

**PERHITUNGAN POTENSI DAN PEMETAAN JARINGAN RANTAI
PASOK BIOMASSA LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK BAHAN
BAKAR *CO-FIRING* PEMBANGKIT LISTRIK BATUBARA (PLTU) DI
REGION SUMATERA BAGIAN UTARA**

TESIS

**Karya Ilmiah Ini Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Magister Teknik dari
Universitas Darma Persada**

Oleh:

**ALI AHMUDI
(2021910014)**



Pembimbing :

**Dr.Eng. Aep Syaiful Uyun, S.Tp, M.Eng
Dr. Ir. Syukri Muhammad Nur, M.S.**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

“Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Darma Persada atau Perguruan Tinggi Lainnya.”

Jakarta, 14 Agustus 2023



Ali Ahmudi



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Tesis : PERHITUNGAN POTENSI DAN PEMETAAN JARINGAN RANTAI PASOK BIOMASSA LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK BAHAN BAKAR *CO-FIRING* PEMBANGKIT LISTRIK BATUBARA (PLTU) DI REGION SUMATERA BAGIAN UTARA

Nama : Ali Ahmudi

NIM : 2021910014

Telah disetujui oleh Komisi Pembimbing dan Penguji

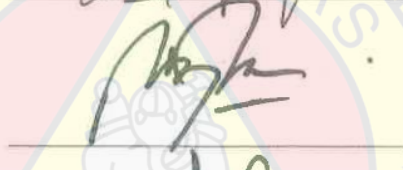
Dr.Eng Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng
(Komisi Pembimbing Utama)



Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, M.Sc
(Komisi Pembimbing)



Dr. Ir. Asyari Daryus, M.Sc., MM
(Penguji)

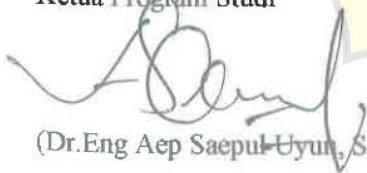


Dr. Muswar Muslim, S.T., MSc
(Penguji)



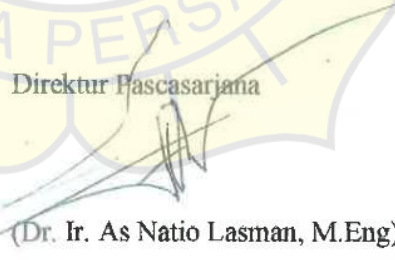
Mengetahui

Ketua Program Studi



(Dr.Eng Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng)

Direktur Pascasarjana



(Dr. Ir. As Natio Lasman, M.Eng)

Tanggal Ujian : 14 Agustus 2023

Tanggal Yudisium : 16 Agustus 2023

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang senantiasa melimpahkan keberkahan. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga dan sahabat-sahabatnya yang setia mengikuti ajarannya hingga akhir zaman.

Penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Pembimbing Tesis, yaitu Dr.Eng Aep Syaiful Uyun, S.Tp, M.Eng dan Dr. Ir. Syukri Muhammad Nur, M.S, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan inspirasi selama proses pembelajaran dan penulisan Tesis ini. Ucapan terima kasih juga kepada Direktur Pascasarjana UNSADA, yaitu Dr. Ir. As Natio Lasman, M.Eng, serta para Penguji Tesis yaitu Dr. Muswar Muslim, S.T, M.Sc dan Dr. Ir. Asyari Daryus, MSc atas koreksi dan masukannya.

Salah satu tujuan dari penelitian dan penulisan Tesis ini adalah untuk memberikan pemahaman mendalam tentang penerapan konsep-konsep teori tentang *waste to energy* (WTE) untuk diaplikasikan dalam situasi nyata (*the real world*) dan dipertanggungjawabkan secara akademik dan ilmiah. Dengan demikian diharapkan dapat melatih kemampuan analisis, pemecahan masalah, serta penerapan solusi yang tepat dalam konteks kasus yang dihadapi dalam pengelolaan sampah menjadi sumber energi (*waste to energy*).

Penulis menyadari bahwa selama penelitian dan penulisan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, kami juga ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada istri tercinta Dr. Apt. Diah Kartika Pratami, S.Si, M.Farm dan anak-anak. Apresiasi tinggi untuk teman-teman seperjuangan Program Pascasarjana UNSADA angkatan 2021, serta semua pihak yang telah turut serta membantu memberikan dukungan moril dan materil.

Harapan Penulis, dengan terselesaikannya laporan penelitian dan penulisan Tesis ini dapat memberikan kontribusi positif dan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang teknologi dan manajemen EBT (Energi Baru dan Terbarukan) di Indonesia. Semoga karya ilmiah ini dapat memenuhi harapan, baik dari pihak akademisi maupun praktisi yang terlibat di industri EBT di Indonesia. Penulis menyadari bahwa tidak ada karya yang sempurna. Oleh karena itu, kami membuka diri untuk menerima kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang.

Jakarta, 14 Agustus 2023

Penulis,



(Ali Ahmudi)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	I
LEMBAR PERSETUJUAN.....	II
KATA PENGANTAR.....	III
DAFTAR ISI.....	IV
DAFTAR GAMBAR.....	VI
DAFTAR TABEL	VII
ABSTRAK.....	VIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN PENELITIAN.....	4
BAB II PENGEMBANGAN ENERGI BIOMASSA LIMBAH KELAPA SAWIT	6
2.1 POTENSI DAN KEBUTUHAN ENERGI INDONESIA	6
2.1.1 Potensi Energi Primer.....	7
2.1.2 Kebutuhan Energi Primer	7
2.1.3 BAURAN ENERGI INDONESIA.....	8
2.2 POTENSI BIOMASSA DARI LIMBAH KELAPA SAWIT DI INDONESIA.....	9
2.2.1 Biomassa dari Limbah Kelapa Sawit di Indonesia.....	10
2.2.2 Karakteristik Jenis Limbah Kelapa Sawit	11
2.2.3 Perhitungan Potensi Biomassa Limbah Pertanian.....	14
2.2.4 Rantai Pasok Biomassa.....	15
2.2.5 Teknologi Konversi Biomassa.....	16
2.2.6 Produksi Biopellet	17
2.2.7 Pembangkit Listrik Biomassa.....	18
2.3 PEMODELAN ENERGI BIOMASSA	19
2.3.1 Pemodelan Rantai Pasok Biomassa.....	19
2.3.2 <i>Geographic Information Systems</i> (GIS)	20
2.4 RUMUSAN KETERKINIAN PENELITIAN DAN NILAI KEBARUAN	21
2.4.1 Rumusan Keterkinian (<i>State of The Art</i>).....	21
2.4.2 Nilai Kebaruan (<i>Novelty</i>).....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA	25
4.1 PENGUMPULAN DATA	25

4.1.1	Peta Dasar Kepulauan Indonesia dan Pulau Sumatera	25
4.1.2	Data dan Peta Jaringan dan Kelas Jalan di Pulau Sumatera	26
4.1.3	Data Produksi Pertanian Berdasarkan Provinsi di Region Sumatera Bagian Utara ...	28
4.1.4	Data Persebaran Lokasi Biomassa Limbah Pertanian di Region Sumatera Bagian Utara	29
4.1.3	Data Persebaran Lokasi PLTU Batubara di Region Sumatera Bagian Utara.....	31
4.2	PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA	33
4.2.1	Karakteristik Biomassa.....	33
4.2.2	Konversi Energi Biomassa	36
4.2.3	Perencanaan Lokasi Storage Biomassa Limbah Kelapa Sawit di Region Sumatera Bagian Utara	42
4.2.4	Perencanaan Lokasi Pabrik Pembuatan Biopellet Limbah Kelapa Sawit di Region Sumatera Bagian Utara.....	43
4.3	RANTAI PASOK BIOMASSA LIMBAH KELAPA SAWIT DI REGION SUMATERA BAGIAN UTARA	45
4.3.1	PLTU Nagan Raya, Provinsi Aceh	46
4.3.2	PLTU Pangkalan Susu, Provinsi Sumatera Utara	46
4.3.3	PLTU Labuhan Angin, Provinsi Sumatera Utara.....	46
BAB V PENUTUP.....		48
5.1	KESIMPULAN.....	48
5.2	SARAN.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bauran Energi Indonesia.....	1
Gambar 2. Persebaran Total Konsumsi Energi Final di Indonesia.....	6
Gambar 3. Konsumsi Energi Final Indonesia.....	8
Gambar 4. Porsi EBT di Sektor Kelistrikan.....	9
Gambar 5. Jenis Potensi Biomassa	9
Gambar 6. Beberapa Contoh Material Limbah Pertanian.....	10
Gambar 7. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	11
Gambar 8. Cangkang (<i>Shell</i>) dan Serabut (<i>Fiber</i>)	12
Gambar 9. Penimbunan Serabut (<i>Fiber</i>).....	12
Gambar 10. Rantai Pasok Biomassa	15
Gambar 11. Teknologi Konversi Biomassa	16
Gambar 12. Proses Peningkatan Nilai Tambah Biomassa.....	17
Gambar 13. Biopellet dan Biopellet setelah Proses Torrefaction	17
Gambar 14. Perkembangan Teknologi Biopellet.....	18
Gambar 15. Alur Penelitian Biomassa untuk Co-firing.....	24
Gambar 16. Titik Orientasi Penelitian di Pulau Sumatera.....	26
Gambar 17. Peta Jaringan Jalan di Pulau Sumatera.....	27
Gambar 18. Peta Distribusi Potensi Biomassa Limbah Pertanian di Region Sumatera Bagian Utara.....	29
Gambar 19. Peta Persebaran PLTU Batubara di Region Sumatera Bagian Utara.....	32
Gambar 20. Peta Lokasi Storage Biomassa Limbah Kelapa Sawit di Region Sumatera Bagian Utara.....	42
Gambar 21. Peta Lokasi Pabrik Biopellet Limbah Kelapa Sawit di Region Sumatera Bagian Utara.....	44
Gambar 22. Peta Rantai Pasok Biomassa Limbah Pertanian untuk Listrik di Region Sumatera .	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia.....	7
Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium untuk Menilai Kalor Sampel Limbah Sawit.....	13
Tabel 3. <i>State of The Art</i> Penelitian	21
Tabel 4. Produksi Pertanian di Region Sumatera Bagian Utara	28
Tabel 5. <i>Proximate Analysis of Biomass</i>	33
Tabel 6. <i>Ultimate Analysis of Biomass</i>	34
Tabel 7. <i>Biopolimer Content</i>	35
Tabel 8. <i>Bulk Density of Biomass</i>	35
Tabel 9. <i>Standard of Biopellet in The World</i>	36
Tabel 10. Produksi Pertanian di Region Sumatera Bagian Utara Tahun 2017 – 2021	37
Tabel 11. Produksi Biomassa Limbah Pertanian di Region Sumatera Bagian Utara Tahun 2021	38
Tabel 12. Konversi Material Limbah Kelapa Sawit Menjadi Biopellet di Region Sumatera Bagian Utara Tahun 2021	38
Tabel 13. Konversi Material Limbah Kelapa Sawit Menjadi Biopellet di Sub-Region Provinsi Aceh Tahun 2021	39
Tabel 14. Konversi Material Limbah Kelapa Sawit Menjadi Biopellet di Sub-Region Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021	40
Tabel 15. Konversi Material Biopellet Menjadi Listrik di Region Sumatera Bagian Utara Tahun 2021.....	40
Tabel 16. Konversi Material Biopellet Menjadi Listrik di Sub-Region Provinsi Aceh Tahun 2021	41
Tabel 17. Konversi Material Biopellet Menjadi Listrik di Sub-Region Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021	41

Abstrak

Keberlanjutan pasokan energi, perubahan iklim, dan pemanasan global menjadi masalah serius bagi setiap negara. Pengembangan energi terbarukan menjadi sangat penting untuk diprioritaskan oleh pemerintah dan semua pihak terkait. Biomassa merupakan salah satu sumber energi penting di berbagai negara, salah satunya adalah limbah pertanian, termasuk limbah kelapa sawit. Dalam penelitian ini, perhitungan potensi biomassa merujuk pada metode yang dikembangkan oleh *Biomass Energy Europe* yaitu PAR (*Primary Agricultural Residue*) dan SAR (*Secondary Agricultural Residue*). Sedangkan perhitungan konversi biomassa menjadi biopellet merujuk pada standard biopellet Austria (ONORM M 7135). Tujuan penelitian ini adalah menghitung potensi dan memetakan jaringan rantai pasok biomassa dari limbah kelapa sawit menjadi biopellet dan pengembangannya untuk bahan bakar *co-firing* pembangkit listrik batubara (PLTU). Penelitian ini menggunakan data produksi pertanian dari BPS (Badan Pusat Statistik) dan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Perkiraan jumlah limbah menggunakan metode RPR (*Ratio Product Residue*) berdasarkan referensi dari IRENA (*International Renewable Energy Agency*) dan *Asian Handbook of Biomass*. Penelitian ini menggunakan GIS (*Geographic Information System*) untuk memetakan potensi biomassa dari limbah kelapa sawit untuk bahan bakar *co-firing* di Region Sumatera Bagian Utara (Provinsi Aceh dan Provinsi Sumatera Utara) dan membuat proyeksi lokasi *storage* dan pabrik, serta mencari jarak terdekat dari PLTU. Bahan-bahan berupa kelapa sawit meliputi cangkang, tandan, sabut, batang dan inti biji sawit. Total potensi biomassa limbah sawit di Region Sumatera Bagian Utara (SBU) sebesar 3410,06 ton/tahun. Dari sisi jenis materialnya, secara berurutan yaitu cangkang (791,62 ton/tahun), tandan (1400,56 ton/tahun), sabut (852,52 ton/tahun) dan inti biji sawit (365,36 ton/tahun). Adapun total potensi listrik dari biopellet sebesar 356,80 KW. Berdasarkan jenis materialnya, secara berurutan yaitu cangkang (118,88 KW), tandan (88,09 KW), sabut (83,74 KW) dan inti biji sawit (66,09 KW). Penelitian ini juga telah menghasilkan sebuah peta potensi biomassa dari limbah kelapa sawit untuk bahan bakar *co-firing* di PLTU. Selain itu juga telah menghasilkan proyeksi lokasi penempatan *storage* dan pabrik biopellet yang bisa dibangun untuk menyuplai biopellet ke PLTU terdekat. Dengan adanya peta dan data memadai terkait potensi biomassa, lokasi *storage*, lokasi pabrik biopellet dan lokasi PLTU, maka rantai pasok biomassa (BSC) akan lebih mudah dirancang sehingga tercapai efektivitas dan efisiensi pasokan biomassa ke PLTU batubara.

Kata Kunci : biomassa limbah kelapa sawit, pemetaan potensi, pemodelan rantai pasok, *co-firing* batubara, sumatera bagian utara

Abstrack

Sustainability of energy supply, climate change and global warming are serious problems for every country. The development of renewable energy is very important to be prioritized by the government and all related parties. Biomass is an important energy source in various countries, one of which is agricultural waste, including palm oil waste. In this research, the calculation of biomass potential refers to the method developed by Biomass Energy Europe, namely PAR (Primary Agricultural Residue) and SAR (Secondary Agricultural Residue). Meanwhile, the calculation of biomass conversion into biopellets refers to the Austrian biopellet standard (ONORM M 7135). The aim of this research is to calculate the potential and map the biomass supply chain network from palm oil waste to biopellets and its development for co-firing fuel for coal power plants (PLTU). This research uses agricultural production data from BPS (Central Statistics Agency of Indonesia) and the Ministry of Agriculture of Indonesia. Estimated amount of waste uses the RPR (Ratio Product Residue) method based on references from IRENA (International Renewable Energy Agency) and the Asian Handbook of Biomass. This research uses GIS (Geographic Information System) to map the potential biomass from palm oil waste for co-firing fuel in the Northern Sumatra Region (Aceh Province and North Sumatra Province) and make projections of storage and factory locations, as well as finding the nearest distance from the PLTU. Ingredients in the form of palm oil include shells, bunches, husks, stems and palm kernels. The total potential biomass of palm oil waste in the North Sumatra Region (SBU) is 3410.06 tons/year. In terms of material type, in sequence they are shells (791.62 tons/year), bunches (1400.56 tons/year), coir (852.52 tons/year) and kernels (365.36 tons/year). The total electrical potential from biopellets is 356.80 KW. Based on the type of material, in sequence they are shells (118.88 KW), bunches (88.09 KW), coir (83.74 KW) and kernels (66.09 KW). This research has also produced a map of potential biomass from palm oil waste for co-firing fuel in PLTU. Apart from that, it has also produced projections of storage locations and biopellet factories that can be built to supply biopellets to the nearest PLTU. By having adequate maps and data regarding biomass potential, storage locations, biopellet factory locations and PLTU locations, the biomass supply chain (BSC) will be easier to design so as to achieve effectiveness and efficiency in biomass supply to coal PLTUs.

Keywords: *palm oil waste biomass, potential mapping, supply chain modeling, coal co-firing, northern Sumatra*