

Evaluasi Capaian Penurunan Emisi dari Program Pembangunan Rendah Karbon di Kabupaten Konawe Utara

Assessing Emission-Reduction Outcomes of Low-Carbon Development Programs in North Konawe Regency

Aslam Jumain¹

¹Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

¹aslamjumain@universitasbosowa.ac.id

Abstract

Low-carbon development is increasingly adopted to align greenhouse gas (GHG) mitigation with regional development goals. This study assesses the emission-reduction outcomes of low-carbon development programs in North Konawe Regency, Southeast Sulawesi, and identifies implementation constraints affecting effectiveness. A descriptive quantitative approach is applied to compiled mitigation-action records and estimated potential reductions (tCO₂eq), complemented by qualitative interpretation of technical, financial, and institutional barriers from program documentation. Results indicate that mitigation actions are concentrated in transportation, agriculture, and coastal ecosystem-based initiatives, with a cumulative potential reduction of 7,801 tCO₂eq. The largest contribution comes from mandatory vehicle testing/registration (5,692.32 tCO₂eq), followed by agricultural interventions such as rice seed procurement (1,905.10 tCO₂eq) and organic fertilizer-related actions. Mangrove planting contributes smaller but consistent reductions (60.72 tCO₂eq per reported planting activity). In contrast, waste-sector outcomes remain unquantified due to incomplete measurement and reporting. Strengthening MRV capacity, expanding collaborative financing, and improving cross-agency coordination are recommended to enhance effectiveness and scalability, supporting SDG 13 (Climate Action), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), and SDG 17 (Partnerships for the Goals).

Keywords: *Low-Carbon Development, Climate Mitigation, Emission Reduction, Subnational Governance, MRV, SDG*

Abstrak

Pembangunan rendah karbon semakin diadopsi untuk menyelaraskan mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) dengan tujuan pembangunan daerah. Penelitian ini mengevaluasi capaian penurunan emisi dari program pembangunan rendah karbon di Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara, serta mengidentifikasi kendala implementasi yang memengaruhi efektivitas program. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif berdasarkan rekap kegiatan aksi mitigasi dan estimasi potensi penurunan emisi (ton CO₂eq), yang dilengkapi interpretasi kualitatif atas hambatan teknis, pendanaan, dan kelembagaan dari dokumen pelaksanaan program. Hasil menunjukkan aksi terkonsentrasi pada sektor transportasi, pertanian, dan inisiatif berbasis ekosistem pesisir, dengan total potensi penurunan emisi kumulatif 7.801-ton CO₂eq. Kontributor terbesar berasal dari pendataan kendaraan bermotor wajib uji (5.692,32-ton CO₂eq), diikuti aksi pertanian termasuk pengadaan benih padi (1.905,10-ton CO₂eq) serta kegiatan terkait pupuk organik. Penanaman mangrove memberikan kontribusi lebih kecil namun konsisten (60,72-ton CO₂eq per kegiatan yang dilaporkan). Sebaliknya, capaian sektor limbah belum terukur karena keterbatasan pengukuran dan pelaporan. Penguatan kapasitas MRV, perluasan pembiayaan kolaboratif, dan peningkatan koordinasi lintas perangkat daerah direkomendasikan untuk meningkatkan efektivitas dan skalabilitas, sekaligus mendukung SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), SDG 11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan), dan SDG 17 (Kemitraan untuk Mencapai Tujuan).

Kata kunci: Pembangunan Rendah Karbon, Mitigasi Perubahan Iklim, Penurunan Emisi, Tata Kelola Daerah, SDGs

Pendahuluan

Keberlanjutan pembangunan kini menjadi mandat strategis yang tercermin dalam pergeseran kebijakan dari RAN/RAD-GRK menuju paradigma Pembangunan Rendah Karbon (PRK) dan Perencanaan PPRK, yang menuntut agar pengurangan emisi berjalan selaras dengan tujuan pembangunan pertumbuhan ekonomi, pengurangan kemiskinan, dan efisiensi pemanfaatan sumber daya [1]–[3]. Sejalan dengan itu, literatur mutakhir menekankan bahwa mitigasi yang cepat dan terukur pada level subnasional perlu diturunkan ke dalam portofolio aksi sektoral yang dapat dihitung secara kuantitatif dan ditopang dokumentasi pelaksanaan yang memadai, sehingga capaian program dapat dievaluasi secara lebih objektif [4]. Pada ranah tata kelola, mutu data dan pelaporan terintegrasi menjadi prasyarat transparansi dan akuntabilitas lintas sektor, terutama ketika pemerintah daerah perlu menilai capaian penurunan emisi sekaligus mengidentifikasi kendala implementasi yang memengaruhi efektivitas program [4], [5].

Kabupaten Konawe Utara berada di antara dua kawasan industri nikel besar, yakni *Indonesia Morowali Industrial Park* (IMIP) di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah, dan *Virtue Dragon Nickel Industrial Park* (VDNIP) di Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. Posisi ini menciptakan kebutuhan ganda: menjaga daya saing ekonomi wilayah dan mata pencaharian masyarakat (pertanian serta perikanan pesisir), seraya mengelola emisi dan risiko lingkungan melalui aksi mitigasi yang dapat dipertanggungjawabkan [2], [4]. Data resmi pada platform AKSARA sejak 2010 menunjukkan sepuluh aksi pembangunan rendah karbon dengan potensi penurunan emisi kumulatif 7.801-ton CO₂eq, yang terkonsentrasi pada sektor transportasi, pertanian, dan inisiatif berbasis ekosistem pesisir. Kontributor terbesar berasal dari pendataan/kelengkapan kendaraan bermotor wajib uji, diikuti aksi pertanian termasuk pengadaan benih padi serta kegiatan terkait pupuk organik, sedangkan penanaman mangrove menunjukkan kontribusi lebih kecil namun konsisten; sebaliknya, capaian sektor limbah masih belum terukur karena keterbatasan pengukuran dan pelaporan, yang merupakan pola umum pada pelaporan subnasional ketika baseline, data aktivitas, dan dokumentasi metodologis belum seragam [6]. Pada tingkat provinsi, tren emisi Sulawesi Tenggara periode 2000–2022 yang turun hingga 2019 lalu meningkat pada 2020 dan 2022 menguatkan urgensi konsistensi kebijakan serta peningkatan kualitas data antarsektor agar capaian mitigasi tidak bersifat episodik, tetapi berkelanjutan lintas tahun [5].

Secara konseptual dan empiris, transisi menuju pembangunan rendah karbon ditopang oleh tiga unsur yang saling terkait. Pertama, ketersediaan data yang tepercaya untuk menutup kesenjangan informasi dan memungkinkan evaluasi capaian penurunan emisi berbasis bukti, terutama ketika aksi mitigasi harus dilacak melalui sistem MRV yang konsisten [4], [7]. Kedua, tata kelola kolaboratif lintas pemangku kepentingan melalui pembagian peran yang jelas dan koordinasi antardinas untuk mencegah tumpang tindih program serta memperkuat kapasitas pelaksanaan [8], [9]. Ketiga, pengarusutamaan manfaat bersama (*co-benefits*) misalnya ketahanan pesisir melalui ekosistem mangrove dan peningkatan produktivitas pertanian yang memperkuat legitimasi sosial sekaligus memperbesar kelayakan pembiayaan, khususnya pada intervensi berbasis ekosistem [10], [11]. Dalam konteks percepatan sektor limbah dan energi, literatur juga menegaskan perlunya alur data MRV dan pembiayaan campuran agar opsi intervensi dapat berjalan sekaligus terukur secara kredibel [2].

Pada konteks kabupaten peri-industri seperti Konawe Utara, masih terdapat tiga kesenjangan riset yang relevan. Pertama, terbatasnya analisis terapan berbasis rekap aksi mitigasi dan pelaporan resmi yang menilai capaian penurunan emisi sekaligus menjelaskan kendala implementasi dari perspektif pemerintah daerah dan komunitas, termasuk bagaimana portofolio aksi tersusun dan sektor dominannya [2], [4]. Kedua, ketidakseragaman praktik MRV pada sektor limbah dan energi (*baseline*, faktor emisi, protokol verifikasi) menyebabkan potensi mitigasi sulit dihitung akurat meskipun opsi tersedia, sehingga memunculkan *reporting gaps* yang menghambat prioritas dan pembiayaan [6], [12]. Ketiga, minimnya kajian integratif mengenai mekanisme koordinasi antar dinas dan desain *blended finance* yang dapat mengoperasionalkan peran komunitas melalui kepemilikan data lokal dan keterbukaan informasi untuk menyalurkan pembiayaan proyek yang bankable dan bermanfaat [13]–[15].

Bertolak dari konteks tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisi tiga celah strategis dalam implementasi pembangunan rendah karbon di Kabupaten Konawe Utara. Pertama, menyajikan *baseline* terharmonisasi atas aksi mitigasi yang tercatat dalam platform AKSARA guna memberikan gambaran faktual mengenai capaian penurunan emisi dan celah sektoral yang masih ada. Kedua, mengidentifikasi kesenjangan utama dalam sistem *Measurement, Reporting, and Verification* (MRV), pembiayaan, serta koordinasi antarsektor yang memengaruhi efektivitas pelaporan dan implementasi aksi mitigasi, khususnya pada sektor limbah dan energi yang kerap menghadapi keterbatasan kuantifikasi. Ketiga, merumuskan arah penguatan kelembagaan yang bersifat operasional melalui standarisasi jalur MRV, pengembangan tata kelola kolaboratif yang akuntabel, serta penerapan skema *blended finance* yang menempatkan komunitas sebagai aktor penting dalam transisi menuju pembangunan rendah karbon yang berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif kuantitatif yang dilengkapi interpretasi kualitatif berbasis kajian dokumen untuk mengevaluasi capaian penurunan emisi dari program pembangunan rendah karbon di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Ruang lingkup/objek penelitian mencakup seluruh aksi mitigasi yang tercatat pada platform AKSARA sejak 2010 beserta estimasi potensi penurunan emisi (ton CO₂eq), serta dokumen pelaksanaan yang relevan pada sektor transportasi, pertanian, persampahan, dan inisiatif berbasis ekosistem pesisir.

Data dikumpulkan melalui kompilasi dokumen dari tiga sumber: (1) catatan resmi AKSARA yang memuat nama kegiatan, pelaksana, tahun pelaporan, sektor, dan nilai potensi penurunan emisi; (2) dokumen perencanaan dan penganggaran daerah serta dokumen pelaksanaan program pada sektor terkait; dan (3) regulasi/pedoman nasional yang digunakan sebagai rujukan verifikasi kesesuaian sektor, periode, dan status pelaporan. Rancangan kegiatan penelitian dilakukan melalui tiga tahap: pertama, inventarisasi dan kurasi dokumen untuk menyamakan identitas kegiatan, sektor, periode, dan satuan; kedua, rekapitulasi data kuantitatif dan pengelompokan aksi menurut sektor untuk memperoleh total kumulatif dan kontribusi tiap aksi; ketiga, penelusuran bukti dokumen untuk mengidentifikasi kendala implementasi (teknis, pendanaan, kelembagaan) serta menandai aksi yang belum memiliki nilai kuantitatif.

Analisis kuantitatif dilakukan secara deskriptif melalui penjumlahan dan perbandingan kontribusi potensi penurunan emisi antar-aksi dan antar-sektor hingga diperoleh total kumulatif (ton CO₂eq). Analisis kualitatif dilakukan melalui analisis isi dokumen pelaksanaan untuk mengidentifikasi hambatan teknis (keterbatasan pengukuran/pelaporan), pendanaan, dan kelembagaan/koordinasi yang memengaruhi efektivitas program. Validasi dilakukan dengan triangulasi sumber antara AKSARA, dokumen perencanaan/penganggaran/pelaksanaan, dan regulasi/pedoman untuk memastikan konsistensi data lintas sektor dan tahun. Hasil analisis disajikan dalam bentuk narasi dan tabel untuk menggambarkan komposisi portofolio aksi, capaian penurunan emisi, serta celah keterukuran terutama pada sektor limbah yang belum terkuantifikasi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Pembangunan Rendah Karbon (PRK) di Kabupaten Konawe Utara pada periode 2010–2023 diwujudkan melalui sepuluh aksi mitigasi yang tercatat dalam platform AKSARA dengan estimasi potensi penurunan emisi kumulatif sebesar 7.801-ton CO₂eq [16]. PRK merupakan pendekatan utama Indonesia dalam menyelaraskan pengendalian emisi gas rumah kaca (GRK) dengan pembangunan ekonomi daerah, dan pada tingkat subnasional dipandang strategis karena memungkinkan penerjemahan target nasional ke dalam program sektoral yang kontekstual, meskipun implementasinya kerap dibatasi oleh kapasitas teknis, pendanaan, dan koordinasi lintas perangkat daerah [17]. Aksi mitigasi di Kabupaten Konawe Utara terkonsentrasi pada sektor transportasi, pertanian, dan

rehabilitasi pesisir, dengan kontribusi terbesar berasal dari pendataan kendaraan bermotor wajib uji (Uji KIR), diikuti intervensi pertanian dan penanaman mangrove, yang menegaskan perlunya penguatan sistem *Measurement, Reporting, and Verification* (MRV) agar klaim penurunan emisi dapat diverifikasi secara andal.

Tabel 1 berikut merangkum contoh aksi mitigasi yang tercantum dalam AKSARA dan nilai potensi penurunan emisinya. Tabel ini menjadi dasar uraian fakta hasil, sekaligus menunjukkan bahwa sektor limbah masih menghadapi celah kuantifikasi karena “belum terukur” pada beberapa aktivitas.

Tabel 1 Aksi Mitigasi di Kabupaten Konawe Utara Berdasarkan Data AKSARA

No	Nama Kegiatan	Pelaksana	Tahun	Potensi Penurunan Emisi (ton CO ₂ e _q)
1	Pendataan Kendaraan Bermotor	Dishub Konawe Utara	2022	5.692,32
2	Penanaman Mangrove	DLH Konawe Utara & PT ANTAM	2021–2022	121,44
3	Penggunaan Pupuk Organik	D'TPP Konawe Utara	2022–2023	112,93
4	Pengendalian Bencana Pertanian	D'TPP Konawe Utara	2022	5,87
5	Pembangunan TPA dan pengangkutan sampah	DLH Konawe Utara	2021–2022	Belum terukur

Secara agregat, capaian PRK Kabupaten Konawe Utara pada periode 2010–sekarang menunjukkan potensi penurunan emisi 7.801-ton CO₂e_q, atau sekitar 0,05% dari kontribusi Provinsi Sulawesi Tenggara terhadap pengurangan emisi GRK nasional [16]. Visual ringkas capaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 1, yang menampilkan jumlah aksi, total potensi penurunan emisi, dan persentase kontribusi terhadap provinsi. Walaupun angka ini menunjukkan komitmen awal yang positif, evaluasi efektivitas program tetap memerlukan ketelitian pada kualitas data aktivitas, transparansi asumsi perhitungan, serta keberlanjutan program lintas tahun. Studi terdahulu menegaskan bahwa tanpa MRV yang konsisten dan terdokumentasi, angka potensi penurunan emisi berisiko sulit dibandingkan antarperiode dan antarwilayah, serta sulit digunakan untuk membuka akses pembiayaan kolaboratif [2], [4].



Gambar 1 Rekapitulasi Capaian Pembangunan Rendah Karbon di Kabupaten Konawe Utara (2010–Sekarang)

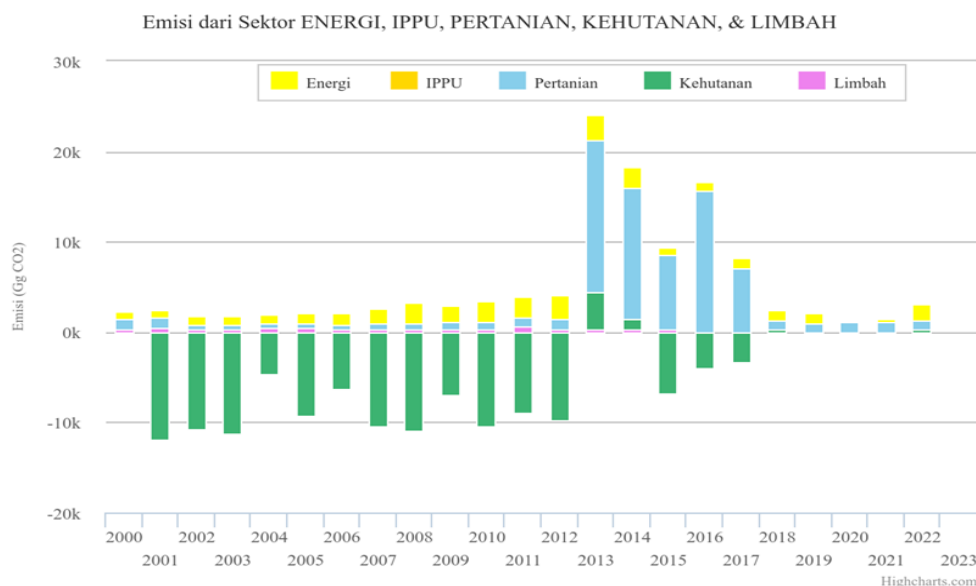
Hasil kompilasi juga menunjukkan ketimpangan kuantifikasi antar sektor. Transportasi mendominasi kontribusi (Uji KIR), sedangkan sektor pertanian dan pesisir memberikan kontribusi moderat hingga kecil, dan sektor limbah belum terukur pada beberapa aktivitas. Dalam konteks mitigasi berbasis lahan/ekosistem, penanaman mangrove memang kerap menghasilkan angka penurunan emisi yang lebih kecil pada horizon pendek, namun menyediakan ko-benefit adaptasi dan penghidupan pesisir sehingga tetap relevan untuk portofolio PRK daerah [10], [18]. Untuk sektor pertanian, praktik pengelolaan input dan budidaya termasuk perbaikan manajemen lahan dan nutrisi diakui sebagai bagian dari opsi mitigasi yang dapat memberikan manfaat produktivitas sekaligus menurunkan emisi, tetapi memerlukan monitoring agar estimasi penurunannya tidak sekadar berbasis asumsi [18], [19]. Karena itu, kebutuhan peningkatan akurasi data melalui penguatan MRV menjadi isu kunci agar laporan AKSARA tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Dari sisi regulatif, pergeseran kebijakan menuju PRK dan penguatan penyelenggaraan nilai ekonomi karbon melalui Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 menegaskan pentingnya *baseline*, metodologi, dan konsistensi faktor emisi dalam pelaporan penurunan emisi [17]. Namun, temuan pada portofolio aksi Konawe Utara menunjukkan implementasi masih didominasi intervensi “konvensional” yang relatif mudah

dilaporkan (transport, pertanian, pesisir), sementara sektor limbah dan energi yang dalam literatur sering disebut memiliki potensi mitigasi tinggi tetapi kompleks pada sisi data masih belum terintegrasi secara optimal dalam perencanaan dan pelaporan daerah [4], [6]. Ketiadaan atau minimnya kegiatan *waste-to-energy*, penangkapan gas TPA, serta efisiensi energi juga konsisten dengan karakter hambatan umum di tingkat subnasional: keterbatasan data aktivitas, lemahnya penetapan *baseline*, serta belum matangnya dukungan kelembagaan dan pembiayaan untuk intervensi yang lebih kompleks.

Tantangan implementasi yang teridentifikasi dapat diringkas pada tiga ranah yang saling terkait. Pertama, kendala teknis berupa keterbatasan data aktivitas dan faktor emisi lokal menyebabkan sebagian kegiatan tidak dapat dihitung secara kuantitatif, sehingga pelaporan sektor limbah menjadi lemah dan tidak *comparable* [4]. Kedua, dari sisi pembiayaan, program masih dominan bertumpu pada APBD, sementara literatur menekankan pentingnya pembiayaan kolaboratif/ *blended finance* untuk mempercepat investasi iklim di tingkat lokal terutama pada infrastruktur limbah dan energi yang membutuhkan biaya besar dan horizon manfaat lebih panjang [15], [20], [21]. Ketiga, dari sisi kelembagaan, koordinasi lintas perangkat daerah yang belum mapan berisiko memunculkan tumpang tindih program dan melemahkan konsistensi *output–outcome*, padahal praktik subnasional yang efektif umumnya menekankan mekanisme koordinasi formal, akuntabilitas kinerja, dan penguatan kapasitas MRV lintas sektor [22].

Selain potret kabupaten, AKSARA juga menunjukkan dinamika emisi pada tingkat provinsi. Tren emisi GRK Sulawesi Tenggara menurun pada 2000–2019, lalu meningkat pada 2020 dan 2022 (AKSARA Bappenas, 2024). Informasi ini menguatkan urgensi konsistensi kebijakan dan kualitas data antarsektor, terutama dalam konteks wilayah peri-industri yang menghadapi tekanan ekonomi sekaligus risiko lingkungan. Visual tren tersebut ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan kontribusi sektoral termasuk peran sektor kehutanan sebagai penyerap karbon, sementara sektor energi dan IPPU muncul sebagai penyumbang emisi yang signifikan.



Gambar 2 Tren Emisi GRK Sulawesi Tenggara Berdasarkan Sektor (2000–2022)

Bertolak dari temuan di atas, arah penguatan yang paling operasional menekankan tiga fokus: standarisasi MRV, penguatan tata kelola kolaboratif, dan pembiayaan berkelanjutan. Standarisasi MRV diperlukan untuk memastikan kelengkapan data aktivitas, konsistensi *baseline*, dan keterlacakan asumsi perhitungan sehingga angka penurunan emisi dapat diverifikasi serta digunakan untuk mengakses dukungan pembiayaan dan kemitraan [4]. Pada pembiayaan, desain *blended finance* yang menggabungkan APBD, swasta/CSR, dan dukungan hibah/iklim dinilai relevan agar intervensi kompleks (limbah dan energi) dapat direalisasikan tanpa membebani fiskal daerah secara tunggal [20], [21]. Pada aspek kelembagaan, penguatan koordinasi

lintas perangkat daerah melalui mekanisme kinerja dan akuntabilitas membantu menjaga koherensi program sektoral dengan target iklim, sekaligus meningkatkan disiplin pelaporan dan evaluasi [22]. Secara keseluruhan, penguatan tersebut juga relevan untuk memperkuat kontribusi daerah terhadap target iklim nasional dan agenda pembangunan berkelanjutan, termasuk dukungan pada SDG 13, SDG 11, dan SDG 17 sebagaimana ditekankan dalam literatur implementasi program iklim subnasional.

Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa pembangunan rendah karbon (PRK) di Kabupaten Konawe Utara telah menunjukkan kemajuan awal melalui pelaksanaan 10 kegiatan mitigasi yang berkontribusi pada penurunan emisi kumulatif sebesar 7.801-ton CO₂eq sejak 2010. Aksi-aksi tersebut mencakup sektor transportasi, pertanian, dan rehabilitasi pesisir, yang selaras dengan arah kebijakan nasional sebagaimana diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 dan RPJMN 2020–2024. Namun, hasil analisis juga mengungkap adanya kesenjangan pada sektor limbah dan energi yang belum diintervensi secara optimal, serta keterbatasan data aktivitas dan faktor emisi lokal yang menghambat pelaporan berbasis MRV sesuai Permen LHK tahun 2017.

Keterbatasan pembiayaan yang masih bergantung pada APBD dan lemahnya koordinasi antar-perangkat daerah memperkuat temuan bahwa kapasitas teknis dan tata kelola menjadi kunci keberhasilan implementasi PRK di tingkat kabupaten. Oleh karena itu, penguatan kapasitas sumber daya manusia, standarisasi praktik MRV, pembaruan *baseline* dan faktor emisi sesuai amanat PP No. 98 Tahun 2021, serta penerapan mekanisme pembiayaan inovatif seperti *blended finance* merupakan langkah strategis yang perlu diambil. Dengan mengintegrasikan penguatan MRV, tata kelola kolaboratif, dan pembiayaan berkelanjutan, Pemerintah Kabupaten Konawe Utara dapat meningkatkan efektivitas program mitigasi sekaligus memperluas manfaat sosial-ekonomi bagi masyarakat. Upaya ini juga akan memperkuat kontribusi daerah terhadap pencapaian *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia dan mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG 13 dan SDG 17) pada tingkat lokal, nasional, dan global.

Daftar Rujukan

- [1] I. Alviya, T. Sarker, H. Sarvaiya, and M. S. Iftekhhar, "Role of the Land-Based Private Sector in Low-Emission Development: An Indonesian Case," *Sustainability*, vol. 13, no. 24, p. 13811, 2021, doi: 10.3390/su132413811.
- [2] M. A. Brown *et al.*, "Translating a Global Emission-Reduction Framework for Subnational Climate Action: A Case Study From the State of Georgia," *Environmental Management*, vol. 67, no. 2, pp. 205–227, 2021, doi: 10.1007/s00267-020-01406-1.
- [3] R. Djamal, A. Handayani, and T. Risandewi, "The Readiness of Local Regulations in Supporting Low Carbon Development in Central Java Indonesia," *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 1016, no. 1, p. 12044, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1016/1/012044.
- [4] R. Cong, M. Saito, T. Fukui, R. Hirata, and A. Ito, "A High-Resolution, Spatially Explicit Estimate of Fossil-Fuel CO₂ Emissions From the Tokyo Metropolis, Japan," 2021, doi: 10.21203/rs.3.rs-17565/v4.
- [5] A. Jumain, "Community Transformation Towards Sustainability: Strengthening Community Understanding of Low-Carbon Development," *Applied Community Transformation and Sustainability Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 50–56, 2025, doi: <https://journal.ygtmi.org/acts/article/view/21>.
- [6] K. C. Goh *et al.*, "Strengthening Infrastructure Resilience for Climate Change Mitigation: Case Studies From the Southeast Asia Region With a Focus on Wastewater Treatment Plants in Addressing Flooding Challenges," *Acc Es&st Water*, vol. 4, no. 9, pp. 3725–3740, 2024, doi: 10.1021/acsestwater.4c00591.
- [7] UNFCCC, *United Nations Climate Change Annual Report 2022*. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023.
- [8] J. Wesche, M. Löhr, and D. J. Hess, "Only Changing Policy? The Role of Coalitions in Sustainability Transitions," 2024, doi: 10.33774/coe-2024-twdx.

- [9] S. Winkler-Portmann, "Knowledge Transfer Supporting Sustainable Development: Implications for Regional Intermediaries," 2021, doi: 10.46850/sofia.9783941627970.
- [10] M. S. M. Aris, C. Nuraini, and F. Milanie, "Directions for the Development of Coastal Area Infrastructure in Natal Sub-District, Mandailing Natal Regency, Indonesia," *International Journal on Livable Space*, vol. 9, no. 1, pp. 15–31, 2024, doi: 10.25105/livas.v9i1.19651.
- [11] L. Gandharum, D. M. Hartono, A. Karsidi, and M. Ahmad, "Monitoring Urban Expansion and Loss of Agriculture on the North Coast of West Java Province, Indonesia, Using Google Earth Engine and Intensity Analysis," *The Scientific World Journal*, vol. 2022, pp. 1–16, 2022, doi: 10.1155/2022/3123788.
- [12] A. Hamzah and V. E. S. Paliling, "Strategic Implementation of Nationally Determined Contributions for Waste-to-Energy Utilization in Indonesia," *Indonesian Journal of Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 58–65, 2024, doi: 10.33116/ije.v7i1.200.
- [13] K. Alhaq, T. Nursyamsiah, and M. Muthohharoh, "Green Sukuk Development Strategy in Indonesia: ANP-SWOT Approach," *Iqtishadia Jurnal Kajian Ekonomi Dan Bisnis Islam*, vol. 16, no. 1, p. 101, 2023, doi: 10.21043/iqtishadia.v16i1.16312.
- [14] M. O. Damanik and A. Y. S. Rahayu, "Kolaborasi Pencegahan Kebakaran Hutan Dan Lahan Di Provinsi Riau Ditinjau Dari Model Tata Kelola Kolaboratif," *Publikauma Jurnal Administrasi Publik Universitas Medan Area*, vol. 9, no. 2, pp. 44–54, 2021, doi: 10.31289/publika.v9i2.5922.
- [15] OECD, *Investment Policy Reviews: Indonesia 2020*. OECD Publishing, 2021.
- [16] Kementerian PPN/Bappenas, "AKSARA: Platform Pemantauan Pembangunan Rendah Karbon dan Ketahanan Iklim," *Bappenas*, 2024. <https://pprk.bappenas.go.id/aksara> (accessed Jan. 15, 2025).
- [17] Peraturan Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional," 2021.
- [18] IPCC, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2022.
- [19] X. Gu, S. Weng, Y. Li, and X. Zhou, "Effects of Water and Fertilizer Management Practices on Methane Emissions From Paddy Soils: Synthesis and Perspective," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 12, p. 7324, 2022, doi: 10.3390/ijerph19127324.
- [20] D. G. G. Basílio, F. C. d. Costa, C. G. Chai, M. F. Carneiro, R. S. R. Riani, and G. F. O. M. Batalha, "Technical Cooperation Agreement With Subnational Governments: Case Study of Plan Piauí, 2030," *Beijing Law Review*, vol. 14, no. 03, pp. 1580–1595, 2023, doi: 10.4236/blr.2023.143085.
- [21] A. S. Sudarwanto and D. Daryanti, "Examining Legal Tools in Encouraging the Achievement of Net Zero Emission: A Way Forward for Indonesia," *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 1438, no. 1, p. 12018, 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1438/1/012018.
- [22] F. Lima-Silva and M. R. Loureiro, "Beyond Local (In)capacity: Analyzing the Implementation of a Federally Induced Urban Policy in Brazil," *Revista Do Serviço Público*, vol. 71, no. b, pp. 116–143, 2020, doi: 10.21874/rsp.v71ib.4084.