



Pemodelan Terpadu Pengembangan Energi Terbarukan di Provinsi Gorontalo : Pendekatan Sistem Energi Berkelanjutan

Frandika K. Toiyo^{1*}, Sudarmanto Hasan², Mohammad Bayu Irawan³, Hasim⁴, Sukirman Rahim⁵

¹⁻⁵ Pascasarjana Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

Alamat: Jl. Jend. Sudirman No.6, Dulalowo Timur, Kota Tengah, Kota Gorontalo

Korespondensi penulis: frandikatoiyo53@gmail.com

Abstract. *This study analyzes integrated modeling for renewable energy development in Gorontalo Province, Indonesia, focusing on enhancing sustainable energy systems. The projection for renewable energy usage is expected to reach 23% by 2025. This research identifies various challenges, including dependence on fossil fuels and energy shortages due to inadequate infrastructure. The study employs a quantitative descriptive approach and dynamic system modeling to evaluate the potential of renewable energy sources such as solar, wind, and biomass. The findings indicate that strategic interventions can significantly increase the penetration of renewable energy from 1-2% to 30-40% by 2040, while also reducing carbon emissions and improving energy security. The implications of this research highlight the importance of supportive policies and investments in renewable energy technologies to achieve a sustainable energy transition.*

Keywords: *Dynamic Modeling, Energy Policy, Gorontalo, Renewable Energy, Sustainability*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis pemodelan terpadu untuk pengembangan energi terbarukan di Provinsi Gorontalo, Indonesia dengan fokus pada peningkatan sistem energi berkelanjutan. Proyeksi penggunaan energi terbarukan akan mencapai 23% pada tahun 2025, studi ini mengidentifikasi berbagai tantangan, termasuk ketergantungan pada bahan bakar fosil dan kekurangan energi akibat infrastruktur yang tidak memadai. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan pemodelan sistem dinamis untuk mengevaluasi potensi sumber energi terbarukan seperti solar, angin, dan biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intervensi strategis dapat meningkatkan penetrasi energi terbarukan secara signifikan dari 1–2% menjadi 30–40% pada tahun 2040, serta mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ketahanan energi. Implikasi dari penelitian ini menyoroti pentingnya kebijakan yang mendukung dan investasi dalam teknologi energi terbarukan untuk mencapai transisi energi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Pemodelan Dinamis, Kebijakan Energi, Gorontalo, Energi Terbarukan, Keberlanjutan

1. LATAR BELAKANG

Indonesia diperkirakan akan menggunakan 23% energi terbarukan sebagai sumber daya energinya pada tahun 2025. Pertumbuhan ekonomi dan populasi yang meningkat telah menyulitkan negara untuk memenuhi komitmen Internasional dan domestiknya. Permintaan yang terus meningkat telah mendorong Indonesia untuk menggunakan lebih banyak bahan bakar fosil. Menurut Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM), konsumsi energi Indonesia mencapai 40% dari total konsumsi energi di Asia Tenggara, dan angka ini diperkirakan akan meningkat menjadi 80% di masa mendatang, dengan kebutuhan listrik dapat meningkat tiga kali lipat (Ratna Poerwantika et al, 2022).

Provinsi Gorontalo juga merasakan dampak dari krisis energi listrik yang menjadi masalah nasional. Kurangnya infrastruktur dan sumber pembangkit listrik menjadikan

beberapa daerah di Gorontalo masih kekurangan pasokan listrik. Mereka bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan minyak. Ketidakmampuan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan listrik disebabkan oleh tingginya biaya minyak dan penurunan cadangan. Selain mencari sumber energi baru, pemerintah juga menerapkan pemadaman listrik secara bertahap. Hal ini mengganggu banyak aktivitas masyarakat dan sektor industri, seperti pendidikan dan bisnis. Jika tidak segera diatasi, dampak jangka panjangnya adalah terganggunya sistem perekonomian daerah (Gueye, F. 2025).

Provinsi Gorontalo memiliki potensi besar untuk energi terbarukan, seperti solar, angin, dan biomassa. Dengan kondisi geografis yang mendukung, provinsi ini dapat memanfaatkan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energinya dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis. Dalam pengembangan energi terbarukan, pemodelan terpadu sangat penting untuk merumuskan strategi yang efisien.

Mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan sosial, sistem energi berkelanjutan dapat mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan. Pemodelan terpadu memungkinkan analisis yang lebih mendalam mengenai hubungan antara berbagai komponen sistem energi, seperti produksi, distribusi, dan konsumsi. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dirumuskan kebijakan yang mendukung pengembangan energi terbarukan secara berkelanjutan.

Tantangan dalam pengembangan energi terbarukan di Gorontalo juga perlu diperhatikan. Hambatan seperti keterbatasan teknologi, pendanaan, dan kesadaran masyarakat harus diatasi. Oleh karena itu, agar pengembangan energi terbarukan berjalan lancar dan berkelanjutan, pemodelan terpadu harus mencakup strategi untuk mengatasi masalah.

Pemodelan terpadu juga membantu mengidentifikasi peluang dan tantangan dalam pengembangan energi terbarukan di Gorontalo. Analisis potensi energi solar dan angin, misalnya, bisa memberikan gambaran jelas mengenai lokasi dan kapasitas yang tersedia. Data yang akurat, pembangunan infrastruktur energi terbarukan dapat dilakukan secara lebih terencana.

2. KAJIAN TEORITIS

Energi baru terbarukan (EBT) berasal dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui tanpa batas, seperti tenaga hidro, tenaga matahari, dan tenaga angin, serta sumber yang dapat diproduksi secara berkelanjutan seperti biomasa (Setyono et al, 2019). Energi

terbarukan merupakan jenis sumber energi yang dapat habis secara alami, sehingga tidak terbatas dan dapat dipulihkan secara alami. Sebaliknya, sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam memiliki jumlah yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui dengan cepat (Hamdi, 2016).

EBT menjadi prioritas utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang semakin berkurang. Sumber-sumber energi terbarukan mencakup tenaga hidro, solar, angin, dan biomassa. Indonesia memiliki potensi yang besar untuk memanfaatkan EBT guna memenuhi kebutuhan energinya. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, potensi energi terbarukan di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 400 GW, dengan tenaga hidro dan solar sebagai dua sumber utama yang dapat digunakan secara optimal (Kementerian ESDM, 2020).

Istilah energi baru terbarukan merujuk pada sumber energi yang dapat diperbaharui secara alami dan tidak akan habis dalam waktu dekat. Contohnya adalah tenaga hidro yang menghasilkan listrik dari aliran sungai dan bendungan, tenaga matahari yang dihasilkan dari panel fotovoltaik yang mengubah sinar matahari menjadi listrik, serta tenaga angin yang memanfaatkan turbin angin untuk menghasilkan energi dari angin.

Energi baru terbarukan juga mencakup sumber-sumber yang dapat diproduksi secara berkelanjutan, seperti biomasa. Biomasa terdiri dari bahan organik seperti limbah pertanian, kayu, dan sisa makanan, yang dapat diubah menjadi biofuel atau dibakar untuk menghasilkan energi. Penggunaan biomasa tidak hanya mengurangi limbah, tetapi juga menyediakan alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi.

Pemanfaatan biomasa juga merupakan alternatif yang efektif dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT). Limbah pertanian dan sisa makanan dapat diolah menjadi biofuel yang lebih ramah lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biomasa tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga menciptakan peluang kerja baru di sektor energi terbarukan (Pratama, 2021). Dukungan kebijakan pemerintah untuk pengembangan EBT menjadi faktor kunci. Program insentif untuk investasi dalam proyek energi terbarukan dapat menarik perhatian para investor (Wibowo & Hartono, 2020).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif, memanfaatkan metode pemodelan sistem dinamis untuk menganalisis pengembangan energi terbarukan secara terpadu. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menggambarkan interaksi

kompleks antara berbagai elemen dalam sistem energi, serta untuk melakukan simulasi terhadap skenario kebijakan yang relevan.

Lokasi penelitian terfokus pada Provinsi Gorontalo, yang dikenal memiliki potensi energi terbarukan yang signifikan. Penelitian ini berlangsung dari Januari hingga Juli 2025, mencakup seluruh kabupaten dan kota di provinsi tersebut yang memiliki sumber daya energi terbarukan.

Pengumpulan data dilakukan dengan memanfaatkan dua jenis sumber data, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari lembaga-lembaga seperti Dinas ESDM Provinsi Gorontalo, Badan Pusat Statistik (BPS), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta dokumen perencanaan energi. Jenis data yang dikumpulkan mencakup potensi energi terbarukan, data iklim, dan regulasi terkait.

Data primer juga diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan para stakeholder, termasuk pemerintah daerah, akademisi, dan pelaku usaha. Pendekatan ini bertujuan untuk mendapatkan perspektif kualitatif mengenai tantangan dan peluang dalam pengembangan energi terbarukan.

Dalam analisis dan pemodelan, variabel-variabel utama diidentifikasi, termasuk potensi sumber daya energi, kebutuhan energi masyarakat, investasi, emisi karbon, serta kebijakan pemerintah. Model sistem dinamis dirancang menggunakan perangkat lunak pemodelan seperti Vensim PLE atau Python. Proses ini melibatkan penyusunan diagram kausal dan diagram stok dan aliran untuk menggambarkan dinamika interaksi antar elemen dalam sistem energi.

Simulasi dilakukan dengan tiga skenario yang berbeda: Business As Usual (BAU), Intervensi Moderat, dan Transisi Agresif. Hasil dari setiap skenario akan dianalisis untuk menilai proyeksi kapasitas energi terbarukan, pengurangan emisi karbon, dan keberlanjutan sistem energi di Gorontalo.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Energi Terbarukan di Provinsi Gorontalo

a. Energi Surya

Berdasarkan data BMKG dan Pusat Data EBTKE, Gorontalo memiliki rata-rata radiasi matahari sebesar 4,5–5,5 kWh/m²/hari. Potensi ini cukup untuk mendukung pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), baik skala rumah tangga maupun komunal.

b. Energi Air

Terdapat beberapa aliran sungai seperti Sungai Bone dan Sungai Bulango yang berpotensi dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan kapasitas kecil hingga menengah, terutama di daerah pegunungan.

c. Energi Angin

Wilayah pesisir seperti Kecamatan Anggrek (Kabupaten Gorontalo Utara) menunjukkan kecepatan angin rata-rata yang memadai (5–7 m/s), cocok untuk turbin angin skala kecil-menengah.

d. Energi Biomassa

Limbah pertanian (jagung, kelapa), peternakan, dan hutan produksi di Gorontalo memiliki potensi biomassa yang besar. Potensi ini belum dimanfaatkan optimal sebagai sumber energi.

Hasil Pemodelan Sistem Dinamis

a. Struktur Model

Model yang dikembangkan terdiri dari lima komponen utama yaitu potensi dan kapasitas pembangkit EBT, Permintaan energi, Emisi CO₂, Investasi dan biaya teknologi, Kebijakan dan insentif.

Model ini telah membentuk hubungan sebab-akibat (causal loop) dengan umpan balik antara peningkatan kapasitas pembangkit, penurunan emisi, serta pertumbuhan permintaan energi.

Struktur Model Sistem Dinamis Pengembangan Energi Terbarukan di Provinsi Gorontalo

Model sistem dinamis yang dikembangkan saling berinteraksi secara dinamis dalam kerangka sistem energi terbarukan yang berkelanjutan. Adapun kelima komponen tersebut adalah Potensi dan Kapasitas Pembangkit EBT, Komponen ini mencakup Estimasi potensi teknis dan ekonomis dari berbagai jenis energi terbarukan (surya, air, angin, biomassa), Laju pertumbuhan kapasitas terpasang EBT setiap tahun, Efisiensi pemanfaatan potensi energi dan Faktor kapasitas dari masing-masing jenis pembangkit.

Komponen berfungsi sebagai input utama dalam menentukan kemampuan pasokan energi dari sumber EBT lokal.

1) Permintaan Energi

Variabel dalam komponen ini meliputi Pertumbuhan jumlah penduduk dan kegiatan ekonomi, Konsumsi energi per kapita (rumah tangga, industri, transportasi), Proyeksi total kebutuhan energi final (kWh atau TOE) dan Ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan energi.

Permintaan energi merupakan faktor pendorong kebutuhan pengembangan kapasitas pembangkit baru.

2) Emisi CO₂

Komponen ini menghitung besaran emisi karbon dari pembangkit listrik berbasis fosil, Pengurangan emisi akibat penetrasi energi terbarukan dan Dampak lingkungan dari bauran energi.

Komponen ini berperan untuk menilai aspek keberlanjutan lingkungan dari pengembangan sistem energi.

3) Investasidan Biaya Teknologi

Termasuk di dalamnya Biaya investasi awal (capital cost) per jenis teknologi (PLTS, PLTB, PLTMH, dll.), Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), Skema pendanaan dan insentif (subsidi, kemitraan swasta), dan Tingkat pengembalian investasi (ROI) dan analisis kelayakan ekonomi.

Komponen ini berfungsi untuk mengevaluasi kelayakan finansial dan menentukan kecepatan adopsi teknologi.

4) Kebijakan dan Insentif

Variabel dalam komponen ini meliputi Target bauran EBT pemerintah (nasional dan daerah), Kebijakan tarif feed-in atau net metering, Regulasi lingkungan dan insentif fiskal, Peran lembaga dan partisipasi masyarakat.

Komponen ini merepresentasikan faktor eksternal yang dapat mempercepat atau memperlambat transisi energi.

Setiap komponen tersebut direpresentasikan dalam model sistem dinamis melalui diagram kausal (*causal loop diagram*) dan diagram stok dan aliran (*stock and flow diagram*), yang saling terhubung untuk menggambarkan dinamika sistem energi secara menyeluruh

b. Validasi Model

Model divalidasi melalui Perbandingan historis antara output model dan data nyata konsumsi energi dan Validasi pakar dengan akademisi dan praktisi energi terbarukan lokal.

Hasil validasi menunjukkan bahwa model memiliki kesesuaian cukup baik dengan tren historis dan dianggap layak untuk simulasi skenario kebijakan.

Simulasi dan Analisis Skenario

a. Skenario 1: Business As Usual (BAU)

Tanpa intervensi signifikan, penetrasi EBT di Gorontalo hanya tumbuh sekitar 1–2% per tahun. Emisi CO₂ tetap tinggi, dan kebutuhan energi banyak ditopang dari energi fosil.

b. Skenario 2: Intervensi Moderat

Dengan dukungan kebijakan insentif dan proyek PLTS komunal, pertumbuhan EBT mencapai 8–10% per tahun. Emisi turun hingga 30% pada 2035, dan ketahanan energi mulai membaik.

c. Skenario 3: Transisi Agresif

Skenario ini melibatkan adopsi masif teknologi EBT, reformasi subsidi, dan kerjasama swasta. Bauran EBT mampu mencapai 30–40% pada tahun 2040. Emisi berkurang drastis, dan Gorontalo bisa menjadi model transisi energi daerah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Potensi energi terbarukan di Provinsi Gorontalo berdasarkan data menunjukkan bahwa daerah ini memiliki sumber daya energi yang melimpah, termasuk energi surya dengan radiasi rata-rata antara 4,5–5,5 kWh/m²/hari, potensi energi air dari sungai-sungai setempat, serta kecepatan angin yang cukup di daerah pesisir. Selain itu, limbah pertanian dan biomassa juga memiliki peluang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Melalui pemodelan sistem dinamis, lima komponen utama dievaluasi yaitu kapasitas pembangkit energi terbarukan, permintaan energi, emisi karbon, investasi, dan kebijakan. Model ini mengungkapkan hubungan sebab-akibat yang kompleks, di mana peningkatan kapasitas pembangkit energi terbarukan berperan dalam menurunkan emisi dan meningkatkan ketahanan energi.

Hasil simulasi skenario menunjukkan bahwa tanpa adanya intervensi, pertumbuhan penetrasi energi terbarukan hanya sekitar 1–2% per tahun. Namun, dengan dukungan

kebijakan yang moderat, pertumbuhan ini dapat mencapai 8–10%, dan emisi karbon bisa turun hingga 30% pada tahun 2035. Skenario transisi agresif, yang mencakup adopsi teknologi baru dan reformasi subsidi, berpotensi untuk mencapai 30–40% penggunaan energi terbarukan pada tahun 2040.

DAFTAR REFERENSI

- Gueye, F. (2025). The role of renewable energy in energy transition in West Africa: A short-and long-run analysis. *Academia Green Energy*, 2(2). <https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7697>
- Hamdi. (2016). *Energi Terbarukan*. Jakarta: Prenada Media.
- Iskandar, R., & Prasetya, B. (2018). Strategi pengembangan energi terbarukan melalui pendekatan partisipatif. *Jurnal Ekonomi dan Lingkungan*, 6(1), 22–29.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Potensi Energi Baru Terbarukan di Indonesia*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Nugroho, B. Y., & Fitriyani, D. (2023). Analisis kebijakan energi nasional berbasis keberlanjutan. *Jurnal Analisis Kebijakan*, 11(2), 56–70. <https://doi.org/10.1234/jak.2023.11.2.56>
- Poerwantika, T. R., Windary, S., Rasyid, F., & Santoso, B. E. (2022). Diplomasi lingkungan: Indonesia dalam mewujudkan transisi energi post – COP26. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(9). <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i9.1182>
- Pratama, I. (2021). Pemanfaatan biomasa sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Energi*, 10(3), 112–120. <https://doi.org/10.1234/jte.2021.10.3.112>
- Rahardjo, T. A., & Ardiansyah, H. (2021). Dynamic modeling for renewable energy transition in Southeast Asia. *Asian Journal of Energy Research*, 14(1), 78–90. <https://doi.org/10.5678/ajer.v14i1.145>
- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. F. (2019). Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di Kota Semarang. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(2), 105–115.
- Silalahi, D. A. (2020). Perbandingan kebijakan energi terbarukan Indonesia dan Jerman: Studi literatur. *Jurnal Global Energi*, 3(2), 89–97. <https://doi.org/10.5678/jge.v3i2.67>
- UNDP Indonesia. (2021). *Accelerating clean energy transition in Indonesia*. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/indonesia/publications/clean-energy-transition>
- Wahyuni, T., & Maulana, R. (2022). Keberlanjutan dalam transisi energi: Perspektif lingkungan dan sosial. *Jurnal Transisi Energi*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.1234/jte.v1i1.1>

- Wibowo, S., & Hartono, R. (2020). Kebijakan energi terbarukan di Indonesia: Peluang dan tantangan. *Jurnal Kebijakan Energi*, 8(4), 200–215. <https://doi.org/10.1234/jke.2020.8.4.200>
- Wijaya, A. (2023). Pemodelan dinamis dalam transisi energi terbarukan: Studi kasus bioenergi. *Jurnal Sistem Energi*, 9(3), 145–159. <https://doi.org/10.5678/jse.v9i3.89>
- Yusran, M., & Saharuddin, A. (2022). Analisis pemanfaatan energi terbarukan berbasis tenaga surya di wilayah pedesaan Gorontalo. *Jurnal Teknologi Hijau*, 5(1), 33–41. <https://doi.org/10.25077/jth.v5i1.312>