

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 *Load Profile dan Energy Mix*

Fluktuasi permintaan daya selama periode waktu tertentu disebut sebagai profil beban listrik. Hal ini memperlihatkan jumlah daya yang digunakan selama hari, minggu, bulan, atau tahun. Selain penting untuk perencanaan sistem tenaga, manajemen jaringan [29], dan distribusi sumber daya energi, profil beban sangat penting untuk memahami bagaimana listrik digunakan oleh konsumen dan industry [30]. Berbagai pola penggunaan daya harian ditampilkan di profil beban. Profil beban seringkali memiliki puncak dan penurunan yang hampir serupa. Ketika orang bangun dan menggunakan alat listrik pada waktu yang berbeda dalam sehari, permintaan listrik biasanya mencapai puncaknya [31]; pada saat aktivitas menurun, seperti pada malam hari dan menjelang pagi, maka penggunaan daya akan cenderung menurun. Selain itu, ada fluktuasi konsumsi daya tergantung pada apakah itu hari kerja atau akhir pekan dan sepanjang tahun.

Istilah *Mix Energy* atau bauran energi mengacu pada komposisi dari berbagai sumber energi yang digunakan di suatu negara, wilayah, atau daerah tertentu dalam rangka memenuhi kebutuhan energi. Hal ini memberikan gambaran tentang jenis dan persentase sumber energi yang berkontribusi terhadap pasokan energi secara keseluruhan. Bauran energi dapat mencakup persentase listrik yang dihasilkan dari sumber seperti batu bara, gas alam, nuklir, air, matahari, angin, biomassa dan sumber energi terbarukan lainnya. Komposisi bauran energi dapat sangat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti lokasi geografis, ketersediaan sumber daya alam, kebijakan pemerintah [32], kemajuan teknologi

[33], dan pertimbangan lingkungan [34]. Bauran energi merupakan indikator penting bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan energi karena mencerminkan kemajuan dan komitmen menuju transisi ke sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Negara dan wilayah sering menetapkan target untuk mencapai persentase tertentu dari energi terbarukan dalam bauran energi mereka sebagai bagian dari upaya mereka untuk memerangi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca [35]. Singkatnya, "sistem energi campuran" melibatkan pengintegrasian berbagai sumber energi dan teknologi untuk menciptakan pasokan energi yang seimbang dan berkelanjutan, sedangkan "campuran energi" mewakili proporsi berbagai sumber energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi secara keseluruhan di wilayah atau negara tertentu.

2.2 Bioenergi sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi yang berkelanjutan, ramah lingkungan dan mampu untuk mengurangi emisi karbon yang terjadi. Bioenergi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang layak untuk dikembangkan. Bioenergi berbentuk biomassa cair, gas, atau padat yang dapat bervariasi menyesuaikan kebutuhan. Produk bioenergi terus dikembangkan mulai dari *woodchip*, wood pellet, DME, biomethanol, biodiesel, biobuthanol, dan sebagainya. Tujuan dikembangkannya bioenergi antara lain untuk mengurangi emisi GRK dan meningkatkan kualitas lingkungan. Potensi bioenergi untuk listrik dapat ditemukan dari hasil Hutan Tanaman Industri, dimana berbagai sumberdaya seperti kayu, singkong, sekam padi dan lain-lain bisa dibuat menjadi pellet atau LPG untuk dijadikan pembangkit biomassa atau mengganti sebagian bahan bakar fosil atau diesel dengan biomassa yang akan mengurangi emisi dan impor bbm. Bioenergi adalah sumber energi terbarukan yang layak dan berkelanjutan, berkarakter karbon netral, berpotensi tinggi untuk produksi energi, berdampak positif terhadap kelestarian lingkungan dan menjadi bagian terpenting pada transisi energi global. Tetapi agar bioenergi berhasil diintegrasikan dan dipraktikkan, harus ada perencanaan yang menyeluruh, pilihan yang terinformasi dengan baik, dan perbaikan kebijakan dan teknologi yang

berkelanjutan. Kita dapat menggerakkan masyarakat menuju masa depan energi yang lebih bersih, lebih hijau, dan lebih berkelanjutan dengan mengadopsi bioenergi sebagai alternatif energi terbarukan.

2.2.1 Biofuel, Kelebihan dan Kekurangannya

Guo et al. [36] menyampaikan bahwa kebijakan mengenai kemandirian energi dan perubahan iklim saat ini mendorong pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan seperti bioenergi. *Biofuel* dalam bentuk padat, cair, dan gas telah diteliti, diproduksi, dan digunakan secara intensif selama 15 tahun terakhir. Energi yang tersimpan dalam biomassa yang diproduksi setiap tahun oleh tanaman adalah 3-4 kali lebih besar dari permintaan energi global saat ini. *Biofuel* padat termasuk kayu bakar, *woodchip*, pelet kayu, dan arang kayu. Konsumsi global kayu bakar dan arang relatif konstan, tetapi penggunaan *woodchip* dan pelet kayu untuk pembangkit listrik (biopower) dan pemanas rumah meningkat dua kali lipat dalam dekade terakhir dan akan terus meningkat di masa depan. Biofuel cair mencakup bioetanol, biodiesel, bio-oil pirolisis, dan bahan bakar transportasi *drop-in*. Produksi komersial bioetanol dari bahan lignoselulosa baru saja dimulai, mampu menambah pasokan tahunan sebesar 22 miliar galon terutama dari tanaman pangan. Biodiesel dari biji minyak mencapai kapasitas produksi 5670 juta galon/tahun, dengan peningkatan lebih lanjut tergantung pada pengembangan bahan baku baru. Bio-oil dan biofuel drop-in masih dalam tahap pengembangan, menghadapi tantangan konversi dan peningkatan yang hemat biaya. Biofuel gas meluas ke biogas dan syngas. Produksi biogas dari limbah organik dengan pencernaan anaerobik telah meningkat pesat di Eropa dan China, dengan potensi untuk menggantikan 25% dari konsumsi gas alam saat ini. Sebagai perbandingan, produksi syngas dari gasifikasi biomassa kayu tidak kompetitif dalam hal biaya dan oleh karena itu belum dapat berkembang. Secara keseluruhan, pengembangan dan pemanfaatan bioenergi dan biofuel secara global akan terus meningkat, khususnya di sektor biopower, bioetanol lignoselulosa, dan biogas. Diharapkan pada tahun 2050 bioenergi akan menyediakan 30% dari kebutuhan energi dunia. *Woodchip* semakin banyak digunakan dalam co-firing untuk pembangkit listrik sejak awal abad ke-21. Pembangkitan listrik di dunia dari *woodchip* diperkirakan

meningkat dua kali lipat dari 70 GW pada tahun 2010 menjadi 145 GW pada tahun 2020. Karena kemudahan penanganan dan kadar air yang lebih rendah, pelet kayu menjadi semakin populer digunakan untuk pemanasan di perumahan di negara maju. Produksi dunia untuk pellet kayu diproyeksikan meningkat dari 15,4 juta ton pada tahun 2010 menjadi 45,2 juta ton pada tahun 2020.

Tabel 2-1 Kelebihan dan Kekurangan dari Biofuel

Biofuel	Keuntungan	Kekurangan	
Solid	Firewood	<i>Renewable</i> , available, murah, energi efisien.	<i>Bulky</i> , densitas energi rendah, resiko tinggi untuk pembakaran tidak sempurna, tdk cocok untuk burner otomatis.
	Woodchip	Mudah dalam transportasi, penanganan, dan penyimpanan dibandingkan dengan Firewood; rendah emisi SO ₂ dan NO ₂ dibandingkan batubara.	Biaya cacah kayu, terjadi pembusukan saat penyimpanan, <i>bulky</i> dan densitas energi rendah dibandingkan batubara, <i>ash slagging</i> dan <i>fouling</i> , kurang cocok untuk pembakaran sempurna.
	Wood Pellet	Mudah dalam transportasi, penanganan, dan penyimpanan; rendah emisi SO ₂ dan NO ₂ ; sesuai untuk pembakaran sempurna.	Biaya produksi tinggi; kandungan energi lebih rendah dari batubara; digunakan hanya pada burner bahan bakar padat.
	Charcoal	Stabil, kandungan energi tinggi, pembakaran bersih.	Biaya produksi tinggi; bulky, biaya transportasi tinggi, tdk dapat digunakan pada burner bahan bakar cair dan gas.
Liquid	Jagung/ gula ethanol	<i>Renewable</i> menggantikan bensin; rendah emisi pembakaran; system produksi terbukti.	Rendah energi efisiensi; korosif; bersaing dengan pangan dan pakan.
	Cellulosic Ethanol	Bahan bakar alternative dari biomassa bukan pangan.	Rendah energi efisiensi; boros biaya.
	Biodiesel	<i>Renewable</i> menggantikan minyak diesel; system produksi mapan.	Bersaing dengan produksi pangan; korosif; biaya produksi besar.
	Pyrolysis	<i>Renewable feedstock</i> ;	Perlu <i>upgrading</i> sbilm

	bio -oil.	teknologi sederhana; feedstock;	konversi Renewable	digunakan; <i>upgrading</i> belum sempurna.	teknik
	Drop-in fuel	<i>Renewable</i> pengganti bensin; dengan system bahan bakar yang ada.	<i>feedstock</i> ; cocok	Teknologi belum matang dan rumit; biaya tinggi.	
Gas	Biogas	Berasal dari limbah organic, feedstock luas; dengan grid gas alam.	cocok	Biasanya untuk pedesaan; membutuhkan feedstock yang intensif dan pembuangan limbah.	
	Syngas	Teknologi matang; feedstock untuk industry.	sebagai kimia	Char dan bio-oil sebagai bioproduct; membutuhkan persyaratan ketat untuk bahan baku.	

2.2.2 Biomassa Kayu sebagai Sumber Bahan Bakar Listrik.

Istilah "biomassa" mengacu pada bahan yang berasal dari makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, dan produk limbah yang dihasilkannya (seperti sisa tanaman dan sampah kebun). Biomassa adalah sumber energi terbarukan berdasarkan siklus karbon, berbeda dengan sumber alam lainnya seperti minyak bumi, batu bara, dan bahan bakar nuklir. Bahan bakar yang dihasilkan dari biomassa dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Teknologi pembangkit tenaga listrik berbasis biomassa, seperti diketahui bersama dipergunakan untuk *direct combustion* pada boiler, pada *Biomass Power Plant* atau *co-firing* pembangkit PLTU batubara, namun juga dimanfaatkan untuk gasifikasi. Biomassa layak dimanfaatkan untuk menggantikan bahan bakar fosil untuk masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Berada di garda depan transisi energi global karena sifatnya yang terbarukan dan "very promising" untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Kata "biomassa" mencakup berbagai sumber daya organik dengan potensi yang sangat besar sebagai bahan baku energi, seperti limbah hutan, hasil pertanian, dan tanaman energi khusus.

Beberapa studi menunjukkan berbagai macam faktor yang mempengaruhi penyediaan biomassa sebagai sumber energi listrik. Zhao et al. [37] dalam studinya menunjukkan bahwa di antara berbagai sumber biomassa, listrik yang berasal dari sumber pertanian dan biomassa kehutanan adalah yang paling disukai, diikuti oleh biogas listrik dan *waste to energy*. Juga ditemukan bahwa responden memiliki kemauan yang signifikan untuk membayar untuk mengurangi polusi Struktur dan lingkungan rumah tangga konsumen, kesadaran lingkungan juga mempengaruhi preferensi mereka untuk listrik biomassa. Hasil ini memiliki pengaruh yang signifikan dalam penentuan prioritas, desain dan komunikasi skema promosi biomassa. Gielen et al. [38] menyampaikan studi yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa terutama untuk energi terbarukan lebih banyak upaya yang dibutuhkan. Dibandingkan dengan *Business as Usual*, dibutuhkan percepatan pertumbuhan energi terbarukan sebesar enam kali lipat. Dari sisi *supply*, Energi yang berasal dari angin, *PV* surya, bioenergi modern, dan panas matahari dapat berkontribusi besar pada pertumbuhan energi terbarukan. Bagian dari variabel pembangkit listrik terbarukan ini membutuhkan pergeseran paradigma dalam sektor energi [39]. Guo et al. [36] menyatakan bahwa kebijakan mengenai kemandirian energi dan perubahan iklim saat ini mendorong pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan seperti bioenergi. Energi yang tersimpan dalam biomassa yang diproduksi setiap tahun oleh tanaman adalah 3-4 kali lebih besar dari permintaan energi global saat ini. Biofuel padat termasuk kayu bakar, *woodchip*, pelet kayu, dan arang kayu. Konsumsi global kayu bakar dan arang relatif konstan, tetapi penggunaan *woodchip* dan pelet kayu untuk pembangkit listrik (biopower) dan pemanas rumah meningkat dua kali lipat dalam dekade terakhir dan akan terus meningkat di masa depan. Sebagai perbandingan, produksi syngas dari gasifikasi biomassa kayu tidak kompetitif dalam hal biaya dan oleh karena itu belum dapat berkembang. Secara keseluruhan, pengembangan dan pemanfaatan bioenergi dan biofuel secara global akan terus meningkat, khususnya di sektor biopower, bioetanol lignoselulosa, dan biogas. Diharapkan pada tahun 2050 bioenergi akan menyediakan 30% dari kebutuhan energi dunia. *Woodchip* semakin banyak digunakan dalam *co-firing* untuk pembangkit listrik sejak awal abad ke-21. Pembangkitan listrik di dunia dari *woodchip* diperkirakan

meningkat dua kali lipat dari 70 GW pada tahun 2010 menjadi 145 GW pada tahun 2020.

2.3 Pengaruh *Moisture Content Woodchip*

Kebutuhan akan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan semakin mendesak seiring dengan meningkatnya konsumsi energi dunia. Sumber energi terbarukan yang mungkin adalah biomassa, yang terbuat dari unsur organik termasuk tanaman, limbah pertanian, dan limbah organik. Untuk mengoptimalkan potensinya, salah satu faktor yang menjadi bagian penting adalah *moisture content*, yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja dan efisiensi pada suatu pembangkit tenaga listrik. Dalam proses pembakaran pada suatu boiler, *moisture content* dari *woodchip* berperan sangat penting [40]. Secara langsung dapat mempengaruhi efisiensi [41], keluaran energi [42], dan dampak lingkungan dari pembakaran *woodchip* untuk berbagai keperluan, seperti pembangkit panas atau pembangkit tenaga listrik [43].

Pedisius et al. [44] menyebutkan bahwa *moisture content* bahan bakar juga dapat sangat bervariasi dari 5 hingga 55% dan memengaruhi properti lainnya, seperti *calorific value*. Informasi yang akurat tentang properti bahan bakar penting dalam menetapkan harga, menilai jumlah energi yang direncanakan untuk diproduksi, dan memilih properti yang tepat bahan bakar untuk pembakaran yang efisien. Pemasok bahan bakar dan produsen energi membutuhkan informasi tentang *woodchip* berupa: *moisture content*, *calorific value*, *ash content*, tergantung pada komposisi *woodchip*, kondisi cuaca, dan lokasi geografis. Ini diperlukan untuk membuat keputusan yang tepat terkait dengan pembelian, penyimpanan, dan system pembakaran yang efisien.

2.4 *Drying Woodchip*

Di antara berbagai bentuk biomassa, *woodchip* mendapat perhatian luas karena kelimpahan dan kemudahan pengadaannya. Ini berasal dari berbagai sumber, seperti limbah penggergajian kayu, pemanenan hutan, limbah pertanian, dan limbah kayu perkotaan, menjadikannya bahan baku serbaguna untuk produksi energi berbasis biomassa. Disamping potensinya yang dianggap cukup besar,

salah satu karakter alami dari *woodchip* adalah *moisture content* yang tinggi. yang menimbulkan tantangan signifikan terhadap konversinya yang efisien menjadi energi [45]. *Moisture content*, didefinisikan sebagai rasio massa air terhadap massa total *woodchip*, berdampak langsung pada proses pembakaran, pembangkitan panas, dan hasil energi keseluruhan.

Pengeringan *woodchip* merupakan langkah penting dalam meningkatkan kelangsungan hidup dan keberlanjutan produksi energi biomassa. Dengan mengurangi kadar airnya ke tingkat optimal, densitas energi meningkat, menghasilkan peningkatan efisiensi pembakaran dan pengurangan emisi. Selain itu, proses pengeringan meningkatkan daya simpan dan penanganan serpihan kayu, memfasilitasi pengangkutannya ke fasilitas energi sambil meminimalkan kerugian akibat pembusukan atau fermentasi. Permintaan akan energi terbarukan yang bersih, hijau dan berkelanjutan tentunya terlihat semakin meningkat, maka pengeringan *woodchip* menghadirkan peluang untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya biomassa yang berharga ini. Dengan mengatasi tantangan *moisture content*, potensi *woodchip* sebagai bahan baku energi yang andal dan lebih bersih akan terbuka lebar, berkontribusi pada masa depan energi yang lebih berkelanjutan dan tangguh.

Lee [27] dalam studinya menyatakan bahwa biomassa adalah merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan berkelanjutan. Salah satu factor yang mempengaruhi penurunan *moisture content* adalah ukuran dari *woodchip*. Studi yang dilakukannya membuktikan ukuran *woodchip* yang kecil mempercepat proses penurunan *moisture content* dari 40% - 10% sebesar 81% lebih cepat dibandingkan dengan *woodchip* berukuran besar. Guidice et al. [45] menyatakan bahwa parameter teknis pada proses pengeringan *woodchip* dipengaruhi oleh karakteristik dari biomassa. *Moisture content*, ukuran *woodchip* dan *bulk density* menentukan kondisi dari kebutuhan temperatur, *flow rate* dan kecepatan udara masuk pada *dryer*.

2.5 Ekonomi, Keuangan dan Transisi Energi

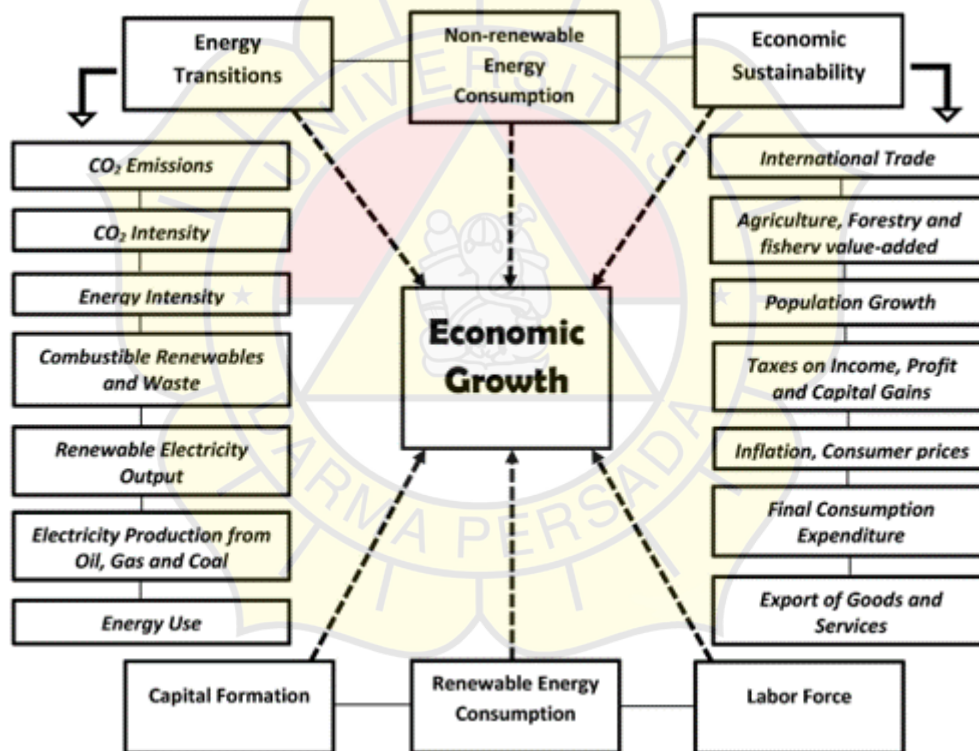
2.5.1 Pembiayaan dan Transisi Energi

Berbicara tentang biomassa sebagai salah satu sumber energi terbarukan, tentunya tidak dapat dipisahkan dari *energy transition*. Qadir et al. [46] melakukan kajian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi transisi energi terbarukan, menguraikan status RE (*Renewable Energy*) saat ini, dan membahas hambatan yang dihadapi oleh individu, perusahaan, dan lembaga pemerintah terkait. Studi ini juga menyoroti pentingnya partisipasi pemangku kepentingan dalam pembuatan kebijakan, menawarkan alternatif pajak karbon, dan konektivitas jaringan global untuk mencapai RET (*Renewable Energy Transition*). Faktor pembiayaan telah menjadi rintangan utama dalam mewujudkan RET. Ketika beberapa kebijakan dan strategi telah disusun, masih terdapat celah yang perlu disikapi dengan tindakan yang lebih cepat. Kesenjangan pembiayaan ini dapat dikurangi dengan melibatkan lembaga keuangan dalam memberikan dukungan kepada masyarakat yang bersedia berinvestasi di ET dalam bentuk misalnya pinjaman lunak atau penciptaan, dan memfasilitasi *platform crowdfunding* dan *crowdsourcing*. Dalam hal ini, peran yang dimainkan oleh perusahaan minyak internasional dan perusahaan teknologi seperti Amazon akan terus mempengaruhi laju RET. Sementara insentif dan strategi yang ditargetkan telah terbukti secara konstruktif dalam mendorong implementasi proyek ET, desain insentif optimal yang ditujukan untuk individu, perusahaan, dan pemerintah, dengan cara yang memperhitungkan semua eksternalitas terkait ET, adalah kunci keberhasilan RET. Kurangnya kesadaran publik tentang manfaat ET dan kesalahpahaman terkait dengan cicilan terkait dan biaya operasional telah berkontribusi pada keengganan investor individu dan perusahaan serta konsumen energi untuk melakukan perubahan ini. Oleh karena itu, kesadaran akan berbagai aspek teknologi ET dan penggunaannya harus menjadi yang terdepan dalam semua kebijakan energi untuk mendorong investasi dalam ET untuk masa depan yang lebih bersih. Pada beberapa tahun lalu, konsumsi bahan bakar fosil berkurang karena pandemi COVID-19, dan *lockdown* di seluruh dunia telah menyebabkan anjloknya harga minyak dan gas. Dengan kondisi negara-negara yang mulai terbuka, tindakan yang diperlukan

harus diambil untuk memastikan bahwa pergeseran paradigma ke ET tidak berjalan terbalik.

2.5.2 Pertumbuhan Ekonomi dalam Transisi Energi

Khan et al. [47] menganalisis bahwa sektor energi menyumbang bagian yang signifikan dari pertumbuhan ekonomi suatu negara. Penelitian yang dilakukannya berkontribusi pada teori keberlanjutan dengan menekankan hubungan antara transisi energi, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan untuk negara-negara IEA (*The International Energy Agency*). Semua variabel data dirubah ke dalam bentuk logaritmik untuk interpretasi elastis dari koefisien penelitian.



Gambar 2-1 Ilustrasi Kerangka Kerja Studi

Gambar 2.1 memperlihatkan ilustrasi dari kerangka kerja pada penelitian yang dilakukannya. menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi merupakan suatu variabel yang memiliki ketergantungan, sedangkan keberlanjutan ekonomi, konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tak terbarukan, pembentukan modal, tenaga kerja, dan transisi energi adalah variabel independen. Dari perspektif latar

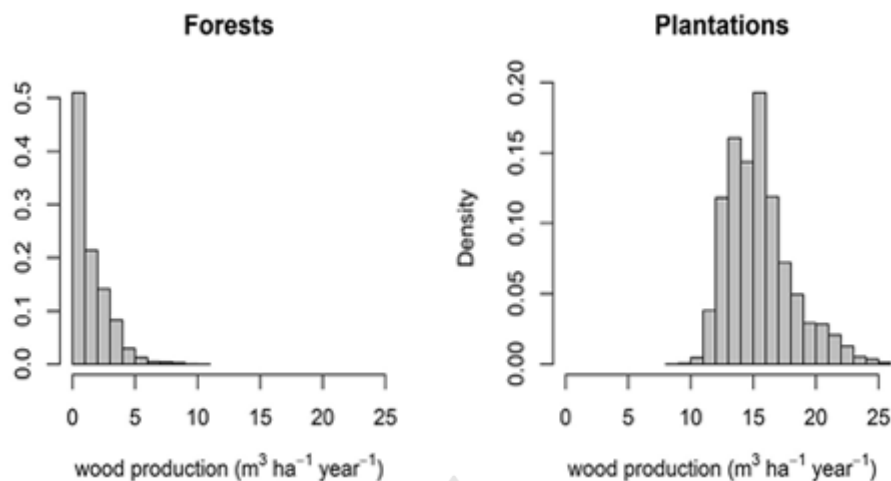
belakang teoretis ini, Gambar II.1. menggambarkan transisi energi yang mungkin berdampak negatif pada pertumbuhan ekonomi negara-negara IEA, sementara keberlanjutan ekonomi, konsumsi energi terbarukan dan tak terbarukan, tenaga kerja, dan modal mungkin berdampak positif.

Perez et al. [30] menyebutkan bahwa ada dua kelompok negara yang berbeda berdasarkan pandangan mereka tentang ketahanan energi: negara yang memprioritaskan pasokan yang dapat diandalkan dan menganggap energi terbarukan terlalu tidak stabil dan mahal untuk menggantikan bahan bakar fosil, dan negara yang memprioritaskan energi terbarukan sebagai peluang industri dan cara untuk mengurangi ketergantungan akan import energi.

2.6 Kebijakan Dalam Pengembangan dan Pengelolaan Biomassa

2.6.1 Kebijakan Mandiri Wilayah untuk Pembangkitan Biomassa

Yudego et al. [48] dalam penelitiannya mengatakan bahwa biomassa kayu dari hutan untuk energi dalam jumlah besar dapat dihasilkan di Eropa Utara dengan metode *silvikultur* dan dari lahan pertanian dengan menggunakan tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing plantation*). Penelitian ini memperkirakan dan membandingkan potensi regional saat ini dalam hal produksi biomassa kayu. Data didasarkan pada perkiraan spasial dari model sebelumnya, sebagian besar didasarkan pada catatan empiris tentang produktivitas hutan dan perkebunan. Namun, hasil juga menunjukkan bahwa strategi pengelolaan sumber daya biomassa kayu harus bersifat lokal daripada umum: potensi biomassa kayu dari hutan tanaman cepat tumbuh lebih besar di 19 wilayah dibandingkan dari sumber daya hutan (10 di Denmark, 6 di Norwegia dan 3 di Lituania) di luar dari 91 daerah di wilayah yang termasuk dalam penelitian ini. Ketika dipertimbangkan bersama-sama, Eropa utara menghadirkan potensi yang signifikan untuk produksi biomassa kayu untuk penggunaan energi, dan setiap negara - dan bahkan wilayah - harus mengembangkan strategi kebijakan mandiri untuk pembangkitan biomassa agar dapat mewujudkan potensi bioenergi berbasis kayu mereka secara paling efisien.



Gambar 2-2 Hasil Produksi Kayu dari Hutan dan Penanaman

Gambar 2.2 memperlihatkan tingkat hasil produksi kayu dari hutan dan penanaman berdasarkan data spasial untuk Eropa utara. Biomassa yang berasal dari penanaman didasarkan pada estimasi potensi pada lahan pertanian, dan biomassa hutan pada perkiraan tingkat produksi pada lahan hutan, dalam kedua kasus tersebut untuk resolusi 1 x 1 km. Rata-rata produksi lahan hutan adalah 1,41 m³/ha/tahun, meskipun areal yang luas menunjukkan hasil di bawah 1 m³/ha/tahun. Untuk perkebunan cepat tumbuh, rata-ratanya adalah 15,48 m³/ha/tahun.

2.6.2 Skenario *Business as Usual (BAU)* dan *Set - Aside*

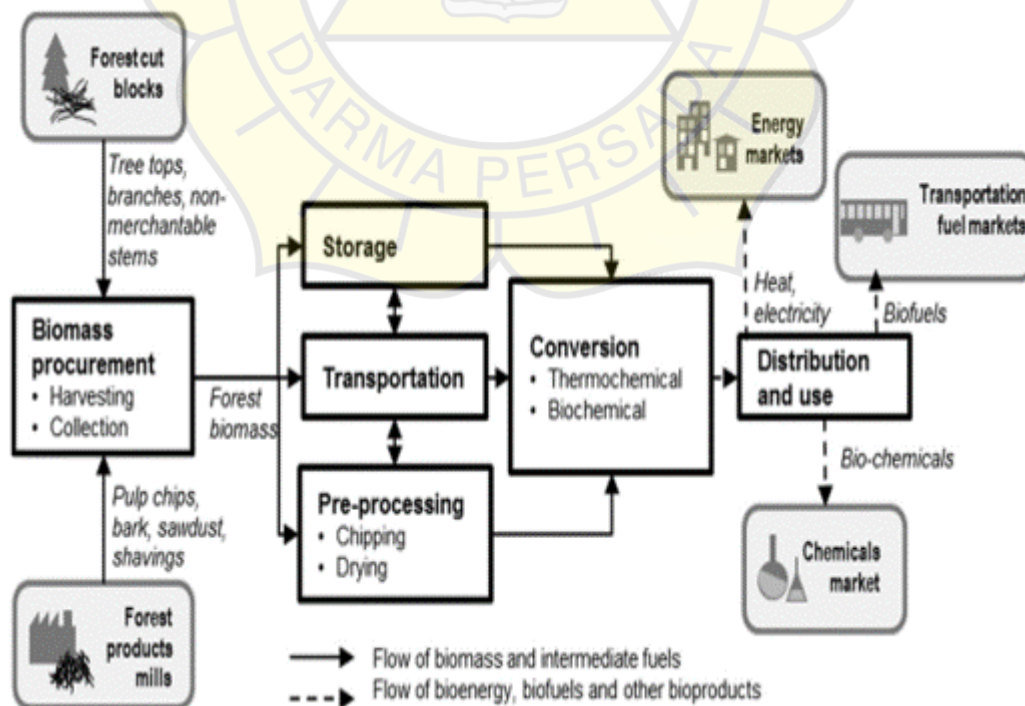
Gustavsson et al. [49] menganalisis bahwa hutan dapat membantu mengurangi perubahan iklim dengan berbagai cara, seperti dengan menyimpan karbon dalam ekosistem hutan, dan dengan menghasilkan pasokan bahan dan produk energi terbarukan. Mereka mengkaji implikasi iklim dari berbagai skenario untuk kehutanan, bioenergi, dan konstruksi kayu. Dengan mempertimbangkan tiga skenario kehutanan utama untuk Kabupaten Kronoberg di Swedia, selama periode 201 tahun. Skenario bisnis-seperti-biasa (*business as usual*) mencerminkan kehutanan saat ini sementara dalam skenario produksi, produktivitas hutan meningkat sebesar 40% melalui kehutanan yang lebih intensif. Dalam skenario “sisihkan (*set-aside*) 50%” lahan hutan disisihkan untuk konservasi. Skenario produksi menghasilkan lebih sedikit emisi karbon dioksida dan pemaksaan radiasi

kumulatif dibandingkan dengan skenario lainnya, setelah periode awal 30–35 tahun selama skenario Set-aside memiliki emisi lebih sedikit. Di akhir periode yang dianalisis, skenario Produksi menghasilkan pengurangan emisi yang kuat, sekitar sepuluh kali lebih besar daripada pengurangan awal dalam skenario *set-aside* (sisihkan). Selain itu, skenario *set-aside* memiliki emisi yang lebih tinggi daripada *business-as-usual* setelah sekitar 80 tahun. Meningkatkan hasil panen tebasan dan tunggul menghasilkan manfaat iklim, di mana dapat menggantikan lebih banyak bahan bakar fosil. Pengurangan emisi terbesar dicapai saat biomassa menggantikan peran dari batu bara, dan saat bangunan kayu modular digunakan. Dalam jangka panjang, kehutanan aktif dengan tingkat pemanenan yang tinggi dan pemanfaatan biomassa yang efisien untuk penggantian produk non-kayu dan bahan bakar memberikan mitigasi iklim yang signifikan, berbeda dengan menyisihkan lahan hutan untuk menyimpan lebih banyak karbon di hutan dan mengurangi panen biomassa. Di sisi lain, kepercayaan yang lebih besar pada bioenergi dapat memuluskan transisi ke sumber energi terbarukan dari bahan bakar fosil dan membuatnya lebih mudah untuk mengintegrasikan sumber energi intermiten skala besar seperti angin dan matahari.

2.7 Rantai Pasokan Biomassa

Camero et al. [50] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa biomassa hutan merupakan sumber terbarukan yang memiliki potensi untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembangkitan bioenergi (panas, listrik, atau bahan bakar transportasi) hingga produksi bioproduk (bahan kimia dan bahan lainnya). Peningkatan penggunaan biomassa hutan dapat mendukung pengurangan emisi karbon antropogenik ke lingkungan dan dapat membantu masyarakat yang bergantung pada hutan mencapai kemandirian energi sambil menghasilkan pekerjaan. Keberlangsungan dan kelayakan menghasilkan produk berharga dari biomassa hutan bergantung pada kepastian ketersediaan jangka panjang pasokan biomassa dengan kualitas yang dibutuhkan dengan biaya yang kompetitif. Hal ini memerlukan rancangan rantai pasokan biomassa hutan yang hemat biaya. Aspek sosial dan lingkungan juga harus dipertimbangkan dalam desain untuk menjamin penggunaan berkelanjutan dari sumber daya terbarukan

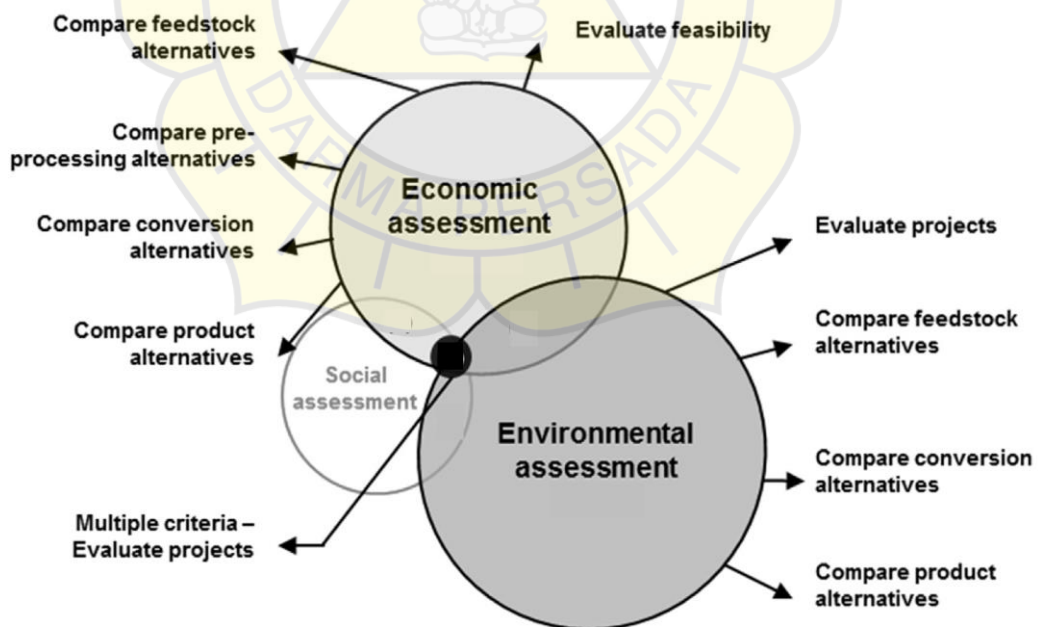
ini. Dalam penelitiannya ini, disajikan juga tinjauan studi yang menilai atau mengoptimalkan aspek ekonomi, sosial dan lingkungan dari rantai pasokan biomassa hutan untuk produksi bioenergi dan bioproduk. Sebagian besar studi sejauh ini mempertimbangkan aspek ekonomi (studi tekno-ekonomi dan optimisasi) atau lingkungan (studi penilaian siklus hidup) dari proyek bioenergi. Namun demikian, ada kecenderungan baru-baru ini untuk mengintegrasikan aspek ekonomi, lingkungan dan sosial dalam penilaian dan optimalisasi rantai pasok biomassa hutan. Gabungan dari berbagai pendekatan yang mengintegrasikan optimasi multi-tujuan dan penilaian siklus hidup sudah mulai berkembang. Dalam studi ini, emisi GRK adalah indikator lingkungan yang paling sering digunakan, biaya produksi dan modal adalah ukuran ekonomi yang lebih disukai dan jumlah pekerjaan yang diciptakan adalah kriteria sosial yang paling dipertimbangkan. Penelitian lebih lanjut harus dilakukan untuk mempelajari dan menilai potensi dampak sosial dari penggunaan biomassa hutan. Ada kebutuhan untuk pengembangan lebih lanjut dari alat pendukung keputusan yang mempertimbangkan kriteria ekonomi, lingkungan dan sosial untuk membantu perancangan dan perencanaan rantai pasokan biomassa hutan.



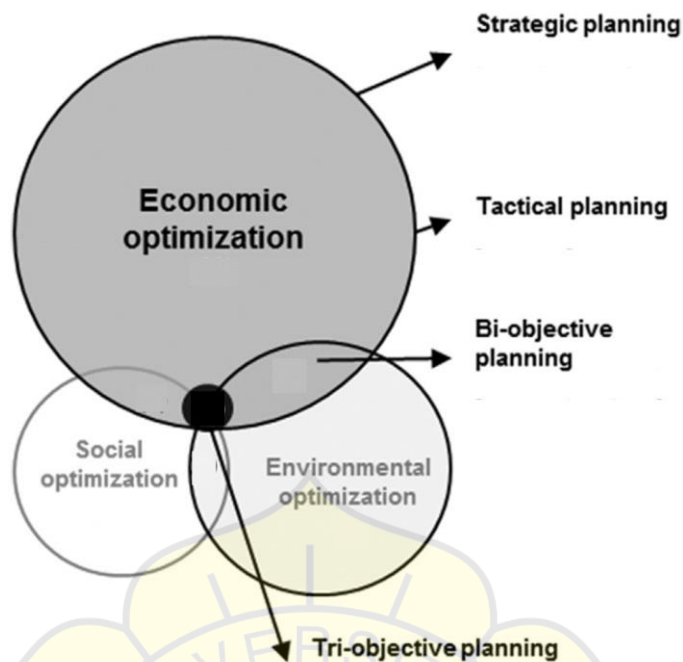
Gambar 2-3 Struktur Umum Suatu Rantai Pasokan Biomassa Hutan

Pada gambar 2.3 dijelaskan tentang struktur umum dari suatu rantai pasokan biomassa hutan yang terdiri dari 5 proses utama yaitu: pengadaan biomassa, penyimpanan, transportasi, *pre-processing*, dan konversi. Beberapa studi menambahkan dengan proses ke-enam yaitu terkait dengan distribusi energi dan produk biomassa lainnya.

Untuk membuat keputusan yang baik dalam desain dan perencanaan rantai pasokan biomassa hutan untuk bioenergi dan bioproduk, pengambil keputusan perlu memperhitungkan alternatif yang layak, dan mengevaluasi potensi kinerja ekonomi mereka, dan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat. Studi penilaian membantu dalam mengevaluasi atau memprediksi kinerja suatu proyek dari lensa yang berbeda. Gambar 2.4 memperlihatkan klasifikasi studi tentang penilaian ekonomi, lingkungan dan sosial dari rantai pasokan biomassa hutan, mengidentifikasi klasifikasi dan peruntukannya. Sedangkan pada Gambar 2.5 memperlihatkan klasifikasi studi optimasi ekonomi, lingkungan dan sosial dari rantai pasokan biomassa hutan.



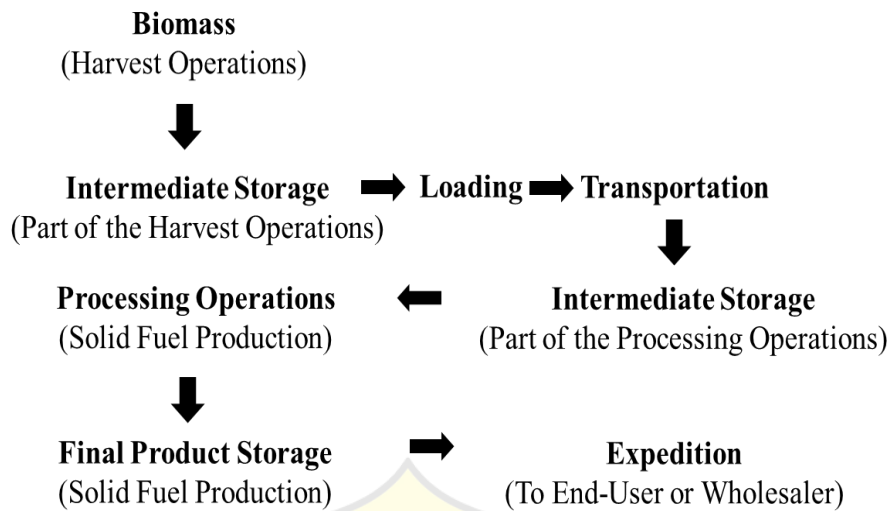
Gambar 2-4 Klasifikasi Studi Penilaian pada Rantai Pasok Biomassa



Gambar 2-5 Klasifikasi Studi Optimasi pada Rantai Pasok Biomassa

Nunes et al. [36] menyampaikan bahwa biomassa menjadi semakin penting sebagai sumber energi alternatif terbarukan. Salah satu aspek paling kritis yang terkait dengan penggunaan biomassa adalah rantai pasokannya dan semua elemen yang menjadi bagian darinya. Memang, agar penggunaan jenis sumber daya energi ini menjadi layak, maka rantai pasokannya, mulai dari pengumpulan dan pengangkutan hingga penyimpanan dan distribusi, perlu disusun dan dioptimalkan dengan baik.

Gambar 2.6 memperlihatkan proses secara umum dari suatu rantai pasok biomassa yang digunakan untuk produksi energi. Rantai pasokan biomassa tipikal dapat mencakup kombinasi dari proses berikut: persiapan lahan, penanaman, pemanenan, penyimpanan, transportasi lapangan/hutan, transportasi jalan raya dan pemanfaatan biomassa di lini produksi. Biasanya rantai pasokan dipelajari dimulai sejak pemanenan hingga tiba di tempat tujuan. Kadang-kadang, operasi pemanenan dihilangkan (dari gerbang hutan ke gerbang pabrik), tetapi karakteristik operasi pemanenan dapat berdampak dramatis terhadap kinerja di bagian hilirnya. Secara umum, ada tiga komponen utama pada rantai pasok biomassa yaitu pemanenan, transportasi dan penyimpanan.



Gambar 2-6 Proses dari Suatu Rantai Pasok Biomassa

2.8 Kelebihan Biomassa Hutan Dibandingkan Bahan Bakar Minyak

Miranda et al. [51] menyatakan bahwa biomassa hutan (*eucalyptus woodchip*) memiliki potensi untuk menggantikan bahan bakar fosil seperti gas alam, bahan bakar minyak, bensin, dan LPG di pasar energi termal untuk keperluan industri. Sejumlah lapangan kerja baik langsung maupun tidak langsung akan tercipta sebagai dampak dari kegiatan industri tersebut. Selain itu, telah diamati bahwa biaya energi termal yang dihasilkan dengan bahan bakar fosil setidaknya 34% lebih tinggi dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh biomassa hutan, di mana *eucalyptus woodchip* memiliki biaya lebih rendah dan keunggulan kompetitif lain dibandingkan dengan sumber energi lainnya.

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 diamati bahwa jumlah biomassa hutan dalam kaitannya dengan ton setara minyak meningkat secara signifikan, disebabkan oleh karena nilai kalor dari kayu lebih rendah dibandingkan dengan minyak dan turunannya. Hal ini berdampak pada beberapa implikasi seperti penanganan jumlah bahan bakar yang lebih besar, sehingga membutuhkan proses logistik yang lebih kompleks untuk biomassa dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Tabel 2-2 Konsumsi Bahan Bakar Industri Ekuivalen dengan Biomasa Hutan

Sources	Consumption (10 ³ toe)	Equivalence	
		t. wood (10 ³)	m ³ wood (10 ³)
Natural gas	9849	39712,4	79424,8
Diesel oil	1038	4183,6	8367,2
Fuel oil	2587	10430,0	20859,9
Liquified petroleum gas	1005	4050,6	8101,2
Total	14477	58376,6	116753,1

Meskipun hanya 50% dari konsumsi bahan bakar yang akan digantikan oleh biomassa hutan, namun peluang bisnis dan manfaat dari sisi ekonomi, sosial dan lingkungan akan dihasilkan, sama halnya dengan meningkatnya keikutsertaan dari pengusaha-pengusaha hutan lainnya. Dalam kasus studi industri susu, selain memproduksi *steam* industri dengan harga yang lebih rendah, *woodchip* memiliki beberapa keuntungan secara operasional dalam kaitannya dengan kayu bakar, seperti: i) mekanisasi pasokan bahan bakar - *woodchip* memungkinkan lebih besar mekanisasi umpan *burner*, yang berkontribusi pada system otomatisasi dan stabilitas dari *flow system*; ii) control kelembaban - *woodchip* memiliki granulometri yang homogen, yang memfasilitasi pengeringan dan kontrol kelembaban yang lebih baik; iii) *logistics* - memungkinkan untuk proses mekanisasi produksi *woodchip* dan transportasi, dari muat hingga bongkar di lokasi tujuan; dan iv) kualitas *steam* - karena memungkinkan menggunakan bahan bakar yang seragam dengan flow konstan, *woodchip* menghasilkan *steam* yang lebih baik kualitasnya. Di antara bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, gas alam adalah bahan bakar yang memiliki biaya paling rendah untuk produksi uap, tetapi biayanya 34% lebih tinggi daripada biaya *woodchip*. Meskipun dengan biaya produksi yang lebih tinggi, turunan minyak bumi masih banyak digunakan karena kemudahan logistik dan operasional, serta persyaratan birokrasi yang lebih mudah terkait dengan biomassa hutan. Keunggulan utama dari penggunaan

biomassa hutan untuk energi adalah fakta bahwa biomassa adalah sumber energi terbarukan, memiliki biaya yang kompetitif, produktifitas hutan yang tinggi di Brazil, menciptakan lapangan kerja, ketersediaan lahan untuk penanaman hutan. Namun, masih ada kekurangannya, seperti karakteristik kayu (konsentrasi energi rendah per unit volume), bentuk pemasaran berbasis volume. Pertumbuhan dari tingkat partisipasi biomassa hutan dalam bidang energi tergantung pada partisipasi efektif dari semua pemangku kepentingan, kebijakan publik terhadap insentif yang lebih besar dan perbaikan organisasi sektoral, yang dianggap poin penting untuk studi kualitatif pada sektor ini.

Ribeiro et al. [52] menunjukkan bahwa *woodchip* dengan kadar air lebih rendah dan peningkatan nilai kalor yang lebih tinggi menghasilkan beberapa hal sebagai berikut: pengurangan konsumsi *woodchip* untuk pembangkit listrik yang sama, penurunan biaya pembangkitan, pengurangan biaya variabel dan luas area tanaman Eucalyptus yang lebih kecil yang diperlukan untuk memasok *woodchip*. Density energi yang lebih besar dapat juga mengurangi biaya transportasi dan biaya penyimpanan yang lebih rendah, namun tidak secara langsung menunjukkan kinerja pembangkitan yang lebih baik, karena dipengaruhi oleh kondisi lapangan biomassa. Semua sampel memiliki tingkat kadar abu (*ash content*) yang memuaskan, yang dapat menghasilkan emisi polutan yang lebih rendah dan efisiensi operasional yang sangat baik. Akhirnya, semua sampel menyajikan biaya variabel per unit di bawah batas dari ketentuan yang dibuat oleh pemerintah dalam bidang energi, yang mungkin menjadi daya tarik ekonomi untuk proyek sejenis. Oleh karena itu, kadar air *woodchip* Eucalyptus, nilai kalor yang lebih tinggi, dan densitas energi adalah masalah utama dalam pembangkit listrik energi terbarukan dan harus dikelola oleh pembangkit listrik Eucalyptus untuk mencapai kinerja pembangkit yang lebih baik dan dapat mengurangi biaya. Wahyuni et al. [53] dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai kalor dari jenis *tanaman acacia crassicarpa*, *eucalyptus pelita* dan *meulaleuca* berkisar antara 4000-5000 kcal/kg.