

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dampak krisis perubahan iklim dan pemanasan global kini semakin nyata dirasakan masyarakat secara global. Hal ini disebabkan oleh pesatnya kemajuan teknologi dan industrialisasi yang dominan masih bergantung pada energi fosil, penghasil emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Energi fosil yang juga bersifat tidak terbarukan atau terbatas dapat menyebabkan ketidakseimbangan di tengah tingginya kebutuhan energi di berbagai sektor, yang pada akhirnya dapat memicu krisis energi dan kenaikan harga barang (Demirbaş, 2001). Pengembangan teknologi berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi solusi dalam upaya mencapai target penurunan emisi karbon atau *Net Zero Emission* (NZE) serta mendukung kemandirian energi. Masyarakat global telah berkomitmen untuk mencapai tujuan Perjanjian Paris, yaitu membatasi pemanasan global di bawah 1,5°C dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK nasional sebesar 29% pada tahun 2030, atau hingga 41% dengan dukungan internasional (Zuhir et al., 2017).

Pemerintah Indonesia sejak 2017 telah menargetkan penurunan penggunaan energi fosil melalui pengembangan EBT dengan target bauran sebesar 23% pada 2025 (PP No. 79, 2014). Namun hingga September 2025, target tersebut belum tercapai. Pemerintah kemudian merevisi target capaian tersebut dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui PP No. 40 Tahun 2025 yang menyesuaikan target bauran EBT menjadi 19–23% pada 2030 dan meningkat hingga 70–72% pada 2060. Dalam kebijakan ini, energi biomassa ditargetkan berkontribusi 7,2–9% pada 2030 dan tetap stabil sekitar 7% hingga 2060, kontributor EBT terbesar ketiga setelah energi surya dan nuklir (PP No 40, 2025). Hal ini menegaskan bahwa biomassa energi diperhitungkan sebagai sumber EBT yang potensial di Indonesia.

Pemanfaatan biomassa diarahkan untuk menggantikan sebagian batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) melalui program *co-firing*, serta untuk produksi biogas industri dan transportasi. Berdasarkan RUPTL PLN 2024–2033 dan data EBTKE (2024), tercatat sekitar 35 PLTU telah menerapkan *co-firing* biomassa secara konsisten dari total target 52 unit PLTU, dengan kapasitas mencapai 3.200 MW dan kebutuhan biomassa sekitar 10 juta ton per tahun. Kawasan hutan dan perkebunan berpotensi besar sebagai pemasok bahan baku biomassa energi. Luas lahan

kehutanan Indonesia pada 2021 tercatat seluas 915.276,63 km² atau sekitar 48,3% dari luas total wilayah Indonesia (World Bank, 2021). Untuk pengembangan biomassa energi, kesesuaian lokasi dan lahan, serta pemilihan jenis tanaman sumber bahan baku biomassa akan menjadi pertimbangan penting (Hudaedi et al., 2018). Setiap jenis tanaman memiliki karakteristik yang unik sehingga teknologi pengolahan juga perlu disesuaikan dengan sumber daya bahan baku yang tersedia.

Bahan baku biomassa dari sektor kehutanan dan perkebunan tidak hanya berasal dari kayu, tetapi juga dari hasil hutan bukan kayu (HHBK) seperti biji, bunga, daun, dan buah yang berpotensi sebagai sumber energi. Bahan baku bioenergi berbasis kehutanan diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu biomassa lipid, gula atau pati, serta selulosa atau lignoselulosa. Biomassa dengan kandungan lipid umumnya digunakan untuk produksi biodiesel, sedangkan biomassa yang kaya gula lebih sesuai untuk menghasilkan bioetanol. Adapun biomassa lignoselulosa dapat dikonversi menjadi energi dalam bentuk padat, cair, maupun gas. Selain jenis kandungan bahan bakunya, jenis produk akhir bioenergi juga dipengaruhi oleh teknologi konversi yang digunakan. Proses konversi biomassa mencakup empat jalur utama, yaitu proses fisik (seperti densifikasi), termokimia, biokimia, dan kimiawi (Williams et al., 2015). Kompleksitas proses konversi umumnya berbanding lurus dengan kebutuhan modal dan biaya produksinya, sehingga pemilihan teknologi harus disesuaikan dengan jenis biomassa yang tersedia dan skala pengembangan yang direncanakan.

Penelitian terdahulu banyak fokus pada pemanfaatan limbah industri kehutanan, pertanian, perkebunan, peternakan, dan rumah tangga. Ketergantungan pada limbah sebagai bahan baku menimbulkan risiko keberlanjutan karena pasokan bahan baku biomassa sangat bergantung pada keberlanjutan aktivitas industri utama. Ketika produksi industri utama menurun atau berhenti, rantai pasok biomassa juga terhenti sehingga sistem produksi bioenergi menjadi tidak stabil. Studi Zoma & Sawadogo, (2023), melalui pendekatan AHP-TOPSIS menunjukkan bahwa ketersediaan dan kemudahan memperoleh bahan baku merupakan faktor yang sangat menentukan keberlanjutan produksi bioenergi.

Penelitian yang menilai potensi biomassa dari vegetasi hutan yang dibudidayakan secara langsung masih terbatas. Padahal, sumber biomassa dari tanaman kehutanan berpotensi memberikan pasokan yang lebih terencana karena dapat dikelola dan diproyeksikan sesuai kebutuhan. Pengembangan biomassa energi yang berbasis perkebunan dan kehutanan tidak hanya berkontribusi pada tercapainya target bauran EBT, tetapi juga berpengaruh pada pengurangan

emisi GRK, penyebab utama perubahan iklim dan pemanasan suhu global. Iswanto et al., (2021) menunjukkan bahwa emisi terbesar dalam produksi bioenergi berasal dari tahap budidaya, yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan penggunaan pupuk. Namun, melalui kemampuan fotosintesisnya, tanaman energi dapat menyerap kembali emisi tersebut.

Kabupaten Semarang memiliki kawasan hutan seluas 8.365 hektare, dengan 99,65 hektar di antaranya dikelola oleh Universitas Diponegoro sebagai Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) dan sisanya oleh Perhutani. Meskipun berstatus sebagai hutan produksi, KHDTK Wanadipa memiliki keragaman vegetasi yang cukup tinggi, yaitu 55 jenis tanaman berkayu dan 59 jenis tanaman tidak berkayu (Laporan inventarisasi vegetasi hutan, 2021). Dengan mempertimbangkan karakteristik kesesuaian biofisik lokasi dan ketersediaan vegetasi, pengembangan bioenergi dapat dilakukan lebih efektif. Sebagai kawasan pendidikan dan penelitian, KHDTK Wanadipa berfungsi sebagai laboratorium lapang, lokasi yang strategis untuk percontohan pengembangan bioenergi yang berkelanjutan dan menguntungkan.

Penelitian ini dilakukan untuk menilai potensi vegetasi hutan sebagai sumber bahan baku biomassa energi di KHDTK Wanadipa. Metode yang digunakan akan mengintegrasikan analisis data vegetasi, kondisi biofisik, analisis multi-kriteria, dan analisis finansial sehingga menghasilkan analisis prioritas pengembangan bioenergi yang sesuai dengan kondisi lokasi studi. Metodologi yang digunakan dapat diterapkan pada kawasan hutan lain sebagai dasar perencanaan pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa kehutanan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang dapat dirumuskan dari latar belakang penelitian berkaitan dengan tantangan lingkungan dan ekonomi dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya biomassa energi. Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan bauran EBT nasional, pencapaiannya masih berada di bawah target. Masalah yang menjadi tantangan utama dalam pengembangan biomassa energi adalah keterbatasan modal investasi dan ketidakpastian pasokan bahan baku. Penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan utama yaitu:

1. Bagaimana karakteristik biofisik, kesesuaian lahan, dan komposisi vegetasi yang mendukung ketersediaan bahan baku biomassa energi di KHDTK Wanadipa UNDIP?
2. Bagaimana prioritas alternatif produk bioenergi yang dapat dikembangkan di KHDTK Wanadipa UNDIP berdasarkan hasil analisis *Analytic Hierarchy Process* (AHP)?

3. Bagaimana tingkat kelayakan usaha dari pengembangan alternatif produk bioenergi terpilih di KHDTK Wanadipa Universitas Diponegoro?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menilai potensi vegetasi hutan eksisting sebagai sumber bahan baku biomassa energi di KHDTK Wanadipa. Analisis difokuskan pada kawasan KHDTK Wanadipa Universitas Diponegoro dengan memanfaatkan vegetasi hutan eksisting sebagai sumber bahan baku biomassa. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan:

1. Menganalisis karakteristik kondisi biofisik, kesesuaian lahan dan vegetasi area KHDTK Wanadipa UNDIP sebagai pemasok bahan baku biomassa energi
2. Menganalisis alternatif produk bioenergi paling potensial dikembangkan berdasarkan hasil analisis *Analytic Hierarchy Process* (AHP).
3. Menganalisis kelayakan usaha pengembangan bioenergi terpilih melalui penilaian aspek ekonomi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan landasan analitis untuk memanfaatkan vegetasi hutan eksisting di KHDTK Wanadipa sebagai sumber bahan baku bioenergi yang berkelanjutan. Melalui integrasi analisis biofisik, evaluasi multikriteria, dan kajian kelayakan usaha, penelitian ini menghasilkan rekomendasi model usaha bioenergi yang paling sesuai dan menguntungkan bagi lokasi studi. Pendekatan yang digunakan bersifat replikatif sehingga dapat dijadikan acuan bagi kawasan lain dengan karakteristik serupa dalam merumuskan strategi pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa.

1.5 Orisinilitas Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada penilaian potensi dari tegakan vegetasi hutan yang sengaja dibudidayakan untuk produksi pasokan bahan baku produksi biomassa energi, sehingga keberlanjutan pasokan bahan baku lebih stabil. Penilaian dilakukan melalui integrasi analisis biofisik kawasan dan karakteristik vegetasi untuk memperoleh estimasi ketersediaan biomassa yang dapat dimanfaatkan. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pemilihan alternatif produk bioenergi menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis*

(MCDA) berbasis metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Untuk memastikan kelayakan pengembangan bioenergi terpilih, dilakukan pula analisis finansial menggunakan indikator ekonomi.

Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang cenderung menyoroti satu aspek ekonomi, teknologi, atau penggunaan satu jenis biomassa tertentu secara terpisah. Penelitian ini mengintegrasikan analisis data kuantitas dengan kualitas, yaitu data vegetasi, kondisi biofisik, analisis finansial dengan penilaian perspektif para ahli terkait aspek yang keberhasilan pengembangan usaha bioenergi kehutanan. Tabel 1.1 menunjukan gap penelitian yang dibangun dalam penelitian ini.

Tabel 1. 1 Gap Penelitian

No	Penelitian terdahulu	Isi penelitian	GAP Penelitian
1.	(Hudaedi et al., 2018)	Menganalisis potensi budidaya Gamal sebagai bahan baku biomassa co-firing di PLTU. Analisis dimulai dari analisis spasial kondisi kesesuaian lahan, produktivitas biomassa gamal, hingga estimasi produksi listriknya di PLTU.	Menambahkan analisis kualitatif sebelum memilih produk bioenergi yang akan dikembangkan dengan metode AHP yang melibatkan pendapat para ahli dalam pembobotan setiap aspek kriteria penentu keputusan
2.	(Zoma & Sawadogo, 2023)	Menilai potensi berbagai sumber limbah sebagai bahan baku biomassa energi di Burkono Faso sepasial dan vegetasi dengan menggunakan kombinasi analisis AHP dan TOPSIS.	Penelitian ini menggunakan mengkominasikan analisis dengan vegetasi dengan analisis AHP untuk menilai potensi produksi bahan baku biomassa di area studi.

No	Penelitian terdahulu	Isi penelitian	GAP Penelitian
3.	(Hermawan et al., 2024)	Menganalisis kelayakan usaha produksi biopellet dari limbah kegiatan budidaya sebagai produksi Hutan Tanaman Industri input modal investasi awal dengan mengacu pada perhitungan dalam analisis kelayakan indikator ekonomi NPV, IRR, PBP, usaha produksi biopellet. dan BCR	Menambahkan investasi

