

Dampak Ekspansi Biomassa sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia

Syaifuddin Yana^{1*}, Nelly², Radhiana³, Nasir Ibrahim⁴, Awal Afrizal Zubir⁵, T.M. Zulfikar⁶,
Ardhana Yulisma⁷

¹Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia

^{1,2,3,4}Program Studi Manajemen Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia

⁵Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Indonesia

⁶Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia

⁷Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Ubudiyah Indonesia
Banda Aceh Indonesia

*Koresponden email: syaifuddin.yana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 25 September 2022

Disetujui : 6 Oktober 2022

Abstract

Energy is vital to Indonesia's economy, acting as a source of consumption and production across many industries. Sustainable development approaches should be employed to maximise energy use for the common good. A literature study on biomass as renewable energy (RE) in ASEAN and Indonesia. ASEAN countries want to reach 23% renewable energy by 2025, according to the meeting's outcome. The ASEAN Government slashed fuel subsidies and fossil fuels and increased regional market integration and project execution speed to attain the 23% renewable energy objective by 2025. Indonesia's renewable energy sources are many. Indonesia's renewable energy development is not as advanced as other countries'. In 2017, the country added 9 GW of renewable energy capacity. Indonesia produce 146.7 million tonnes of biomass in 2019, or 470 GJ/year. Indonesia has a lot of biomass energy potential, so it should keep producing/using renewable energy as much as feasible for society, and its management should follow sustainable development principles.

Keywords: *economic sector, renewable energy, biomass, potential energy from biomass, sustainable development concepts*

Abstrak

Energi sangat diperlukan untuk menjalankan kegiatan perekonomian di dalam negeri, termasuk di Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk kegiatan produktif di berbagai sektor ekonomi. Sebagai sumber daya alam, energi harus digunakan sebanyak mungkin untuk kesejahteraan masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada prinsip pembangunan berkelanjutan. Studi literatur yang menganalisis berbagai sumber yang terkait dengan masalah ekonomi dalam produksi biomassa sebagai energi terbarukan di kawasan ASEAN, khususnya Indonesia. Hasil diskusi menunjukkan bahwa negara-negara di ASEAN sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan sebesar 23% pada Tahun 2025. Untuk mencapai target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada Tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil, integrasi pasar regional, dan implementasi cepat dari proyek yang ada. Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang berlimpah. Meskipun memiliki potensi besar, Indonesia masih tertinggal dari negara lain dalam pengembangan energi terbarukan. Pada 2017, total kapasitas terpasang energi terbarukan di negara ini hanya mencapai sekitar 9 GW. Namun pada Tahun 2019, diperkirakan Indonesia memproduksi 146.7 juta ton biomassa per tahun atau setara dengan sekitar 470 GJ / tahun. Potensi energi biomassa yang begitu tinggi di negeri ini, seyogyanya membuat Indonesia terus bergerak untuk memproduksi/memanfaatkan energi terbarukan sebanyak mungkin untuk kesejahteraan masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada prinsip pembangunan yang berkelanjutan.

Kata kunci: *sektor ekonomi, energi terbarukan, biomassa, potential energy from biomass, konsep pembangunan berkelanjutan*

1. Pendahuluan

Energi telah menjadi pusat pengembangan ekonomi dan industrialisasi sejak dahulu kala [1]. Dimana terdapat hubungan linier dan positif antara pertumbuhan ekonomi nasional dan konsumsi energi [2]. Energi memiliki peran penting dan tempat yang strategis dalam bidang sosial, ekonomi, budaya dan politik, memutar roda penggerak peradaban yang menopang segala kebutuhan masyarakat. Energi dapat digunakan untuk kegiatan yang berhubungan dengan pembangkitan listrik, pendinginan dan pemanasan [3] [4]. Energi

juga digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam negeri, industri penunjang dan perdagangan. Peran energi dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga, bisnis dan industri, serta barang-barang yang diperdagangkan, mendorong penggunaan energi secara besar-besaran. Oleh karena itu, meningkatnya permintaan dari masyarakat energi membutuhkan pasokan energi yang melimpah dan tidak terbatas. Namun, peningkatan kebutuhan manusia tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan energi yang terbatas, karena telah dimanfaatkan secara masif untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Dalam konteks campuran energi nasional, sumber-sumber energi berasal dari sumber-sumber primer, yaitu energi konvensional dan energi terbarukan. Seperti energi konvensional, minyak dan gas sangat terbatas dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi tersebut cepat atau lambat akan terus berkurang dan berbahaya bagi lingkungan, sementara energi berkelanjutan adalah energi yang dihasilkan dari sumber-sumber alami (matahari, biomassa, angin, dan air) yang tersedia dan tidak merusak lingkungan [5]. Salah satu masalah utama yang dihadapi dalam memenuhi kebutuhan energi nasional adalah ketergantungan yang berlebihan pada sumber energi fosil karena beberapa peneliti sebelumnya telah menunjukkan bahwa pasokan energi primer sebagian besar berasal dari energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Jika diringkas porsi total sumber energi mencapai hingga 90% [6]. Hal tersebut menjadi tantangan umum dan ancaman untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Kapasitas produksi sumber energi tidak sebanding dengan tingkat konsumsi energi nasional yang semakin meningkat [7][4][8].

Dalam beberapa tahun terakhir, ada dorongan yang tumbuh pada produksi energi terbarukan di sektor energi global yang terus dicanangkan sebagai bahan bakar masa depan. Namun, sejauh ini keterkaitan antara sektor energi terbarukan dan pertumbuhan ekonomi belum dipahami secara jelas dalam literatur. Juga, dampak diferensial dari produksi energi terbarukan di Indonesia sebagai negara berkembang dan negara maju lainnya belum dianalisis secara sistematis. Sebagian besar studi berfokus pada negara maju atau negara berkembang secara terpisah, sambil menganalisis keterkaitan antara pertumbuhan ekonomi dan penyebaran energi terbarukan. Selain itu, literatur-literatur terkait hanya berfokus pada PDB (Produk Domestik Bruto) per kapita sebagai indikator pertumbuhan ekonomi. Indikator lain seperti tingkat partisipasi angkatan kerja dan pembentukan modal bruto sebagian besar telah diturunkan ke latar belakang [9] [3].

Energi sangat diperlukan untuk menjalankan kegiatan perekonomian di dalam negeri, termasuk di Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk kegiatan produktif di berbagai sektor ekonomi. Sebagai sumber daya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kepentingan masyarakat dan pengelolaannya harus mengikuti prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Dari sisi penawaran, Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya energi, baik sumber daya yang tidak terbarukan maupun yang terbarukan. Namun, eksplorasi sumber energi lebih fokus pada energi fosil yang merupakan sumber daya yang tidak terbarukan sedangkan energi terbarukan belum banyak digunakan. Kondisi ini membuat ketersediaan energi fosil terutama minyak mentah semakin langka sehingga Indonesia menjadi negara pengimpor minyak mentah dan turunannya [11].

Menurut kementerian energi dan sumber daya mineral Tahun 2017, cadangan energi mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam 22,99 tahun, gas selama 58,95 tahun, dan batu bara selama 82,01 tahun. Perhitungan ini menggunakan asumsi bahwa tidak ada bidang baru yang ditemukan sebagai sumber energi fosil. Cadangan energi dapat meningkat jika ladang baru ditemukan. Dari aspek konsumsi menunjukkan bahwa konsumsi energi Indonesia telah meningkat dari tahun ke tahun. Pada periode Tahun 2007 sampai 2017, konsumsi energi final mengalami peningkatan tahunan dengan kisaran rata-rata 2,73% dari 953.334.957 BOE (*Barrel of Oil Equivalent*/ Setara Barel Minyak) menjadi 1.058.262.186 BOE. Menurut jenis sektor, konsumsi energi di sektor industri merupakan konsumsi energi tertinggi, diikuti oleh rumah tangga, transportasi, pemanfaatan non energi, komersial, dan lainnya [12].

Dengan menipisnya cadangan energi fosil di satu sisi, sementara di sisi lain konsumsi energi yang terus meningkat menjadi ancaman bagi perkembangan ekonomi Indonesia. Oleh karena itu upaya harus dilakukan untuk mendorong pemanfaatan energi secara efisien bersama dengan pencarian sumber energi fosil baru secara intensif dan untuk mengembangkan energi alternatif yang merupakan sumber daya terbarukan.

2. Metode Kajian Literatur

Penelitian ini adalah studi literatur yang menganalisis berbagai sumber yang terkait dengan masalah ekonomi dalam produksi biomassa sebagai energi terbarukan di kawasan ASEAN, khususnya Indonesia. Studi literature review ini penting untuk dilakukan karena Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah disektor pertanian, kehutanan, dan sebagainya yang dapat menjadi aktor strategis di arena energi global. Hasil dan pembahasan membahas tentang keanekaragaman hayati biomassa sebagai sumber energi

terbarukan, biomassa potensial Indonesia sebagai energi terbarukan, dan biomassa sebagai energi terbarukan, keberlanjutan jangka panjang di Indonesia. Adapun sumber data yang digunakan dalam studi ini disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Sumber literatur

Data Base Penelitian	Tahun	Sumber
• <i>Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing 2018, Outlooking 2019</i>	2019	IESR
• Intensitas Energi Primer	2014-2018	Badan Pusat Statistik (BPS) https://www.bps.go.id/indicator/7/1808/1/intensitas-energi-primer.html
• Bauran Energi Terbarukan	2016-2018	Badan Pusat Statistik (BPS)
• Penggunaan Energi		PT. PLN Persero
• <i>World Energy Outlook - World Energy Model</i>	2017	Badan Pusat Statistik (BPS) OECD/IEA
• Potensi dan Implementasi Pengembangan	2019	www.esdm.go.id

Sumber: Data penelitian (2021)

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Keanekaragaman Hayati Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan primer terdiri dari sumber energi alami primer yang konsumsinya tidak membatasi penggunaannya di masa depan. Karena energi terbarukan dapat pulih lebih cepat daripada yang digunakan. Energi primer yang terbarukan ada dalam bentuk aliran permanen yang dapat terputus-putus dalam periode waktu yang lebih singkat (contohnya: variabel sinar matahari selama sehari) tetapi penggunaannya di masa depan tidak dibatasi oleh konsumsinya. Berbeda halnya dengan sumber energi tidak terbarukan yang berasal dari stok simpanan yang terbatas pada skala waktu tertentu yang akan habis jika terus menerus dimanfaatkan manusia seperti bahan bakar fosil, yaitu minyak bumi, batubara, dan gas [13].

Dalam beberapa tahun terakhir, pemerintah ASEAN telah menciptakan banyak skema jangka pendek untuk mengembangkan energi terbarukan di dalam kawasan. ASEAN secara keseluruhan, serta masing-masing negara, menetapkan skema berdasarkan target pengembangan energi terbarukan. Setiap target ditetapkan sebagai bagian dari catu daya energi terbarukan (**Gambar 1**), energi primer dan konsumsi energi final [14].



Gambar 1. Target pengembangan energi terbarukan

Sumber: Rencana Aksi ASEAN untuk Kerjasama Energi (APAEC) 2016-2025 [15]

Semua negara di kawasan ASEAN sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan 23 persen pada Tahun 2025. Pemerintah Laos mengumumkan targetnya sendiri pada Tahun 2015 untuk memenuhi 30 persen energi terbarukan pada Tahun 2025. Pada tahun yang sama, Indonesia mengharapkan untuk mencapai 25 persen. Sementara Vietnam mengharapkan 8 persen dari pasokan energi mereka menjadi energi terbarukan [16].

Sebagai pemimpin di kawasan ini dalam hal penyediaan energi terbarukan, Indonesia telah menyelesaikan pedoman untuk biomassa, biogas, dan tenaga air kecil. Disusul oleh Myanmar yang juga telah mengumumkan pedomannya. Malaysia menyelesaikan pedoman untuk tenaga air kecil serta implementasi surya. Sementara Filipina dan Vietnam menyelesaikan pedoman mereka untuk tenaga surya pada awal tahun 2017 [17].

Meskipun masing-masing negara telah berbeda satu sama lain dalam hal energi terbarukan, namun mereka masih saling berkolaborasi. Salah satu upaya bersama tersebut adalah target umum dan peta jalan

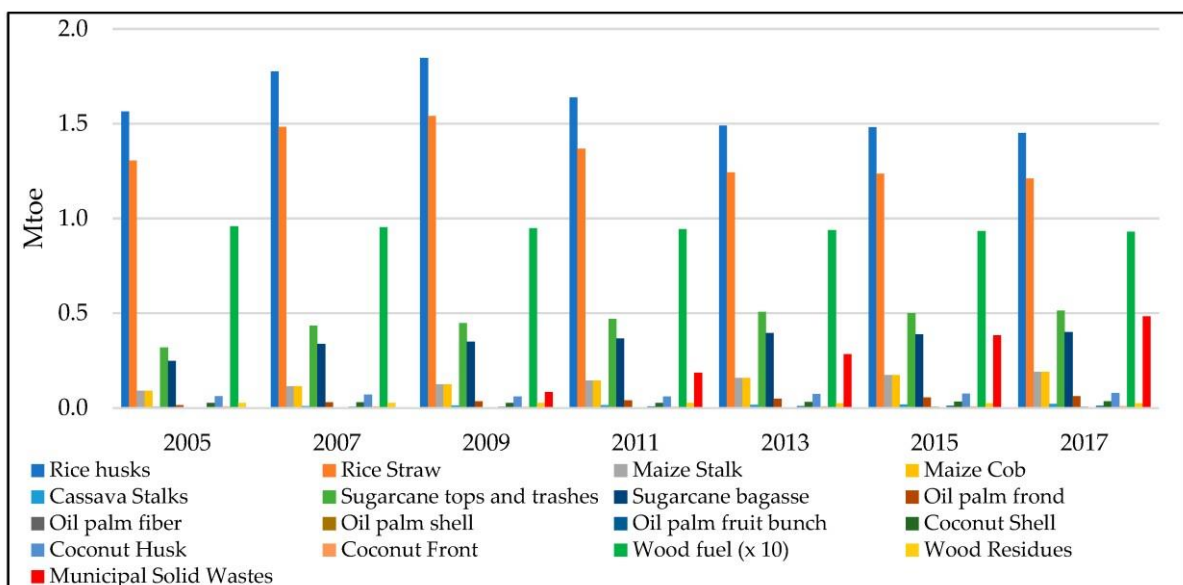
yang disebut Opsi Remap untuk masa depan yang bersih, berkelanjutan, dan sejahtera [18]. Peta jalan ini menyediakan perincian potensi energi terbarukan berdasarkan sektor dan sumber, dan menetapkan pedoman untuk mencapai semua target.

Asia Tenggara juga merupakan salah satu daerah yang paling rentan terhadap perubahan iklim. Bagaimanapun negara-negara berencana untuk menutupi kekurangan dalam permintaan energi dan pasokan terutama dengan batubara. Namun, bahan bakar fosil tidak diperlukan untuk memenuhi kekurangan energi. Energi terbarukan mulai dari matahari, biomassa, hingga angin memiliki potensi yang sangat besar di wilayah ini [19].

Kawasan ASEAN umumnya dikenal sebagai wilayah yang kaya akan energi alam di dunia, namun demikian ada beberapa negara di ASEAN yang berkinerja sangat buruk dalam hal sumber daya energi. Menurut Database Bank Dunia (2016), 4 dari 10 negara di ASEAN merupakan negara pengimpor energi termasuk Singapura (98 persen), Filipina (46 persen), Thailand (42 persen), dan Kamboja (33 persen). Singapura disebut sebagai salah satu dari delapan ekonomi tanpa sumber daya energi di dunia [20], dan sepenuhnya bergantung pada energi impor. Bahan bakar diesel impor Kamboja menyumbang 90 persen dari produksi listrik domestik [21].

Secara umum, negara-negara tersebut sangat bergantung pada bahan bakar impor, sehingga mereka cenderung merasakan dampak kenaikan harga bahan bakar dan lebih mudah mengalami kekurangan pasokan daripada yang lain. Sebagai contoh, Brunei memproduksi sekitar 127.000 barel minyak per hari dan 243.000 barel setara minyak dari gas alam per hari, [22] dimana 24,3 persen diekspor ke Singapura [23]. Namun, fakta yang mengejutkan adalah bahwa negara-negara pengekspor tidak dapat memenuhi kebutuhan mereka sendiri.

Negara-negara Asia Tenggara berdiri di persimpangan jalan mengenai masa depan energi bersama mereka dan sangat bergantung pada bahan bakar fosil untuk transportasi dan listrik. Negara-negara Asia Tenggara memiliki potensi besar untuk sumber energi berkelanjutan. Namun mereka belum melakukan secara global dalam penyebaran energi terbarukan karena berbagai tantangan. Untuk mencapai target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada Tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN harus mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil, integrasi pasar regional dan implementasi cepat dari proyek yang ada [24]. Tingginya keanekaragaman hayati dan berlimpahnya sumber daya alam, menjadikan kawasan ASEAN sebagai “lumbung” energi biomassa yang sangat potensial di dunia. Potensi energi biomassa di sektor pertanian, kehutanan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Perkiraan potensi energi biomassa dari sektor pertanian, hutan, dan kota di ASEAN
Sumber: Tun and Juchelkova, 2019 [25]

Energi biomassa sejauh ini merupakan sumber energi terbarukan terbesar, mewakili 10.4% dari total pasokan energi primer dunia atau 77,4% dari pasokan energi terbarukan global [26]. Peluang dan investasi baru dalam biomassa muncul, khususnya di Asia Tenggara [27]. Asia Tenggara dengan sumber daya bioenergi yang melimpah, memegang posisi strategis dalam atlas biomassa global [28]. Asia Tenggara juga

merupakan produsen terbesar produk pertanian dan kayu, dan menurut perkiraan konservatif, jumlah residu biomassa yang dihasilkan dari gula, beras, dan pabrik kelapa sawit lebih dari 200-230 juta ton per tahun, yang sesuai dengan potensi kogenerasi 16-19 gigawatts (GW) [28]. Saat ini, Asia Tenggara dengan cepat menjadi pasar yang menarik untuk mengembangkan biomassa sebagai sumber energi [27] dan energi biomassa dapat menyediakan 26% dari total pasokan energi primer, setara dengan 87% dari pasokan energi terbarukan [26]. Banyak Negara-negara di Asia Tenggara adalah produsen utama komoditas pertanian seperti beras, gula, tebu, kelapa sawit, kelapa, dan karet, dan residu yang paling menjanjikan adalah sekam padi, tebu, tebu, residu kelapa sawit, dan residu kayu [26].

Berdasarkan FAO *Unified Bioenergy Terminology* Tahun 2004 [29], pandangan konseptual dari sistem bioenergi menggambarkan aliran produksi bioenergi dari biomassa sebagai sumber energi (**Gambar 3**).



Gambar 3. Aliran produksi dari biomassa untuk menghasilkan sumber energi
Sumber: FAO, 2004 [29]

Biomassa tradisional adalah sumber energi utama yang digunakan di negara-negara berkembang terutama untuk memasak dan memanaskan ruang di tingkat rumah tangga, sebagian besar menggunakan kompor tiga batu, atau di beberapa daerah kompor memasak ditingkatkan. Sumber energi ini adalah dalam bentuk bahan bakar kayu (termasuk kayu bakar dan arang), sisa tanaman, dan kotoran hewan. Di beberapa daerah, biomassa tradisional juga diperdagangkan di desa-desa maupun di daerah perkotaan. Karakteristik lain dari biomassa tradisional adalah menggunakan teknologi tradisional dengan efisiensi rendah karena desain yang buruk, pembakaran tidak terkontrol dan terbuka, yang memiliki implikasi kesehatan yang penting [30].

3.2 Potensi Biomassa Indonesia Sebagai Energi Terbarukan

Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa, di mana matahari bersinar sekitar 12 jam setiap hari, air hujan yang cukup turun sekitar 6 bulan setiap tahun, yang menyebabkan sebagian besar tanahnya sangat subur. Oleh karena itu, terdapat pasokan biomassa yang cukup melimpah baik di hutan, perkebunan, dan ladang pertanian. Selain untuk makanan, bahan, dan obat-obatan sejak berabad-abad, biomassa digunakan secara tradisional untuk energi sumber. Residu biomassa tidak boleh digunakan sebagai sumber energi jika masih bermanfaat sebagai pakan ternak atau bahan pengganti atau pupuk atau bahan kimia. Tampaknya energi harus menjadi prioritas terakhir. Teknologi sederhana untuk memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi, terutama energi termal, telah dikembangkan dan diimplementasikan [31].

Konsumsi energi di Indonesia, seperti negara-negara lain di dunia, meningkat pesat seiring dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan perkembangan teknologi. Oleh karena itu, pasokan energi cukup untuk menutupi kebutuhan energi yang terus meningkat. Kebutuhan energi yang terpenuhi selama ini masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil, terutama minyak dan gas bumi [32]. Upaya untuk mengatasi krisis tersebut adalah dengan skenario mitigasi, dengan bauran pasokan energi 2030 sebesar 29,5% batubara, 31,4% gas alam, 24,6% minyak dan sisanya 14,5T, dengan jenis EBT yang paling menonjol adalah biofuel (5,8%), PLTA . (2,9%) panas bumi (3,5%) dan biomassa di luar anggaran (2,9%) [33].

Indonesia memiliki sumber daya energi yang besar dan merupakan aktor strategis di arena energi global. Lokasi Indonesia yang berada di atas beberapa lempeng tektonik telah memungkinkan negara untuk menjadi pengguna energi panas bumi terbaik di kawasan ini karena banyak sungai yang melintasi, yang memungkinkan bangsa ini untuk menghasilkan lebih banyak tenaga air daripada negara anggota Asean lainnya. Tetapi mengeksplorasi sumber daya spesifik untuk menghasilkan listrik pada akhirnya adalah pilihan politis [34]. Hingga saat ini, Indonesia adalah pengeksport batubara termal terbesar di dunia yaitu 75% dari produksinya yang mencapai sekitar 260 juta [34]. Permintaan domestik yang tinggi dan penurunan produksi minyak memaksa negara untuk mengarahkan kembali produksinya untuk memenuhi kebutuhannya. Indonesia juga merupakan pemegang gas alam yang signifikan yaitu memiliki cadangan terbesar ke-13 di dunia dan pengeksport gas alam cair terbesar ke-4 [35].

Di antara negara-negara Asia Tenggara, Indonesia memiliki stok yang tumbuh berlimpah di hutan karena wilayah hutannya yang paling luas, memiliki 94.432.000 hektar [36] [16]. Selain itu, dalam

perekonomian Indonesia, bahan bakar biomassa penting berasal dari residu pertanian dan digunakan dalam aplikasi tradisional dan modern [37] [21]. Sumber biomassa pertanian utama adalah residu kelapa sawit, residu tebu, sekam dan jerami padi, dan tongkol jagung. Diperkirakan bahwa Indonesia menghasilkan 146,7 juta ton biomassa per tahun, setara dengan sekitar 470 juta gigajoule (GJ) per tahun [38] [37]. Total estimasi potensi kapasitas dari biomassa mencapai sekitar 50.000 MW, dengan 312 MW kapasitas terpasang. Sumber biomassa utama di negara ini termasuk residu kayu, sekam padi dan batang padi, residu tebu, residu kelapa sawit dan sisa pertanian lainnya (**Gambar 4**). Sumber daya hutan dan pertanian untuk sumber biomassa di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Biomassa digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi seperti pembangkit listrik, energi domestik, bahan bakar kendaraan, dan peralatan industri. Produksi biomassa Indonesia sekitar 146,7 miliar ton per tahun [32]. Di masa depan, biomassa harus mendukung pengurangan gas rumah kaca. Biomassa yang dihasilkan sekarang sedang diubah menjadi energi modern seperti kokas, gasifikasi dan biofuel dengan perkembangan teknologi [39].

Peningkatan permintaan energi dan perlunya tindakan dari para pemangku kepentingan, Indonesia melibatkan kerangka kerja strategi untuk sumber energi terbarukan [40]. Pandangan lain adalah bahwa Indonesia sudah memiliki kebijakan dan pendekatan perubahan langkah terhadap energi biomassa, tetapi tidak terlalu efektif dan tidak memiliki badan khusus untuk menangani sektor energi biomassa [41].

Menurut Ref. [42], energi terbarukan sering disebut sebagai energi bersih karena berasal dari sumber alam atau proses yang terjadi secara terus menerus. Sinar matahari dan angin, misalnya, masih bersinar dan berhembus, tergantung pada ketersediaannya tergantung pada waktu dan cuaca. Energi terbarukan sering dilihat sebagai teknologi baru, tetapi memanfaatkan kekuatan alam telah lama digunakan untuk hal-hal seperti pemanas, transportasi, dan penerangan. Namun, selama sekitar 500 tahun terakhir, manusia semakin beralih ke bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas. Gambar 5 menunjukkan pemetaan potensi energi terbarukan negara-negara anggota ASEAN berdasarkan sumbernya.



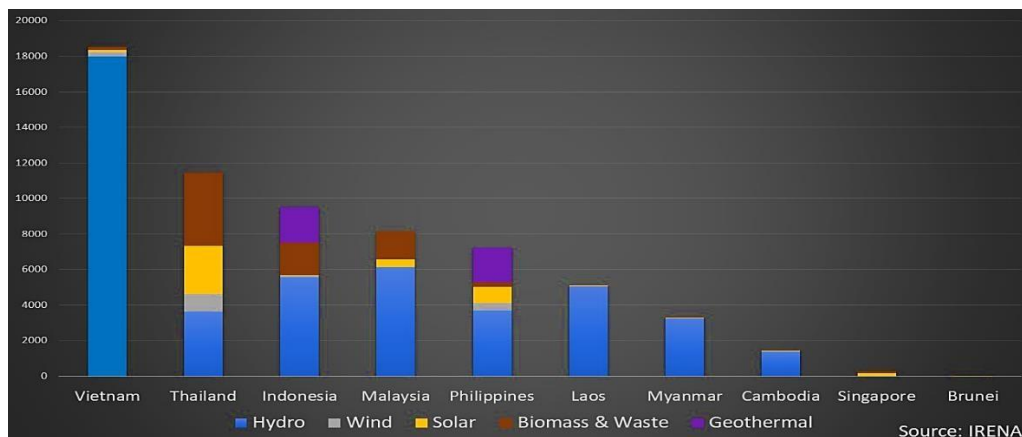
Gambar 4. Sumber daya biomassa di Indonesia [37]

Tabel 2. Sumber daya hutan dan pertanian untuk sumber biomassa di Indonesia

Biomassa	Produksi tahunan	Konten energi (MJ/kg)	Potensi Energi (juta GJ/tahun)	Tahun
	(juta ton/tahun)			
Hutan	94,432.000	52.000	-	2011
Minyak kelapa sawit	8430.026	-	19.760	2011
Kelapa	3808.263	-	3.267	2011
Gula	448.745	-	2.694	2011
Karet	3445.121	-	2.592	2011
Beras	12,147.637	-	66.412	2011
Jagung	4131.676	-	18.328	2011

Sumber: Ref. [37]

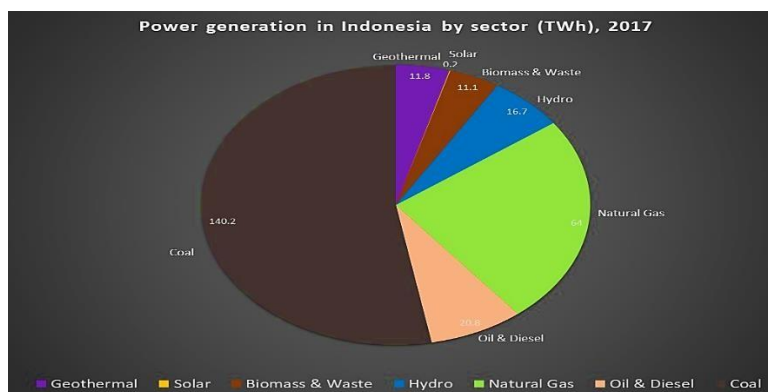
Untuk mencegah dampak terburuk dari perubahan iklim, maka dunia mengalihkan pembangkit listrik dari batubara ke energi terbarukan. Indonesia sebagai negara kepulauan merupakan konsumen energi terbesar di Asia Tenggara yang diperkirakan akan menjadi ekonomi terkuat keempat di dunia pada Tahun 2050. Meskipun berada di peringkat ketiga untuk total kapasitas energi terbarukan di kawasan ASEAN, namun Indonesia masih tetap menjadi pengguna batubara terbesar di Asean. Perusahaan listrik milik negara Perusahaan Listrik Negara (PLN) mungkin tidak sepenuhnya diberi insentif untuk berkomitmen pada energi terbarukan. Bagaimanapun, PLN memiliki sebagian besar pembangkit listrik tenaga batubara di Indonesia [44]. Sektor pembangkit listrik di Indonesia berdasarkan penggunaan bahan bakar fosil dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 5. Kapasitas energi terbarukan berdasarkan sumber di negara-negara anggota Asean tahun 2018 (MW)

Sumber: IRENA, 2018 [43]

Berdasarkan **Gambar 6** terlihat bahwa sektor pembangkit listrik di Indonesia paling banyak menggunakan bahan bakar yang berasal dari batu bara (140,2%), kemudian disusul oleh gas alam (64%), minyak dan diesel (20.8%), air (16.7%), panas bumi (11.8%), dan solar (0.2%). Sementara Indonesia telah meningkatkan produksi, maka terjadi pergeseran pada pasar batubara. Secara global, biaya energi terbarukan juga menurun dengan cepat. Banyak lembaga keuangan internasional memilih untuk berinvestasi di pabrik batu bara baru, dan beberapa telah mengumumkan niat untuk sepenuhnya melepaskan aset batubara dalam beberapa tahun [45]. Penurunan biaya *Liquefied Natural Gas* (LNG) dapat mempengaruhi bauran energi domestik Indonesia dan permintaan batubara domestik, karena dapat menggantikan pembangkit listrik berbahan bakar batubara. Selain itu, harga batubara internasional secara berkala mengalami penurunan yang signifikan selama lima tahun terakhir.



Gambar 6. Pembangkit listrik di Indonesia menurut sektor (TWh), 2017
Sumber: Climatescope, BloombergNEF

Hal ini berdampak pada tingkat produksi domestik, seperti yang terlihat pada 2015 ketika banyak tambang di Indonesia berhenti beraktifitas [46]. Meskipun harga telah menunjukkan tanda-tanda pemulihan, beberapa pengamat mengharapkan penurunan harga batubara menjadi struktural, dan dengan demikian menunjukkan lintasan jangka panjang [47]. Sementara penggunaan biomassa di Indonesia masih cenderung rendah yaitu 11,1% (**Gambar 6**). Padahal Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi biomassa yang sangat tinggi.

Di antara biomassa, kayu merupakan biomassa yang telah dikenal dan digunakan oleh masyarakat sejak lama. Kayu sebagai biomassa adalah bahan bakar terbarukan. Karbon yang dihasilkan selama produksi dan penggunaan kayu hampir netral. Pembakaran kayu melepaskan CO₂, tetapi pohon juga menyerap CO₂ melalui fotosintesis. Indonesia diperkirakan menghasilkan 146,7 juta ton biomassa setiap tahunnya. Ini adalah 470 GJ/tahun. Sumber energi biomassa utama di Indonesia dihasilkan dari residu padi dengan potensi energi 150 GJ/tahun, kayu karet 120 GJ/tahun, residu gula 78 GJ/tahun, residu kelapa sawit 67 GJ/tahun dan sisanya kurang. Lebih dari 20 GJ per tahun dihasilkan dari sisa kayu lapis dan veneer, limbah kayu, sisa penggergajian, sisa kelapa dan limbah pertanian [48].

Tabel 3. Potensi residu biomassa utama sebagai sumber energi

Biomassa	Wilayah utama	Produksi [juta t/tahun]	Potensi energi teknis [juta GJ/tahun]	Catatan
Kayu karet	Sumatera, Kalimantan, Java	41 (penanaman kembali)	120	log kecil Ø Kayu bulat besar dan sedang digunakan sebagai kayu bakar pada industri batu bata dan genteng: harga Rp 20.000 – Rp 30.000/m ³
Residu penebangan	Sumatera, Kalimantan	4.5	19	
Residu kayu gergajian	Sumatera, Kalimantan	1.3	13	Residu pabrik sering digunakan sebagai kayu bakar oleh masyarakat setempat, residu tersedia secara gratis
Residu produksi kayu lapis dan veneer	Kalimantan, Sumatera, Java, Papua, Maluku	1.5	16	Residu umumnya digunakan, namun
Residu gula	Java, Sumatera, South Kalimantan	Ampas tebu: 10 pucuk tebu: 4 daun tebu: 9,6	78	Ampas tebu umumnya digunakan di pabrik gula (90%) Penggunaan pucuk dan daun tebu perlu diteliti

Biomassa	Wilayah utama	Produksi [juta t/tahun]	Potensi energi teknis [juta GJ/tahun]	Catatan
Residu beras	Java, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Bali/Nusa Tenggara	Sekam: 12 dedak 2,5 tangkai: 2 jerami: 49	150	Tangkai dan jerami dihasilkan di lapangan dan umumnya dibakar, di beberapa daerah digunakan untuk pakan atau bahan baku industri kertas Sekam sering dibakar tidak terkendali
Kelapa	Sumatera, Java, Sulawesi	Cangkang: 0,4 sekam: 0,7	7	Residu dihasilkan
Residu-residu				Terdesentralisasi dan biasanya dibiarkan di lahan perkebunan Banyak digunakan sebagai kayu bakar dan untuk produksi arang
Residu minyak sawit	Wilayah baru Sumatera: Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, Papua	Tandan buah kosong: 3,4 Serat: 3,6 cangkang sawit: 1,2	67	Cangkang dan serat kelapa sawit adalah sumber bahan bakar umum, TKKS umumnya dibakar

Sumber: Ref. [48]

Pada tahun 2019, diperkirakan Indonesia akan memproduksi 146,7 juta ton biomassa per tahun atau sekitar 470 GJ/tahun. Sumber daya energi biomassa di Indonesia tersebar di seluruh tanah air, namun potensi energi biomassa terbesar dalam skala terpusat terdapat di pulau Kalimantan, Sumatera, Irian Jaya dan Sulawesi. Studi ini memperkirakan potensi pembangkit listrik sekitar 150 juta ton sisa biomassa yang dihasilkan setiap tahun sekitar 50 GW atau setara dengan sekitar 470 GJ/tahun. Studi-studi ini mengasumsikan bahwa sumber utama energi biomassa di Indonesia adalah residu beras dengan potensi energi teknis 150 GJ/tahun. Sumber biomassa potensial lainnya adalah residu kayu karet (120 GJ/tahun), residu pabrik gula (78 GJ/tahun), residu kelapa sawit (67 GJ/tahun) dan jumlah total kayu lapis dan chipboard di bawah 20 GJ/tahun, sisa penebangan, sisa kayu gergajian, sisa kelapa dan limbah pertanian lainnya [49].

Potensi energi biomassa yang ada di Indonesia yaitu diperkirakan sekitar 50GWe [50], sedangkan menurut Ref. [51] kapasitas terpasang (menggunakan energi biomassa) sekitar 1.600 MW. Secara teoritis, penggunaan biomassa secara total dan efisien hampir dapat menggandakan kapasitas saat ini. Menurut pengamatan *Carbon Trust* Tahun 2014 [52], Indonesia tidak hanya menghadapi tantangan energi tetapi juga tantangan nyata dalam hal pengelolaan limbah. Secara umum, sampah organik berpotensi cocok untuk bioenergi dan dapat dibedakan antara limbah kota dan limbah industri. Yang pertama mengacu pada limbah padat yang dihasilkan oleh kegiatan domestik sementara yang kedua meliputi limbah pertanian, residu kayu untuk kegiatan kehutanan dan bahkan keluaran yang dihasilkan oleh agroindustri seperti minyak kelapa sawit dan pabrik gula. Namun, penting untuk ditekankan bahwa potensi bioenergi yang disajikan sebelumnya sesuai dengan energi yang dibuat dengan limbah. Ref. [53], melaporkan bahwa beberapa komoditas menawarkan peluang untuk bioenergi dalam sektor kehutanan dan agroindustri seperti minyak kelapa sawit, padi, tebu, jagung, karet, singkong, dan lain-lain.

Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang melimpah, seperti panas bumi, air, matahari, dan angin, yang saat ini masih kurang dimanfaatkan. Potensi sumber energi terbarukan di Indonesia dan jumlah yang telah dimanfaatkan hingga saat ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Potensi energi terbarukan dan praktik saat ini di Indonesia

Potensi di Gigawatt		Penerapan energi terbarukan pada tahun 2015, total Indonesia		
Terbarukan	Total Indonesia	Kapasitas terpasang (Gigawatt)	Pemanfaatan terbarukan (%)	Sumber
Hidro	75	5.1	6.8%	[54]
				[55]
Penyimpanan yang dipompa hidro	4.3	0	0%	[56],[55]
Mini hidro	19.4	0.2	0.9%	[54],[55]
panas bumi	17.5	1.4	8%	[54],[55]
Biomassa	30	7.4	0.3%	[54],[55]
Tenaga surya	5374	2747	0.2%	[57],[55]
Angin	60.6	24.1	0%	[54],[55]

Sumber: [54, 55, 56, 57]

Tabel 3 menunjukkan potensi sumber energi terbarukan di Indonesia dan jumlah yang telah dimanfaatkan hingga saat ini. Potensi panas bumi dan hidro masing-masing telah dimanfaatkan hingga 8% dan 7%, sementara untuk sisanya, kurang dari 1% telah dimanfaatkan.

3.3 Biomassa sebagai Energi Terbarukan Keberlanjutan Jangka Panjang di Indonesia

Energi terbarukan merupakan komponen terpenting dalam mengatasi masalah perubahan iklim. Bahkan, negara-negara di bawah Perjanjian Paris mengajukan energi terbarukan sebagai solusi untuk mengatasi perubahan iklim yang terjadi saat ini. Implementasi NDC akan menambah setidaknya 1.3 terawatt ke kapasitas terpasang global yang terbarukan. Menurut perkiraan IRENA, untuk mencapai target ini membutuhkan biaya investasi yang cukup besar yaitu sebesar 1700 miliar USD pada Tahun 2030 [58].

Tingginya biaya untuk pemasangan teknologi terbarukan adalah salah satu faktor yang menghambat penyebaran energi terbarukan. Namun, biaya modal dari teknologi energi diketahui menurun dari waktu ke waktu karena perubahan teknologi yang mengurangi biaya [59] [60] [61] [62]. Sebagai negara terpadat keempat di dunia, permintaan listrik di Indonesia diproyeksikan akan tumbuh rata-rata 8.3% per tahun pada dekade berikutnya [56]. Sementara itu, pemerintah Indonesia berjanji untuk mengurangi 29% dari emisi gas rumah kaca terhadap skenario bisnis pada Tahun 2030 [64]. Sementara, pada 2015 energi terbarukan hanya menyumbang 4% dari bauran energi nasional [54], kebijakan energi nasional terbaru (KEN) mengharuskan untuk meningkatkan sebesar 23% pada Tahun 2025 dan 31% pada Tahun 2050 [64]. Dalam konteks sektor listrik, energi terbarukan saat ini menyumbang 10% dari campuran pembangkit listrik nasional [65]. Rencana Bisnis Penyediaan Tenaga Listrik Tahun 2016-2025 (RUPTL) memperkirakan kenaikan biaya unit produksi listrik sebesar 22% untuk merealisasikan target KEN di sektor listrik pada Tahun 2025. Peningkatan tersebut, akan menyebabkan beban pada sektor listrik dan ekonomi nasional. Pembelajaran teknologi dapat mengurangi biaya unit produksi listrik, sehingga membuat investasi dalam teknologi energi terbarukan lebih menarik secara ekonomis.

Kepemimpinan Presiden Jokowi (2019-2024) berupaya untuk memperkuat komitmen pemerintah dalam memulai dan mempercepat pengembangan energi terbarukan. Kepemimpinan sangat penting untuk menyatukan semua cabang pemerintah dalam menetapkan prioritas kebijakan, agenda, dan orientasi BUMN. Hal tersebut memberikan sinyal positif kepada investor dan lembaga keuangan yang kredibel [66].

Tabel 4. Asumsi tingkat pembelajaran teknologi tenaga listrik 2016–2050

Teknologi	Skenario REN-Low LR: Nilai rendah dari tingkat pembelajaran				Skenario REN-Medium LR: Nilai sedang dari tingkat pembelajaran				Skenario REN-High LR: Nilai tinggi dari tingkat pembelajaran			
	awal				awal				tinggi			
	Fase I 2016– 2020	Fase II 2021– 2030	Fase III 2031– 2040	Fase IV 2040– 2050	Fase I 2016– 2020	Fase II 2021– 2030	Fase III 2031– 2040	Fase IV 2040– 2050	Fase I 2016– 2020	Fase II 2021– 2030	Fase III 2031– 2040	Fase IV 2040– 2050
Biomassa	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	11.0%	7.8%	4.4%	1.8%	24.0%	17.0%	9.5%	3.9%

Sumber: [67] [68]

Ketergantungan historis Indonesia pada bahan bakar fosil yang berasal dari sumber daya bahan bakar fosil yang melimpah, terutama batubara. Cadangan batu bara negara ini diperkirakan sebanyak 88,6 miliar ton setara minyak (toe), gas alam nasional dan cadangan minyak masing-masing sebesar 3,9 dan 0,5 miliar toe [55]. Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang berlimpah. Meskipun memiliki potensi besar, Indonesia masih tertinggal dari negara lain dalam pengembangan energi terbarukan. Pada 2017, total kapasitas terpasang energi terbarukan di negara ini hanya mencapai sekitar 9 GW [56].

NEP 2014 mengusulkan target energi baru dan terbarukan (NRE) yang ambisius untuk meningkatkan peran energi terbarukan. Sasaran NRE terkait dengan dua tahap. Tahap 1, pada Tahun 2025, bagian NRE setidaknya harus mencapai 23% dari bauran energi nasional. Tahap 2, pada Tahun 2050, bagian NRE setidaknya harus mencapai 31% dari bauran energi nasional. NEP juga menyebutkan bahwa aspek ekonomi dari energi terbarukan dipertimbangkan dalam mencapai targetnya [69]. Selain itu, NEP juga menganggap nuklir sebagai energi alternatif untuk mencapai target NRE-nya, meskipun itu adalah opsi terakhir setelah memaksimalkan penggunaan sumber energi terbarukan.

Secara global, untuk mengembangkan strategi energi biomassa di Indonesia adalah dengan mengkategorikan proyek tergantung pada orientasi spesifik mereka. Oleh karena itu, strategi dapat dibagi atas tiga, yaitu (1) biomassa untuk energi rumah tangga, (2) power biomassa untuk daya, dan (3) biofuel untuk transportasi. Program saat ini untuk mendukung energi rumah tangga tetap dalam skala kecil, sementara proyek biomassa untuk listrik yang lebih besar telah dilakukan yaitu dengan gasifikasi dan pembakaran biomassa. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan biofuel seperti biodiesel yang dapat menggantikan bahan bakar fosil di pembangkit listrik diesel yang terletak di daerah terpencil tanpa akses ke jaringan listrik [70].

Penurunan produksi energi fosil, terutama minyak mentah, dan upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca telah mendorong pemerintah untuk mencari sumber energi baru secara berkelanjutan guna menjaga ketahanan dan kemandirian energi, serta peran energi terbarukan. Sesuai Perpres Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Energi baru dan terbarukan menjadi target bauran energi primer di Indonesia. Indonesia bekerja keras untuk mencapai target tersebut, dengan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi primer menjadi ke-23 pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Pada tahun 2017, energi terbarukan hanya menyumbang 8% dari bauran energi utama negara, dengan 92% sisanya ditutupi oleh bahan bakar fosil. Tren yang sama terlihat di sektor ketenagalistrikan Indonesia, di mana pangsa energi terbarukan hanya mencapai 12% pada tahun 2017, namun bahan bakar fosil terus mendominasi sektor tersebut, menghasilkan 88% listrik negara. .. Investasi energi terbarukan di Indonesia adalah \$1,3 miliar pada 2017, turun 17% dibandingkan dengan \$1,57 miliar pada tahun sebelumnya [71]. Pasokan energi biomassa di Indonesia dari 2008 hingga 2018 dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Gambar 7 menunjukkan pasokan energi biomassa di Indonesia dalam rentang sepuluh tahun terakhir (2008-2018). Negeri ini memiliki potensi energi biomassa yang sangat tinggi, karena Indonesia memiliki hutan yang sangat luas, sektor pertanian yang menjanjikan, sektor perkebunan dengan keberagaman komoditi, dan sebagainya. Namun demikian, pemerintah Indonesia cenderung masih menemui banyak kendala dalam menentukan langkah-langkah konkret dalam produksi energi biomassa. Untuk itu, pencapaian target energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 membutuhkan kerja sama dari semua pihak, terutama pemangku kepentingan.



Gambar 7. Pasokan energi biomassa di Indonesia dari 2008 hingga 2018 (dalam juta barel setara minyak)

Sumber: J. Müller, 2019 [72]

4. Kesimpulan

Dalam beberapa tahun terakhir, pemerintah ASEAN telah menciptakan banyak skema jangka pendek untuk mengembangkan energi terbarukan di dalam kawasan. Negara-negara di ASEAN, termasuk Indonesia sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan sebesar 23% pada Tahun 2025. Negara-negara Asia Tenggara memiliki banyak potensi dalam hal sumber energi berkelanjutan. Energi terbarukan dari matahari, biomassa hingga angin memiliki potensi besar di kawasan ini. Namun, ASEAN belum melakukan secara global dalam penyebaran energi terbarukan karena terdapat berbagai tantangan.

Agar dapat memenuhi target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN harus mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil. Sementara Indonesia sebagai pemimpin ASEAN, harus lebih proaktif dalam mengembangkan potensi energi biomassa sebagai energi terbarukan, baik dalam skala regional maupun global. Pada tahun 2019, diperkirakan Indonesia akan menghasilkan 146,7 juta ton biomassa per tahun, atau sekitar 470 GJ/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan energi pada skala rumah tangga, industri, dan global, maka Indonesia harus beralih dari energi fosil yang semakin menipis cadangannya ke energi terbarukan yang terus tersedia dialam. Namun demikian, dalam hal penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan tetap harus memperhatikan kelestarian lingkungan

5. Referensi

- [1] W. Zheng and P. P. Walsh (2019). Economic growth, urbanization and energy consumption — A provincial level analysis of China, *Energy Econ.*, vol. 80, pp. 153–162, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.01.004>.
- [2] A. Österberg (2022). The European Union and its economic relations with Russia between 1992 - 2022 : A case study of the energy dependency through the approach of the taxonomy of power, Dissertation.
- [3] Faninger, G., (2012). Economic Perspectives of Renewable Energy Systems Present Contribution of Renewables to Energy Supply, Renewable Energy Sources and Technologies, Assessment of Renewable Energy Technologies, Key European Renewable Energy R&D, Forecast for Renewables. Pp. 1-119.
- [4] Park, E., (2017). Potentiality of renewable resources: economic feasibility perspectives in South Korea. *Renew. Sust. Energi. Rev.* 79, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.043>
- [5] Adams, S., Klobodu, E.K.M., Apio, A., (2018). Renewable and non-renewable energy, regime Type and economic growth. *Renew. Energy* 125, 755–767. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.135>.
- [6] Šahović, N., Da Silva, P.P., (2016). Community renewable energy - research perspectives -research P. *Energy Procedia* 106, 46–58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.104>
- [7] Dimzon, I.K.D., Morata, A.S., Müller, J., Yanela, R.K., Lebertz, S., Weil, H., Perez, T.R., Müller, J., Dayrit, F.M., Knepper, T.P., (2018). Trace organic chemical pollutants from the lake waters of San Pablo City, Philippines by targeted and non-targeted analysis. *Sci.Total Environ.* 639, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.217>
- [8] Xu, R., Tie, X., Li, G., Zhao, S., Cao, J., Feng, T., Long, X., (2018). Effect of biomass burning on black carbon (BC) in South Asia and Tibetan Plateau: the analysis of WR F-Chem modeling. *Sci. To tal Environ.* 645 , 901–912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.165>.
- [9] Nadia Singh, Richard Nyuur and Ben Richmond, (2019). Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis, *Sustainability*, 11, 2418; doi:10.3390/su11082418.
- [10] S. Mujiyanto and G. Tiess (2013). Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy, *Energy Policy*, vol. 61, pp. 31–41, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.119>.
- [11] Diputra, E.M., Jungho, B. (2018). Is growth good or bad for the environment in Indonesia? *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(1), 1-4.
- [12] Siti Inayatul Faizah and Uus Ahmad Husaeni (2018). Development of Consumption and Supplying Energy in Indonesia's Economy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2018, 8(6), 313-321.
- [13] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01649134/document> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [14] <https://www.boell.de/en/2017/08/02/renewable-energy-asean> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [15] ASEAN Centre for Energy (2015). ASEAN Plan of Action for Energy Cooperation 2016-2025 (APAEC).

- [16] <http://www.aseanenergy.org/resources/publications/asean-plan-of-action-for-energy-cooperation-apaec-2016-2025/> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [17] <http://re-guidelines.info/> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [18] IEA (2021). Energy Statistics Data Browser, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>.
- [19] F. Birol, "Southeast Asia Energy Outlook (2019). Int. Energy Agency, no. October, p. 199, 2019, [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2019#>.
- [20] <https://www.gamespot.com/forums/offtopic-discussion-314159273/8-countries-with-no-natural-resource-but-thrive-to-29364331/> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [21] <http://www.evwind.es/2015/07/21/cambodia-has-big-renewable-energy-potential/53444> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [22] <https://www.export.gov/article?id=Brunei-oil-and-gas-extraction> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [23] <https://www.export.gov/article?id=Brunei-oil-and-gas-extraction> diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
- [24] Erdiwansyah, R. Mamat, M.S.M. Sani, K. Sudhakar (2019). Renewable energy in Southeast Asia: Policies and recommendations. Science of The Total Environment, Elsevier, Volume 670, 20 June 2019, Pages 1095-1102.
- [25] Maw Maw Tun and Dagmar Juchelkova (2019). Biomass Sources and Energy Potential for Energy Sector in Myanmar: An Outlook. *Resources* 2019, 8(2), 102; <https://doi.org/10.3390/resources8020102>
- [26] Carlos, R.M.; Khang, D.B., (2010). Characterization of Biomass Energy Projects in Southeast Asia. *Biomass Bioenergy*, 32, 525–532. [CrossRef]
- [27] Klimowicz, G. Southeast Asia Set for Biomass Boom. Available online: <https://www.eco-business.com/news/southeast-asia-set-biomass-boom/> (accessed on 23 March 2020).
- [28] Zafar, S., (2022). Bioenergy Perspectives for Southeast Asia. Available online: <https://www.bioenergyconsult.com/bioenergy-southeast-asia/> (accessed on 23 March 2020)
- [29] FAO., (2004). Unified Bioenergy Terminology. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [30] E. R. Coffey et al., (2017). New Emission Factors and Efficiencies from in-Field Measurements of Traditional and Improved Cookstoves and Their Potential Implications," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 21, pp. 12508–12517, Nov. 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b02436.
- [31] www.asiabiomass.jp/english/topics/1209_01.html
- [32] Putera, P B., Hermawati, Wati Poerbosisworo, I. R., (2015). The trend of technological development of biomass gasification: compare several country. *JSTI*.
- [33] Sapuan Dani and Aditya Wibawa (2018). Challenges And Policy For Biomass Energy In Indonesia. *International Journal of Business, Economics and Law*, Vol. 15, Issue 5 (April) ISSN 2289-1552
- [34] BP Statistics (2014). BP Statistical Review of World Energy, 2014. Accessed online March 23, 2020 at <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>
- [35] EIA (2014). Indonesia – Overview. Last updated March 5, 2014. Accessed online March 23, 2020 at <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Indonesia/indonesia.pdf>
- [36] Asia Biomass Office (2020). Forest Resources in ASEAN Countries. Available online: https://www.asiabiomass.jp/english/topics/1111_04.html (accessed on 23 March 2020).
- [37] Prastowo, B., (2012). Biomass Resource in Indonesia: Indonesia's Solid Biomass Energy Potential. In *Proceedings of the Indonesia-German Workshop and Seminar*, Institute Technology of Bandung, Kota Bandung, Indonesia, 26–27 September 2012; pp. 1–15.
- [38] Zafar, S., (2020). Biomass Energy in Indonesia. Available online: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energyresources-in-indonesia/> (accessed on 23 March 2020).
- [39] Bracmort, K. (2010). Biomass feedstocks for biopower: Background and selected issues. Book.
- [40] Mujiyanto, S., (2013). Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy, *Energy Policy*, vol 61, p. 31-41.
- [41] Singh R, Setiawan A., (2013). Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, p.332-345.
- [42] <https://www.eco-business.com/news/power-play-whos-winning-southeast-asias-renewables-race/>

- [43] IRENA, International Renewable Energy Agency (2018). Renewable Capacity Statics, vol. 47, no. 4. Abu Dhabi.
- [44] Eco-Business Special Report (2019). Power play—who's winning Southeast Asia's renewables race? <https://www.eco-business.com/news/power-play-whos-winning-southeast-asias-renewables-race/>
- [45] Polkinghorne, J. (2017). The death of coal? Greater Auckland, 13 March. <https://www.greeterauckland.org.nz/2017/03/13/the-death-of-coal/>.
- [46] Idris, M. (2016). Harga Batu Bara Terus Anjlok, Banyak Perusahaan Tambang Gulung Tikar. detikfinance. <https://finance.detik.com/rea d/2016/07/31/183946/3265386/1034/harga-batu-bara-terus-anjlokbanyak-perusahaan-tambang-gulung-tikar>
- [47] Katakey, R. (2017). World coal production just had its biggest drop on record. Bloomberg, 13 June. <https://www.bloomberg.com/news/ articles/2017-06-13/coal-s-era-starts-to-wane-as-world-shifts-to-cleaner-energy>.
- [48] Zalfiatri et al., (2017). Potensi Energi Teoritis dan Teknis dari Residu Pertanian di Kabupaten Kuantan Singingi.
- [49] Salman Zafar (2019). Biomass Energy in Indonesia. <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-resources-in-indonesia/> diakses pada Tanggal 19 Maret 2020
- [50] ESDM (2011). Bioenergy potential in Indonesia reached 49.810 MW. Last update May 24, 2011. Accessed online March 23, 2020 at <http://www.esdm.go.id/index-en/83-energy/4536-bioenergy-potential-in-indonesia-reached-49810-mw.html>
- [51] Faizal (2011). Biomass potential and utilization in Indonesia. Presented at “The 8th Biomass Asia Workshop”. Accessed online March 20, 2020 at <http://www.biomass-asia-workshop.jp/biomassws/08workshop/files/5Biomass%20Potential...%20in%20Indonesia.pdf>
- [52] Carbon Trust (2014). Waste to energy in Indonesia. Accessed online March 23, 2020 at <<http://www.carbontrust.com/news/2014/06/waste-to-energy-in-indonesia>>.
- [53] Conrad, L., & Prasetyaning, I. (2014). Overview of the Waste-to-Energy Potential for Grid-connected Electricity Generation (Solid Biomass and Biogas) in Indonesia. Accessed online October 24, 2014 at https://mail.energypedia.info/images/archive/7/7d/20140516114837!GIZ_2014,Biogas_in_Ghana_Sector_Analysis_of_Potential_and_Framework_Conditions.pdf
- [54] DEN (2016a). Indonesia Energy Outlook 2016. National Energy Council. Retrieved from <<http://www.den.go.id/index.php/publikasi/index/EnergyOutlook>>
- [55] DJK ESDM (2016). Statistik Ketenagalistrikan 2015 (29 Fiscal). Directorate General of Electricity, Ministry of Energy and Mineral Resources, Jakarta, Indonesia. Retrieved from <http://www.djk.esdm.go.id/pdf/BukuStatistikKetenagalistrikan/StatistikKetenagalistrikanT.A.2016.pdf>
- [56] PLN (2017a). Electricity Supply Business Plan 2017–2026 (RUPTL).
- [57] Kunaifi, K., Reinders, A., (2016). Opportunities for Photovoltaic Solar Energy Systems in Indonesia. WREC-15.
- [58] IRENA (2017). Untapped Potential for Climate Change Action: Renewable Energy in Nationally Determined Contributions. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from <<http://www.irena.org/publications/2017/Nov/Untapped-potential-for-climate->
- [59] IRENA (2012). Renewable Energy Technologis: Cost Analysis Series. Biomass for Power Generation (Vol. 1). Abu Dhabi. Retrieved from <http://www.irena.org/Publications/Publications.aspx?Mnu=cat&PriMenuID=36&CatID=141&type=all>.
- [60] F. Lafond, A. Gotway Bailey, J. DavidBakker, D. Rebois, R. Zadourian, P. McSharry, J. Doyne (2017). Farmer How Well Do Experience Curves Predict Technological Progress? A Method for Making Distributional Forecasts (2017), 10.1016/j.techfore.2017.11.001
- [61] E. S. Rubin, I. M. L. Azevedo, P. Jaramillo, and S. Yeh (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies, Energy Policy, vol. 86, pp. 198–218, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011>.
- [62] E.S. Rubin, I.M.L. Azevedo, P. Jaramillo, S. Yeh (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies. Energy Policy, 86 (2015), pp. 198-218, 10.1016/j.enpol.2015.06.011
- [63] Government of The Republic of Indonesia (2016). First Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. Retrieved from <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/IndonesiaFirst/FirstNDCIndonesia_submittedtoUNFCCCSet_November2016.pdf>.

- [64] Government of The Republic of Indonesia (2014). Government Regulation of Republic of Indonesia No. 79 Year 2014 regarding National Energy Policy.
- [65] PLN (2016b). PLN Management Report.
- [66] IESR (2019). Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing 2018, Outlooking 2019.
- [67] E.S. Rubin, I.M.L. Azevedo, P. Jaramillo, S. Yeh. A review of learning rates for electricity supply technologies. *Energy Policy*, 86 (2015), pp. 198-218, [10.1016/j.enpol.2015.06.011](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011)
- [68] OECD/IEA (2017). World Energy Outlook - World Energy Model. Retrieved from <<http://www.worldenergyoutlook.org/weomodel/>> .
- [69] Government of The Republic of Indonesia (2014). Government Regulation of Republic of Indonesia No. 79 Year 2014 regarding National Energy Policy.
- [70] Singh, R., & Setiawan, A. D., (2013). Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 332-345.
- [71] IESR (2018). Igniting A Rapid Deployment Of Renewable Energy In Indonesia: Lessons Learned from Three Countries.
- [72] J. Müller (2019). <https://www.statista.com/statistics/990992/biomass-energy-supply-indonesia/> diakses pada 25 Maret 2020