Kelayakan Pembangunan Pabrik Kelapa Sawit Di Pantai Barat Aceh (Tesis) Fakultas Pertanian Jurusan Agribisnis Unsyiah
- Aziz, M., and T. Kurniawan. 2016. Enhanced utilization of palm oil mill wastes for power generation. *Chem Eng Trans*. 52:727–732. doi:10.3303/CET1652122.
- Bantacut, T., and D. Novitasari. 2016. Energy and water self-sufficiency assessment of the white sugar production process in Indonesia using a complex mass balance model. *J Clean Prod*. 126:478–492. doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.092.
- Begum, S., P. Kumaran, M. Jayakumar. 2013. Use of oil palm waste as a renewable energy source and its impact on reduction of air pollution in context of Malaysia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 16(1). doi:10.1088/1755-1315/16/1/012026.
- Chavalparit, O., W.H. Rulkens, A.P.J. Mol, S. Khaodhair. 2006. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. *Environ Dev Sustain*. 8(2):271–287. doi:10.1007/s10668-005-9018-z.
- Embrandiri, A., M.H. Ibrahim, R.P. Singh. 2013. Palm Oil Mill Wastes Utilization; Sustainability in the Malaysian Context. *Int J Sci Res Publ*. 3(1):2250–3153. www.ijsrp.org.
- Faisal, M., M. Dan, M. Nizar. 2010. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Di Propinsi Aceh Dalam Skema Clean Development Mechanism. *Semin Nas Masy Perkelapa Sawitan Indones MAKSI*, siap terbit.
- Fauzianto, R. 2014. Implementation of Bioenergy from Palm Oil Waste in Indonesia. *J Sustain Dev Stud*. 5(1):100–115.
- Gobi, K., and V.M. Vadivelu. 2013. By-products of palm oil mill effluent treatment plant - A step towards sustainability. *Renew Sustain Energy Rev*. 28:788–803. doi:10.1016/j.rser.2013.08.049.
- Goh, C.S., K.T. Tan, K.T. Lee, S. Bhatia. 2009. Bio-ethanol from lignocellulose : Status , perspectives and challenges in Bioresource Technology Bio-ethanol from lignocellulose : Status , perspectives and challenges in Malaysia. *Bioresour Technol*. 101(13):4834–4841. doi:10.1016/j.biortech.2009.08.080.
- Hashim, Z., H. Muhamad, V. Subramaniam, C.Y. May. 2014. Water footprint: Part 2 - FFB production for oil palm planted In Malaysia. *J Oil Palm Res*. 26(4):282–291.
- Hassan, S., L.S. Kee, H.H. Al-Kayiem. 2013. Experimental study of palm oil mill effluent and oil palm frond waste mixture as an alternative biomass fuel. *J Eng Sci Technol*. 8(6):703–712.
- Hosseini, S.E., and M.A. Wahid. 2015. Pollutant in palm oil production process. *J Air Waste Manag Assoc*. 65(7):773–781. doi:10.1080/10962247.2015.103873092.
- Huenteler, J., T.S. Schmidt, J. Ossenbrink, V.H. Hoffmann. 2016. Technology life-cycles in the energy sector - Technological characteristics and the role of deployment for innovation. *Technol Forecast Soc Change*. 104:102–121. doi:10.1016/j.techfore.2015.09.022.
- Husain, Z., Z. Zainac, Z. Abdullah. 2002. Briquetting-of-palm-fibre-and-shell-from-the-processing-of-palm-nuts-to-palm-oil_2002_Biomass-and-Bioenergy. *Biomass and Bioenergy*. 22:505–509.
- Husain, Z., Z.A. Zainal, M.Z. Abdullah. 2003. Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills. *Biomass and Bioenergy*. 24(2):117–124. doi:10.1016/S0961-9534(02)00101-0.
- Izah, S.C., E.I. Ohimain, T.C.N. Angaye. 2016. Potential Thermal Energy from Palm Oil Processing Solid Wastes in Nigeria : Mills Consumption and Surplus Quantification. *Br J Renew Energy*. 01(01):39–45.
- Kamahara, H., U. Hasanudin, A. Widiyanto, R. Tachibana. 2010. Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil : A case study from Indonesian practice. *Biomass and Bioenergy*. 4:1–7. doi:10.1016/j.biombioe.2010.07.014.
- Kelly-Yong, T.L., K.T. Lee, A.R. Mohamed, S. Bhatia. 2007. Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide. *Energy Policy*. 35(11):5692–5701. doi:10.1016/j.enpol.2007.06.017.
- Kramanandita, R., T. Bantacut, M. Romli, M. Makmoen. 2014. Utilizations of Palm Oil Mills Wastes as Source of Energy and Water in the Production Process of Crude Palm Oil. *Chem Mater Res*. 6(8):46–53.
- Kramandinata, R., T. Bantacut, M. Romli, M. Makmoen. 2014. Utilizations of Palm Oil Mills Wastes as Source of Energy and Water in the Production Process of Crude. *Chem Mater Res*. 6(8):46–54.
- Kyriakopoulos, G.L., and G. Arabatzis. 2016. Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Renew Sustain Energy Rev*. 56:1044–1067.

- doi:10.1016/j.rser.2015.12.046.
- Loh, S.K. 2016. The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. *Energy Convers Manag J.* xxx:xxx-xxx.
- Faisal, M., and M. Mahidin. 2013. Biomass Residue from Palm Oil Mills in Aceh Province: A Potential Usage for Sustainable Energy. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol.* 3(3):222. doi:10.18517/ijaseit.3.3.324.
- Mahlia, T.M.I., M.Z. Abdulmuin, T.M.I. Alamsyah, D. Mukhlisien. 2001. An alternative energy source from palm wastes industry for Malaysia and Indonesia. *Energy Convers Manag.* 42(18):2109-2118. doi:10.1016/S0196-8904(00)00166-7.
- Meher, L.C., D.V. Sagar, S.N. Naik. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 10(3):248-268. doi:10.1016/j.rser.2004.09.002.
- Halim, R.M., R. Ramli, C.C. Mat, C.Y. May, N.A. Bakar, N.A. Hadi. 2016. Dry Separation of Palm Kernel and Palm Shell Using a Novel Five-Stage Winnowing Column System. *Technologies.* 4(2):13. doi:10.3390/technologies4020013.
- Nasution, M.A., T. Herawan, M. Rivani. 2014. Analysis of palm biomass as electricity from palm oil mills in north sumatera. *Energy Procedia.* 47:166-172. doi:10.1016/j.egypro.2014.01.210.
- Ng, W.P.Q., H.L. Lam, F.Y. Ng, M. Kamal, J.H.E. Lim. 2012. Waste-to-wealth: Green potential from palm biomass in Malaysia. *J Clean Prod.* 34 September 2011:57-65. doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.004.
- Pandia, E.B., H. Hernawati, T. Jari, A. Kahar. 2020. Pengaruh Laju Alir Terhadap COD, BOD dan VFA pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dalam Bioreaktor Anaerobik. *J Chemurg.* 4(2):30. doi:10.30872/cm.g.v4i2.4591.
- Pleanjai, S., S.H. Gheewala, S. Garivait. 2007. Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. *Asian J Energy Environ.* 8(1-2):15-32.
- Prasertsan, S., and P. Prasertsan. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: An overview on quantity and potential usage. *Biomass and Bioenergy.* 11(5):387-395. doi:10.1016/S0961-9534(96)00034-7.
- Purwanto, D. 2011. Arang dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *J Penelit Has Hutan.* 29(1):57-66. doi:10.20886/jphh.2011.29.1.57-66.
- Rahayu, D.E., D. Nasarani, W. Hadi, B. Wirjodirjo. 2018. Potential of biomass residues from oil palm agroindustry in Indonesia. *MATEC Web Conf.* 197:1-4. doi:10.1051/mateconf/201819713008.
- Salomón, M., M.F. Gomez, A. Martin. 2013. Technical polygeneration potential in palm oil mills in Colombia: A case study. *Sustain Energy Technol Assessments.* 3:40-52. doi:10.1016/j.seta.2013.05.003.
- Shuit, S.H., K.T. Tan, K.T. Lee, A.H. Kamaruddin. 2009. Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. *Energy.* 34(9):1225-1235. doi:10.1016/j.energy.2009.05.008.
- Silvestre, J.D., J. de Brito, M.D. Pinheiro. 2014. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials - Calculation rules, results and contribution to a "cradle to cradle" life cycle. *J Clean Prod.* 66:37-45. doi:10.1016/j.jclepro.2013.10.028.
- Singh, R.P., A. Embrandiri, M.H. Ibrahim, N. Esa. 2011. Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option. *Resour Conserv Recycl.* 55(4):423-434. doi:10.1016/j.resconrec.2010.11.005.
- Singh, R.P., M.H. Ibrahim, N. Esa, M.S. Iliyana. 2010. Composting of waste from palm oil mill: A sustainable waste management practice. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 9(4):331-344. doi:10.1007/s11157-010-9199-2.
- Sivasoathy, K., R.M. Halim, Y. Basiron. 2005. a New System for Continuous Sterilization of Oil Palm Fresh Fruit Bunches. *J Oil Palm Res.* 17 December:145-151.
- Sommart, K., and S. Pipatmanomai. 2011. Assessment and Improvement of Energy Utilization in Crude Palm Oil Mill. *Int Conf Chem Chem Process.* 10:161-166.
- Subramaniam, V., C.Y. May, H. Muhammad, Z. Hashim, Y.A. Tan, P.C. Wei. 2010. Life cycle assessment of the production of crude palm kernel oil (part 3a). *J Oil Palm Res.* 22 December:904-912.
- Sulaiman, F., N. Abdullah, H. Gerhauser, A. Shariff. 2011. An outlook of Malaysian energy, oil palm industry and its utilization of wastes as useful resources. *Biomass and Bioenergy.* 35(9):3775-3786. doi:10.1016/j.biombioe.2011.06.018.
- Vijaya, S., A.N. Ma, Y.M. Choo, N.S.N. Meriam. 2008. Life cycle inventory of the production of crude palm oil - A gate to gate case study of 12 palm oil mills. *J Oil Palm Res.* 20 JUNE:484-494.
- Wu TY, Mohammad AW, Jahim JM, Anuar N. 2010. Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *J Environ Manage.* 91(7):1467-1490. doi:10.1016/j.jenvman.2010.02.008.
- Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil - Innovation on effective utilization of waste. *J Clean Prod.* 14(1):87-93. doi:10.1016/j.jclepro.2004.07.005.