

## SIMULASI INSTRUMEN *CARBON CREDIT* PADA ENERGI TERBARUKAN: KASUS PEMBERDAYAAN PERDESAAN GUNUNG HALU

Tiara Verita Yastica<sup>1\*</sup>, dan Meldi Rendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi no. 1, Bandung 40257, Indonesia

\*E-mail: [tiaraverita@telkomuniversity.ac.id](mailto:tiaraverita@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan sumber penting dalam produksi listrik di daerah Gunung Halu dengan memanfaatkan energi terbarukan. Pada Tahun 2022, produksi energi Jawa Barat sebesar 12,666 MW dan energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga air adalah sebesar 2,259 MW. Listrik yang dihasilkan dari energi terbarukan dapat dikembangkan melalui skema perdagangan emisi. Tujuan dari kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah mengusulkan teknologi untuk pendokumentasian emisi yang dapat diterapkan dalam skema perdagangan emisi yang merupakan salah satu bentuk *carbon pricing*. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan alternatif praktik terbaik dalam skenario pemberdayaan pedesaan yaitu jenis skema perdagangan emisi.

**Kata Kunci:** *hydropower, renewable energy, carbon credit*

### 1. Pendahuluan

Perdagangan emisi merupakan salah satu skema yang ditetapkan untuk mengurangi emisi dan bertujuan mencapai tujuan iklim global. Perdagangan emisi karbon dan pajak karbon adalah bentuk mekanisme bagi negara-negara untuk memenuhi piagam Perjanjian Paris yang berfokus pada isu perubahan iklim dengan tujuan utama adalah menjaga tingkat kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2 derajat celsius di atas level pra-industri (UNFCCC, 2020). Skema perdagangan emisi karbon sedang dilakukan di Tiongkok, Uni Eropa, dan beberapa negara lainnya. Pada Tahun 2021, tunjangan perdagangan emisi bernilai 7-63 euro per ton karbon dioksida di pasar karbon Tiongkok dan Uni Eropa (EMBER, 2023).

Permasalahan yang dihadapi adalah dampak negatif dari penggunaan sumber energi konvensional terhadap lingkungan, terutama terkait dengan emisi gas rumah kaca. Saat ini, dunia menghadapi tantangan serius dalam mengelola dampak perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energi. Emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) menjadi kontributor utama pada pemanasan global.

Pemanfaatan energi terbarukan merupakan salah satu bentuk solusi berkelanjutan dalam menghadapi masalah emisi global tersebut. Sumber-sumber alam yang dapat dimanfaatkan dalam bentuk tenaga surya, angin, tenaga air, panas bumi, tidal, biomassa dan lautan. Sumber-sumber alternatif berpotensi untuk mengatasi dampak pemanasan global dan juga memberikan kontribusi yang lebih luas terhadap kualitas sosial

ekonomi dalam mengakses energi dan konservasi alam. Jaringan energi dengan pembangkit listrik tenaga air menjadi perhatian semua sumber energi terbarukan di Tiongkok, Jerman, dan Amerika Serikat yang merupakan *trend setter* yang mengarah pada keberlanjutan energi untuk mencapai permintaan energi yang besar.

Di Indonesia mengingat lebih dari 0,25 miliar orang membutuhkan akses terhadap listrik (Statistik, 2023). Terutama daerah pedesaan yang jauh dari jaringan listrik dapat menjadi proyek energi terbarukan yang penting untuk didistribusikan dan seringkali hemat biaya dengan perdagangan karbon emisi sebagai salah satu opsi perdagangan emisi. Konsep energi bersih memberikan pilihan terhadap emisi dan juga dilengkapi dengan sumber terbarukan dengan dampak lingkungan yang tinggi, dan menjadi alternatif pergantian bahan bakar fosil. Energi terbarukan menghasilkan lebih sedikit emisi, umumnya nol emisi karbon (Yuan, Su, Umar, Shao, & LOBONT, 2022).

Selain emisi, sumber energi terbarukan dapat memberikan dampak positif yang besar terhadap lanskap sosial dan jauh lebih bersih dibandingkan sumber energi fosil. Meskipun energi ramah lingkungan jauh lebih lambat dibandingkan kemajuan yang ditargetkan dalam meningkatkan pengurangan emisi secara signifikan. Tantangan utama dalam pengurangan emisi adalah penggunaan energi berkelanjutan: ketersediaan teknologi, konservasi alam, dan sistem terintegrasi. Untuk memanfaatkan penggunaan energi berkelanjutan, ketersediaan eksplorasi energi terbarukan secara spesifik masih bergantung pada potensi lokasi, kemungkinan alat atau mesin, dan sumber daya terbarukan. Dalam material kita juga membutuhkan unsur kimia

silikon, tembaga, indium, selenium, dan galium dalam jumlah besar.

Perkembangan perdagangan emisi membentuk pasar jual beli untuk mengeluarkan sejumlah karbon dioksida yang diberi izin. Tujuannya adalah memitigasi kontribusi keseluruhan terhadap perubahan iklim global dan secara bertahap mengurangi emisi karbon. Hal ini menjadi perdebatan mengenai langkah-langkah dan peraturan yang menunjukkan insentif berbasis pasar dengan memberi penghargaan kepada perusahaan-perusahaan yang berhasil mengurangi emisi dan membebaskan biaya kepada perusahaan-perusahaan yang tidak mampu melakukan pengurangan emisi.

Ide awal datang dari Protokol Kyoto yang menerapkan mekanisme pembatasan dan perdagangan untuk memitigasi perubahan iklim. Insentif dapat diberikan untuk mengurangi emisi karbon agar dapat memperoleh izin untuk melakukan monetisasi. Kondisi ini dapat ditransfer dari negara-negara kaya ke negara-negara miskin yang mengupayakan tindakan konservasi ekologi dan energi terbarukan. Protokolnya adalah bahwa negara-negara komersial dan industri perlu mengurangi jumlah emisi karbon. Ketika suatu negara memasok bahan bakar fosil dan mengeluarkan karbon dioksida, ada beberapa kerugian yang ditimbulkan akibat perubahan iklim. Hal ini disebut dengan eksternalitas negatif, yaitu konsumsi mempunyai sisi negatif.

Pasar perdagangan karbon regional akan menciptakan pasar tersendiri di tingkat provinsi. Beberapa negara: Amerika Serikat, Provinsi Kanada, Tiongkok telah mulai berkolaborasi dengan banyak perusahaan di sektor energi dan merancang pemberdayaan pedesaan untuk mencapai target mencapai netralitas karbon. Model terpusat dapat menjadi pendekatan terpadu untuk memberlakukan dan membangun hubungan antara pemberdayaan pedesaan dan sektor swasta. Kerangka kerja ini dapat membantu negara kita memenuhi target emisi. Berdasarkan perjanjian lokal yang baru, dibentuk dana emisi karbon untuk membantu pemberdayaan energi pedesaan dalam mengatasi pengurangan emisi. Kerangka kerja baru ini berpotensi memberikan tekanan pada pasar dan memungkinkan pihak ketiga membayar sejumlah karbon dioksida. Perdagangan ini secara transparan menciptakan penghitungan karbon untuk menghitung keluaran dan dampak yang dihasilkan oleh perusahaan, masyarakat, dan pemerintah.

Pengukuran emisi karbon dapat dilakukan dengan melihat jumlah kWh, salah satu caranya adalah dengan pemantauan kWh meter melalui IoT. Kegiatan ini membangun alat interaktif baru yang membantu pasar terhubung ke pembangkit listrik yang ada dan mencatat simulasi dari pembangkit listrik yang menetapkan harga karbon,

serta memenuhi jalur kredit karbon yang ditentukan. Pendokumentasian emisi karbon khusus menampilkan konversi karbon per metrik ton. Rangkaian data ini memungkinkan pasar untuk beralih ke desain penetapan harga karbon. Simulasi ini digunakan untuk menghitung emisi karbon, program pembatasan dan perdagangan, kaitannya dengan harga bensin, dan konservasi bersih.

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilakukan di Desa Gunung Halu, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Pada salah satu dusun di Desa Gunung Halu terdapat PLTMH yang sudah berdiri dari tahun 2007. Masyarakat sekitar memanfaatkan aliran dari Sungai Ciputri sebagai sumber pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari. Hasil simulasi distribusi berasal dari model yang menghitung dampak pengurangan bensin dan usaha pelestarian ekologi. Model ini digunakan untuk memperkirakan perubahan pengeluaran energi di berbagai wilayah dan menciptakan energi terbarukan berdasarkan potensi, geografi, dan informasi demografis. Kegiatan ini mengevaluasi dampak ekologis dan ekonomi dari pengurangan emisi karbon dengan model tertentu. Dalam analisis ini, kami mempertimbangkan lima gas rumah kaca: metana, nitrogen oksida, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, dan CO<sub>2</sub> yang tidak terkait dengan energi.

## 2. Metodologi

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini diawali dengan aktivitas survey lokasi dan diskusi dengan perangkat desa yang selama ini berhubungan langsung dengan PLTMH. Tim pengabdian masyarakat juga menyampaikan rencana kegiatan yang akan dilakukan yang kemudian dilanjutkan dengan pemasangan alat pemantauan kWh meter pada aliran PLTMH.

Instrumen yang digunakan adalah meteran energi wifi smart life 3 fasa yang dipadang pada pembangkit listrik tenaga air di Desa Gunung Halu. Instrumen tersebut digunakan untuk membuat sistem pemantauan indikator arus, tegangan, dan generator secara efisien dan efektif. Data instrumen yang dihasilkan dapat digunakan dalam sistem turbin, tegangan dan daya bekerja dengan baik. Sistem ini dapat menghasilkan pemantauan pembangkit listrik tenaga air berbasis IoT untuk memaksimalkan daya, namun pada kegiatan ini fungsinya dapat diubah menjadi instrumen emisi karbon. Kami menggunakan jaringan seluler 4G, ponsel pintar, komputer, dan sensor kekuatan medan magnet.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pemasangan instrumen dilakukan untuk mendapatkan data dari pembangkit listrik tenaga air di Desa Gunung Halu. Data yang dikumpulkan dari alat tersebut dapat dipantau langsung melalui

ponsel pintar. Dengan demikian masyarakat desa terutama operator PLTMH dipermudah dengan adanya data energi listrik yang dapat dilihat melalui ponsel. Petugas tidak perlu lagi berjalan jauh ke turbin pembangkit listrik untuk memantau keadaan PLTMH. Pada gambar di bawah dapat dilihat hasil pemasangan instrumen.



Gambar 1. Pemasangan Instrumen

### 1. Pembangkit Listrik Tenaga Air sebagai Sumber Listrik

Metode sumber daya listrik yang paling populer adalah tenaga air yang pada dasarnya dianggap sesuai untuk kredit karbon dan sumber pembangkit non-fosil. Pembangkit listrik tenaga air juga memberikan kemajuan dalam praktik keberlanjutan dalam skala mikro, yang direplikasi dalam pemberdayaan pedesaan oleh banyak pemangku kepentingan: komunitas sosial-ekonomi, organisasi non-pemerintah, dan badan lingkungan hidup dunia. Saat ini pembangkit listrik tenaga air dapat menyumbang 16% dari sumber listrik global dan 4% dari tingkat pertumbuhan rata-rata per tahun dan telah meningkat di pasar negara berkembang. Dalam hal keberlanjutan, pembangkit listrik tenaga air berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim, fleksibilitas konstruksi, peningkatan permintaan pemberdayaan pedesaan, energi alternatif, dan sumber air tawar.

Pemberdayaan pedesaan membutuhkan pembangkit listrik tenaga air (mikrohidro dan minihidro) karena lahan basah tropis Indonesia merupakan potensi pembangkit listrik tenaga air yang besar dengan kapasitas 95 GW (ESDM, 2021). Sumber daya tersebut masih dapat ditemukan dalam beberapa dekade mendatang dimana lebih dari 70% berada di Sumatera, Sulawesi, Papua, dan Kalimantan. Pembangkit listrik tenaga air besar pertama di Indonesia dibangun dan beroperasi pada tahun 1880-an di Perkebunan Belanda dan Pertambangan Emas Hindia. Namun baru pada tahun 1950-an wilayah Indonesia dieksploitasi lebih luas dengan dibangunnya pabrik Jatiluhur di Sungai Citarum (ESDM, 2021).

Pembangkit listrik tenaga air harus dieksploitasi dengan hati-hati, karena lahan basah

tropis Indonesia adalah bioma terbesar, spesies fauna dan flora yang tak terhitung jumlahnya, dan penghuni bawaan tradisional. Pembangkit listrik tenaga air dapat menimbulkan kerugian besar, hilangnya keanekaragaman hayati, perpindahan penduduk, dan menimbulkan dampak sosio-ekonomi.

### 2. Keberlanjutan Pembangkit Listrik Tenaga Air

Sumber daya terbarukan tidak menyebarkan gas rumah kaca dan memberikan dampak signifikan terhadap ekologi sebagai utilitas utama. Pembangunan pembangkit listrik tenaga air juga dapat memberikan dampak terhadap penduduk penduduk lokal. Pembangkit listrik tenaga air skala mini atau mikro tidak dapat memberikan dampak yang signifikan dibandingkan pembangkit listrik berukuran besar. Pembangkit listrik tenaga air yang besar menimbulkan kerugian besar pada sistem biologis setelah adanya penghalang bendungan yang menyebabkan terisolasinya ekosistem perairan, terciptanya gas metana, dan efek rumah kaca yang tinggi.

Mini-mikro (Pembangkit Listrik Tenaga Air Kecil) dapat menjadi alternatif pemanfaatan penggunaan listrik yang memerlukan pembangunan waduk skala kecil. Pembangkit ini dapat digunakan untuk sambungan off grid agar layak secara teknis dan ekonomis. Situasi ini dapat meningkatkan laju elektrifikasi karena sebagian besar memanfaatkan pemberdayaan pedesaan. Hal ini menunjukkan masih adanya wilayah lokal yang belum berkembang secara signifikan di dataran tinggi dengan hutan lahan basah. Selain itu, teknologi yang dimiliki sudah matang, secara teknis murah dengan biaya energi yang terus meningkat dengan laju yang semakin cepat. Mengangkat kepedulian lingkungan dan sosial, pembangkit listrik tenaga air skala kecil menjadi pilihan selama 10 tahun terakhir untuk melanjutkan laju elektrifikasi dalam jangka pendek dan menengah.

### 3. Mode Aliran Air Sungai

*Small hydro project* merupakan energi yang berasosiasi dengan energi kinetik air yang mengalir, tanpa bendungan dan pembangkit listrik. Ini melibatkan pekerjaan sipil dan peralatan pemutar turbin untuk mengambil energi potensial dari air yang dialirkan. *Small hydro project* umumnya dipasang pada saluran masuk air, saluran, *forebay*, saluran pelimpah, *penstock*, *power house*, dan *tail race*. *Forebay* adalah konstruksi yang mengganggu ketinggian normal sungai sehingga membentuk ketinggian air yang memadai untuk memanfaatkan potensi energi kinetik. *Penstock* terdiri dari pipa-pipa yang mengalirkan air ke turbin di pembangkit tenaga listrik yang berupa sudu-sudu seri yang dibentuk pada sumbu yang dipasang pada generator. Energi tersebut berasal dari bilah berputar yang

mengubah energi menjadi listrik oleh generator. Jenis turbin air adalah francis, kaplan, pelton dan bulbo. Turbin digunakan dengan operasi tertentu yang aliran jatuhnya dan ketinggiannya harus disesuaikan.

Mode aliran air sungai dapat dipasang dengan ketinggian antara 15 meter dan 50 meter, dengan daya hingga 100 kW. Pembangkit listrik dapat bebas dari segala jenis pemberitahuan, otorisasi, dan kewajiban apa pun. *Small hydro project* memasok konsumen pedesaan dan tidak memerlukan fasilitas dan transmisi yang canggih untuk pengoperasian dan investasi.

#### 4. Sistem Pemantauan Jarak Jauh *Small hydro project*

Perdagangan kredit karbon memerlukan pemantauan yang terdokumentasi untuk membuktikan aktivitas pembangkit listrik, dan agar dapat menghitung jumlah karbon dioksida yang dapat dikurangi sebagai kontribusi terhadap perubahan iklim. *Small hydro project* yang dilengkapi dengan lanskap terpencil seringkali kesulitan untuk mengumpulkan data secara manual, berkala, dan singkat. Kendalanya juga muncul dari cara pengumpulan data dan bagaimana agar dapat diperjualbelikan dalam mekanisme karbon.

Permasalahan yang dipecahkan adalah dengan menciptakan sistem pemantauan emisi karbon berbasis IoT. Data yang terdokumentasi dapat digunakan untuk pemantauan emisi karbon berdasarkan tegangan dan arus dengan jaringan seluler 4G. Data dapat dengan mudah dipantau melalui internet dengan menggunakan smartphone atau komputer. Perangkat monitoring dipasang pada sistem input-output untuk melihat parameter secara langsung, dan dapat mengekstrak parameter langsung dari sistem. Parameter strategis dapat disimpulkan dan memungkinkan untuk

pengumpulan kumpulan data. Perangkat ini bekerja lebih efisien untuk menyediakan data secara real-time dan melihat secara pasti kondisi pembangkit listrik pada titik waktu tertentu.

#### 4. Kesimpulan

Untuk memberikan informasi yang dapat diakses mengenai pemantauan emisi karbon terkait energi saat ini, pemantauan diproses dengan pemantauan IoT untuk menganalisis sistem dinamis dan memproses data. Perangkat ini dapat mengembangkan serangkaian indikator energi menjadi data primer dan sekunder untuk menyediakan pengukuran indikator keberlanjutan. Indikator-indikator ini diuraikan untuk menjembatani kesenjangan antara perangkat dan bisnis perdagangan emisi karbon dengan mengumpulkan dan menganalisis data IoT pada perangkat yang terhubung, dikelola dengan model skala web. Keberhasilan kinerja IoT ujung ke ujung bergantung pada perangkat pintar, *gateway*, pengumpulan informasi, dan korelasi pada *dashboard* yang dapat disesuaikan yang divisualisasikan dengan desain skala web.

Perangkat ini akan membantu mengevaluasi dan menganalisis efisiensi energi dan teknologi pemantauan canggih untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat akan program sosial ekonomi dan perdagangan emisi karbon. Hal ini juga meningkatkan transparansi informasi di pasar emisi karbon dan mengurangi distorsi asimetris pasar. Semua sektor dapat menukar pasar emisi karbon dengan insentif yang sesuai dengan kemampuan. Tujuan utama dari perangkat ini sebagai titik awal adalah serangkaian perdagangan emisi karbon yang dapat diterima dan lebih dapat dipahami.

#### 5. Referensi

- Ember, *Carbon Price Tracker 2023*, <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>
- ESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2021.
- Statistik, Pusat Badan., *Proyeksi Penduduk Indonesia 2020-2050 2023*, Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- UNFCCC, The Paris Agreement, *United Nations Climate Change 2020*, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.
- Yuan, X., Suchi-Wei, Umar, M., Shao, X., and Lobonto, A., The race to zero emission: Can renewable energy be the path to carbon neutrality, *Journal of Environmental Management* 2023, 308.