

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

## Carbon Zero Urban melalui CAC-RC IoT dan Energi Terdistribusi menuju Kota Swasembada

Henida Putri Salsabila<sup>\*1</sup>, Amila Fitri Lutfi'ah<sup>2</sup>, Syaifia Imaul Hasanah<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup> Program Studi Pariwisata, Universitas Sebelas Maret

<sup>3</sup> Program Studi Kebidanan, Universitas Sebelas Maret

e-mail: henidaputri@student.uns.ac.id

### Abstrak

Perubahan iklim akibat peningkatan emisi karbon dioksida ( $CO_2$ ) menjadi tantangan serius di kawasan perkotaan Indonesia, seiring tingginya konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil. Kondisi ini menuntut adanya solusi inovatif yang tidak hanya menekan emisi, tetapi juga mendorong kemandirian energi kota. Kegiatan pengabdian masyarakat ini mengusulkan konsep Carbon Zero Urban (CZU) sebagai pendekatan kota swasembada energi melalui integrasi teknologi Carbon Air Capture and Recycling (CAC-RC), energi terbarukan, Internet of Things (IoT), dan sistem distributed smart energy. Metode yang digunakan meliputi perancangan konseptual sistem CAC-RC berbasis energi surya dan angin, analisis potensi penerapan di kawasan perkotaan, serta integrasi IoT untuk pemantauan dan pengendalian emisi  $CO_2$  serta distribusi energi secara real-time. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsep CZU berpotensi menurunkan konsentrasi  $CO_2$  atmosfer dengan mengonversinya menjadi metanol hijau sekaligus menyediakan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Integrasi energi terbarukan dan jaringan pintar memungkinkan optimalisasi distribusi energi serta partisipasi masyarakat dalam pengelolaan energi. Kesimpulannya, konsep CZU merupakan solusi strategis dan berkelanjutan untuk mendukung mitigasi perubahan iklim dan pembangunan smart green city di Indonesia.

**Kata kunci**—Carbon Zero Urban, CAC-RC, Internet of Things, energi terbarukan, distributed smart energy

### PENDAHULUAN

#### *Heading 2/Subbagian*

Cuaca yang tidak menentu merupakan salah satu dampak dari perubahan iklim, isu lingkungan global yang masih relevan hingga saat ini. Hal ini berakar dari pemanasan global, yang terjadi akibat penangkapan sinar matahari di atmosfer Bumi sebagai konsekuensi meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (Natural Resources Defense Council, 2016). Berdasarkan data dari Badan Energi Internasional (IEA) pada tahun 2015, sektor penggunaan energi menyumbang sebagian besar terhadap peningkatan kadar gas rumah kaca, yaitu mencapai 68%. Secara rinci, kontribusi tersebut berasal dari sektor energi sebesar 63%, sektor kehutanan 18%, sektor pertanian 13%, dan sektor limbah rumah tangga 3%. Pencemaran CO<sub>2</sub> baik di Indonesia maupun di seluruh dunia menunjukkan tren peningkatan

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

yang signifikan hingga awal tahun 2021 (BMKG, 2021). Tiga faktor utama yang berkontribusi terhadap tingginya emisi CO<sub>2</sub> adalah penggunaan listrik sebesar 42%, transportasi 23%, dan perumahan 6% (Subkhan et al. , 2017).

Pertumbuhan industri di Indonesia serta penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan telah menyebabkan ketidakstabilan iklim di berbagai wilayah. Perubahan iklim ini disebabkan oleh peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, yang terjadi karena terbatasnya kapasitas tumbuhan dan laut dalam menyerap emisi dari pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara, dan bahan bakar organik lainnya. Rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> bervariasi antara 0,03% (300 ppm) hingga 0,06% (600 ppm), tergantung pada lokasi (Nebath et al. , 2014). Namun, dengan bertambahnya produk industri, seperti kendaraan bermotor, semen, dan lain-lain, konsentrasi CO<sub>2</sub> dipastikan akan terus meningkat. Menurut penelitian Lehne dan Preston (2018), industri semen menyumbang sekitar 8% dari total emisi CO<sub>2</sub> global. Emisi CO<sub>2</sub> juga dihasilkan dari kegiatan penerbangan di bandara, terutama saat pesawat lepas landas dan mendarat (LTO), di mana pembakaran bahan bakar fosil yang kaya karbon dalam mesin pesawat menjadi sumber emisi terbesar (CAA, 2017). Diperkirakan bahwa pada tahun 2025, level CO<sub>2</sub> di atmosfer Bumi akan mencapai rekor tertinggi dalam 3,3 juta tahun (Vega et al. , 2020), yang akan berkontribusi pada peningkatan suhu global. Lonjakan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terus menerus ini diantisipasi akan membawa dampak negatif bagi kondisi planet kita.

Peningkatan suhu setiap tahun menjadi indikasi jelas bahwa kita berada dalam masa kritis terkait perubahan iklim. World Meteorological Organization (WMO) mengungkapkan bahwa tahun 2020 tercatat sebagai tahun terpanas kedua setelah 2016. Periode 2015-2019 adalah lima tahun terpanas yang pernah ada, dengan peningkatan suhu rata-rata sekitar 1,1°C. Tahun 2020 menempati peringkat kedua dengan nilai anomali suhu sebesar 0,7°C, sedangkan tahun 2019 berada di posisi ketiga dengan nilai anomali sebesar 0,6°C. Salah satu langkah untuk menangani permasalahan kenaikan suhu ini adalah dengan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Berbagai pihak, baik dari pemerintah Indonesia maupun komunitas internasional, telah merancang berbagai langkah untuk mengurangi peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di atmosfer. Pemerintah Indonesia sendiri telah menetapkan sejumlah kebijakan penting, seperti Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2004 yang menyetujui Protokol Kyoto serta Perpres No. 61 Tahun 2011 yang berkaitan dengan Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Namun, meskipun kebijakan-kebijakan ini telah diadopsi, efektivitasnya masih dipertanyakan, terbukti dari meningkatnya emisi CO<sub>2</sub> sebesar 18% selama periode 2012-2017 di Indonesia (Enerdata, 2018). Selain itu, ruang terbuka hijau (RTH) telah dibangun di beberapa kota (Subkhan et al., 2017). namun solusi ini dinilai kurang optimal karena memerlukan lahan yang luas serta waktu yang lama untuk pertumbuhan tanaman, sehingga tidak cukup efektif dalam menghadapi tantangan mendesak saat ini.

Saat ini, terdapat dua pendekatan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, yaitu metode klasik dan metode modern. Metode klasik mengandalkan penanaman pohon, yang juga memerlukan lahan luas dan waktu bertahun-tahun untuk menghasilkan dampak yang signifikan. Kelemahan dari metode ini dapat diatasi dengan menggunakan metode modern, salah satunya adalah teknologi carbon air capture and recycling system (CAC-RC). Teknologi CAC-RC memiliki efektivitas tinggi dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub>, tetapi biaya operasionalnya cukup mahal, mencapai 200 dolar per ton CO<sub>2</sub>, sedangkan penanaman pohon hanya memerlukan sekitar 10 dolar per ton CO<sub>2</sub> (Hook, 2020). Selain itu, teknologi CAC-RC saat

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

ini masih bergantung pada bahan bakar fosil. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan (EBT) dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dapat menjadi alternatif yang mengurangi biaya operasional.

Kombinasi sumber energi matahari dan angin ini dapat digunakan sebagai pembangkit listrik, seperti PLTS dan PLTB. Integrasi kedua sumber ini dapat mengatasi kekurangan masing-masing dan memberikan solusi yang lebih efektif (Sandzali et al., 2019). Konsep gabungan ini mendukung ide carbon recycle society, yaitu suatu sistem yang memanfaatkan sisa emisi karbon dari berbagai aktivitas untuk mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di udara serta menciptakan energi yang ramah lingkungan. Salah satu bentuk energi ramah lingkungan yang mulai banyak digunakan adalah metanol hijau, yang berfungsi sebagai pengganti bahan bakar fosil. Metanol ini dihasilkan dengan mengolah CO<sub>2</sub> menggunakan energi dari angin dan matahari, sehingga baik proses produksinya maupun hasil akhirnya tergolong sebagai produk energi berkelanjutan. Dari berbagai potensi tersebut, penulis mengusulkan konsep yang dinamakan Carbon Zero Urban (CZU, dibaca Si-Ziu) untuk mewujudkan smart green city sebagai kota yang mandiri dalam energi, dalam rangka mengatasi isu perubahan iklim di Indonesia. CZU merupakan rancangan teknologi yang menangkap CO<sub>2</sub> dari atmosfer melalui sistem carbon air capture guna mendukung carbon recycle society, dan mengolahnya menjadi metanol dengan integrasi Internet of Things (IoT). Alat ini beroperasi dengan mengintegrasikan sistemnya ke dalam PLTS dan PLTB, sehingga terbentuklah konsep kota yang swasembada energi.

Peningkatan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di kawasan perkotaan Indonesia menjadi permasalahan utama yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Tingginya konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil di sektor listrik, transportasi, dan industri menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem serta peningkatan suhu rata-rata tahunan. Upaya mitigasi yang selama ini dilakukan, seperti penyediaan ruang terbuka hijau dan kebijakan penurunan emisi, dinilai belum memberikan dampak signifikan karena keterbatasan lahan, waktu implementasi yang panjang, serta meningkatnya aktivitas industri dan urbanisasi. Kondisi tersebut menuntut adanya pendekatan inovatif yang tidak hanya berfokus pada penurunan emisi, tetapi juga mendorong kemandirian energi kota secara berkelanjutan.

Bertujuan untuk mengusulkan konsep **Carbon Zero Urban (CZU)** sebagai model kota swasembada energi yang mengintegrasikan teknologi Carbon Air Capture and Recycling (CAC-RC), energi terbarukan, Internet of Things (IoT), dan distributed smart energy. Tujuan utama dari pengusulan konsep ini adalah memberikan solusi strategis dalam menekan emisi CO<sub>2</sub> di kawasan perkotaan sekaligus mengubahnya menjadi sumber energi alternatif berupa metanol hijau. Selain itu, makalah ini juga bertujuan untuk mengkaji potensi penerapan konsep CZU di Indonesia dengan mempertimbangkan kondisi geografis, ketersediaan energi surya dan angin, serta kebutuhan energi masyarakat perkotaan.

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan makalah ini adalah studi literatur dan analisis konseptual. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai sumber ilmiah, laporan lembaga internasional, serta kebijakan pemerintah yang berkaitan dengan perubahan iklim, emisi CO<sub>2</sub>, energi terbarukan, dan teknologi penangkapan karbon. Selanjutnya, dilakukan analisis konseptual untuk merancang sistem Carbon Zero Urban yang mengintegrasikan CAC-RC dengan pembangkit listrik tenaga surya dan bayu, serta sistem IoT dan jaringan

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

energi pintar. Analisis ini digunakan untuk memperoleh gambaran potensi manfaat, tantangan, dan hasil yang diharapkan dari penerapan konsep CZU sebagai solusi jangka panjang mitigasi perubahan iklim.

Secara teoritis, konsep Carbon Zero Urban berlandaskan pada gagasan *carbon recycle society*, yaitu pemanfaatan kembali emisi karbon sebagai sumber daya bernilai guna (Lehne dan Preston, 2018). Teknologi CAC-RC bekerja berdasarkan prinsip pemisahan selektif CO<sub>2</sub> menggunakan membran polimer dan konversi elektrokimia menjadi metanol (Choi et al., 2008; Wu et al., 2019). Penggunaan energi terbarukan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) mendukung keberlanjutan operasional sistem sekaligus menekan ketergantungan pada bahan bakar fosil (Sandzali et al., 2019; Geisz et al., 2020). Integrasi Internet of Things (IoT) dan distributed smart energy memungkinkan pemantauan serta pengelolaan energi dan emisi secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi sistem dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan energi (Zhou et al., 2018; Li et al., 2020). Dengan dasar teori tersebut, konsep CZU diharapkan mampu menjadi fondasi pengembangan kota pintar rendah karbon dalam menghadapi tantangan perubahan iklim di Indonesia.

## METODE PELAKSANAAN

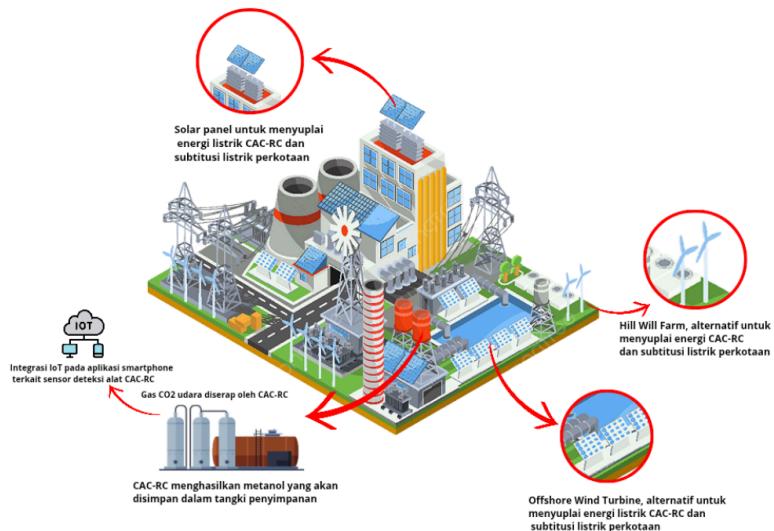
Metodologi yang digunakan adalah studi literatur dan analisis konseptual. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai sumber ilmiah, laporan lembaga internasional, serta kebijakan pemerintah yang berkaitan dengan perubahan iklim, emisi CO<sub>2</sub>, energi terbarukan, dan teknologi penangkapan karbon. Selanjutnya, dilakukan analisis konseptual untuk merancang sistem Carbon Zero Urban yang mengintegrasikan CAC-RC dengan pembangkit listrik tenaga surya dan bayu, serta sistem IoT dan jaringan energi pintar. Analisis ini digunakan untuk memperoleh gambaran potensi manfaat, tantangan, dan hasil yang diharapkan dari penerapan konsep CZU sebagai solusi jangka panjang mitigasi perubahan iklim.

## PEMBAHASAN

Carbon Zero Urban (CZU, dibaca Si-Ziu) adalah sebuah konsep kota yang mandiri dalam penyediaan energi, dengan tujuan untuk menciptakan kota pintar dan ramah lingkungan (smart green city). Konsep ini berfokus pada pengubahan gas CO<sub>2</sub> yang ada di atmosfer menjadi crude methanol, sebagai langkah inovatif untuk mengatasi masalah perubahan iklim akibat emisi gas rumah kaca. CZU mengintegrasikan empat teknologi utama: sistem alat penangkapan karbon dari udara (Carbon Air Capture Recycling System/CAC-RC), turbin angin, sel surya (solar cell), dan Internet of Things (IoT). Konsep CZU ini dirancang untuk diterapkan di kawasan pesisir maupun perkotaan yang memiliki potensi angin dan sinar matahari yang cukup besar. Salah satu lokasi yang memenuhi kriteria tersebut adalah Kota Surabaya, yang berpotensi sebagai proyek percontohan untuk penerapan inisiatif ini. Surabaya memiliki banyak gedung tinggi yang ideal untuk instalasi panel surya, serta merupakan daerah yang padat penduduk, sehingga emisi gas CO<sub>2</sub> menjadi isu yang perlu segera ditangani. Ilustrasi rancangan kota pintar CZU dapat dilihat pada gambar 1

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari



**Gambar 1.** Rancangan kota pintar CZU

Sistem CAC-RC adalah perangkat inovatif yang dirancang untuk menangkap gas CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan mengubahnya menjadi metanol. Pada Gambar 2, terlihat desain sistem CAC-RC yang mencakup beberapa komponen penting, antara lain filter udara masuk, pompa vakum, cerobong udara keluar, membran penangkap CO<sub>2</sub>, baling-baling, reaktor sintesis metanol atau sistem konversi elektrokimia, serta kolektor metanol kasar.



**Gambar 2.** Desain alat CAC-RC

Udara yang dihisap oleh sistem CAC-RC melewati membran untuk menyaring gas CO<sub>2</sub>. Pada tahap penangkapan udara ini, sistem dilengkapi dengan pompa vakum yang memastikan konsentrasi udara yang masuk terjaga dalam volume besar. Berbagai reaksi kimia berlangsung, mengubah udara yang terperangkap menjadi gas CO<sub>2</sub> yang telah disaring, sementara sisa udara yang tidak terpakai dikeluarkan kembali ke lingkungan melalui cerobong udara keluar. Filter udara berfungsi untuk menyaring debu dan kotoran halus

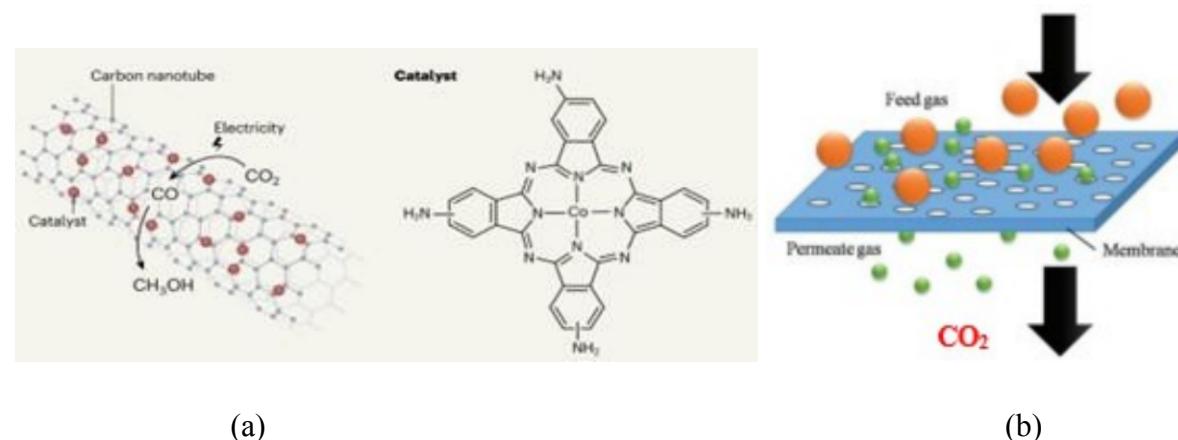
# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

lainnya sebelum udara masuk ke dalam sistem CAC-RC. Metanol yang dihasilkan dari proses konversi CO<sub>2</sub> dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, prekursor untuk bahan bakar transportasi, serta sebagai perantara untuk berbagai produk kimia industri seperti cat, tekstil, dan plastik. Pendistribusian metanol dilakukan dengan mengalirkannya ke tangki penyimpanan melalui pipa bawah tanah untuk meminimalkan risiko kebakaran. Metanol yang terkumpul dalam tangki kemudian didistribusikan ke industri yang membutuhkannya.

Teknik CAC-RC menggunakan membran polimer *polybenzimidazole*, yang memiliki permeabilitas  $1.89 \times 10^{-9}$  H/m, selektivitas H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 45, dan dapat beroperasi pada suhu 35°C sebagai teknologi utama dalam menangkap CO<sub>2</sub> (Choi *et al.*, 2008). Cara kerja membran ini diilustrasikan pada Gambar 2. b. Penggunaan membran permselektif dengan tapak (*footprint*) yang lebih kecil akan memudahkan proses persiapan dan pengoperasian. Karbon dioksida yang tertangkap kemudian dibawa ke bagian pengumpul CO<sub>2</sub>, dan setelah kondisi tertentu terpenuhi, CO<sub>2</sub> akan masuk ke reaktor sintesis metanol, menghasilkan produk akhir berupa *crude methanol*.

Sel elektrokimia dan katalis merupakan komponen penting dalam reaktor sintesis metanol. Dalam proses konversi, kompleks *cobalt phthalocyanine* yang tersebar di dalam *nanotube* karbon berfungsi sebagai katalis. Menurut Wu *et al.* (2019), ketika kompleks *cobalt phthalocyanine* diletakkan dalam *nanotube* karbon, ia menunjukkan aktivitas katalitik dan selektivitas yang signifikan dalam mengurangi CO<sub>2</sub> secara elektrokimia menjadi metanol (Gambar 3). Secara elektrokimia, katalis *cobalt phthalocyanine* yang dimobilisasi pada *nanotube* karbon dapat mengurangi CO<sub>2</sub> dalam air. Reaksi pertama menghasilkan karbon monoksida, yang selanjutnya direduksi menjadi metanol (CH<sub>3</sub>OH). Struktur reaksi serta penciptaan katalis *cobalt phthalocyanine* dapat dilihat dalam penjelasan berikut.



**Gambar 3.** (a) Reaksi konversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol dan struktur katalis *cobalt phthalocyanine*, (b) ilustrasi cara kerja membran (Wu *et al.*, 2019).

Konsep teknologi CAC-RC dikembangkan dengan memanfaatkan energi terbarukan dari panel surya (PLTS) dan turbin angin (PLTB), yang membuat biaya operasional alat ini

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

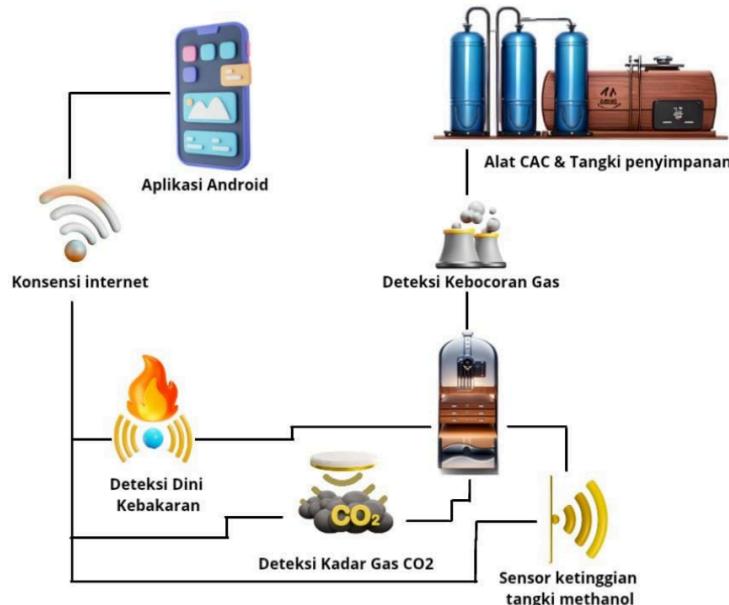
Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

menjadi lebih terjangkau. Teknologi ini dirancang untuk beroperasi secara efisien dengan biaya rendah dan ramah lingkungan, karena memanfaatkan energi dari *solar cell* yang dipasang di atap rumah atau gedung. Kami menggunakan *solar cell* six-junction III-V, yang memiliki efisiensi konversi energi matahari mencapai 47,1% (Geisz *et al.*, 2020). Selain itu, sistem PLTB akan dipasang di perbukitan, lahan kosong, maupun pesisir pantai untuk memanfaatkan kecepatan angin dalam memutar turbin. Di pesisir, sistem PLTB dilengkapi dengan perlindungan katodik guna mencegah korosi, sehingga efektif dalam menghasilkan tenaga angin yang signifikan dan meminimalkan gangguan suara yang ditimbulkan oleh turbin angin. Sistem PLTS dan PLTB tidak hanya menghasilkan listrik untuk operasional instalasi CAC-RC, tetapi juga untuk kebutuhan listrik tambahan di area perkotaan, seperti lampu jalan dan lampu lalu lintas sebagai fasilitas umum. Listrik yang dihasilkan akan disimpan dalam sebuah power bank sebelum didistribusikan. Dengan cara ini, saat alat CAC-RC tidak beroperasi, listrik yang tersimpan dapat dialirkan ke pemukiman sekitar.

Konsep kota pintar CZU ini terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) untuk memudahkan *monitoring* dan pengendalian. Aplikasi yang dapat diunduh di Android berfungsi sebagai *remote control*, dilengkapi dengan fitur untuk memantau kadar gas CO<sub>2</sub> di udara, mendeteksi kebocoran pada pipa dan tangki metanol, serta mengidentifikasi dini kebakaran pada saluran metanol. Aplikasi ini juga mengirimkan notifikasi otomatis ketika tangki metanol hampir penuh. Prinsip pemantauan kadar gas CO<sub>2</sub> bekerja menggunakan mikrokontroler yang terhubung dengan modul WiFi. Sensor jarak otomatis dipasang di puncak tangki metanol, memungkinkan pengendalian otomatis terkait notifikasi. Sensor ini terhubung dengan sistem alarm dalam aplikasi, sehingga jika tangki mendekati kapasitas penuh, dapat segera mengalirkannya ke tangki utama sebelum distribusi dilakukan. Kami juga memasang sensor gas untuk mendeteksi kebocoran pada pipa dan tangki, serta *smoke detector* yang dilengkapi dengan *buzzer* untuk memberi peringatan kepada orang di sekitar tentang potensi kebakaran. Untuk mendukung mitigasi kebakaran, sistem ini terintegrasi dengan hidran otomatis dan memberikan notifikasi melalui aplikasi di ponsel.

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari

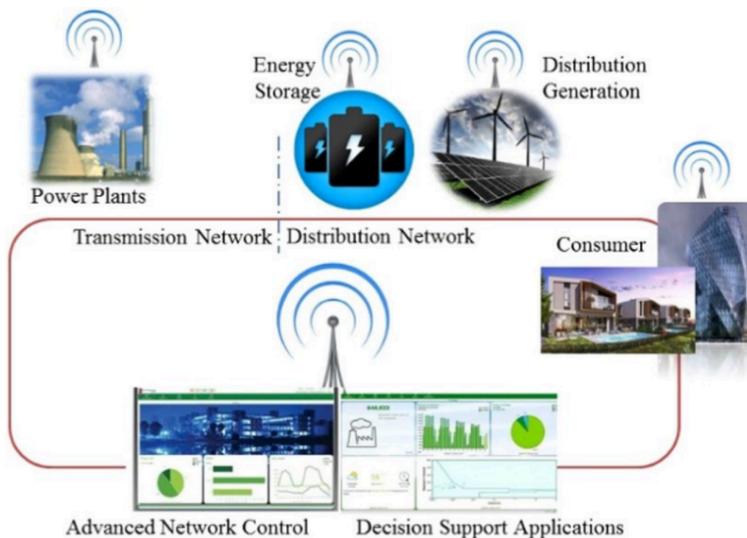


**Gambar 4.** Jejaring konsep sistem IoT.

Untuk mencapai tujuan Carbon Zero Urban (CZU), penerapan sistem jaringan pintar (*distributed smart energy*) sangat penting guna mengoptimalkan pengelolaan berbagai sumber energi secara bersamaan. Dengan sistem ini, distribusi listrik dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan yang beragam di kota, sekaligus memaksimalkan penggunaan energi yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Salah satu alasan utama pemilihan *distributed smart energy* adalah kemampuannya dalam mengatasi tantangan yang timbul akibat fluktuasi dari sumber energi terbarukan. Mengingat bahwa energi terbarukan seperti matahari dan angin sangat bergantung pada kondisi alam, sistem ini perlu memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam manajemen distribusi dan penyimpanan energi (Zhou *et al.*, 2018). Dengan mengalirkan energi dari PLTS dan PLTB ke dalam jaringan listrik utama, *distributed smart energy* mengubah sumber daya terbarukan menjadi energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Contohnya, teknologi CAC-RC dapat digunakan untuk mengolah CO<sub>2</sub>, penerangan kota, dan memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Energi yang tidak terpakai akan disimpan dalam *power bank*, yang berfungsi sebagai cadangan energi untuk digunakan pada waktu tertentu. Selain itu, *distributed smart energy* dilengkapi dengan sensor *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara *real-time*. Masyarakat dapat memanfaatkan teknologi ini untuk melacak penggunaan energi mereka dan menerima rekomendasi tentang cara mengoptimalkan penggunaan listrik. Dengan menerapkan sistem ini, masyarakat dapat berkontribusi secara aktif dalam mengurangi penggunaan energi berlebihan dan menekan emisi karbon (Li *et al.*, 2020)

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 | 2026 | Edisi. Januari



**Gambar 5.** Konsep *Distributed Smart Energy*

## KESIMPULAN

Konsep Carbon Zero Urban (CZU) merupakan sebuah konsep inovasi kota swasembada energi dengan inovasi pengolahan CO<sub>2</sub> di atmosfer dengan menggunakan teknologi CAC-RC yang terintegrasi IoT dan Distributed Smart Energy. Pengoperasian sistem CAC-RC dilakukan dengan memanfaatkan energi yang bersumber dari PLTS dan PLTB. Pemanfaatan PLTS dan PLTB ini bertujuan untuk menggantikan bahan bakar fosil dan menciptakan smart green city. PLTS dan PLTB akan dibangun di kawasan perkotaan yang kemudian akan digunakan sebagai sumber energi alternatif di kota tersebut serta sumber energi pengganti dalam pengoperasian CAC-RC untuk mengubah CO<sub>2</sub> menjadi crude metanol.

Inovasi ini sangat potensial untuk diterapkan di Indonesia, karena potensi sumber energi alternatif angin dan surya yang banyak di Indonesia, serta emisi CO<sub>2</sub> di kota besar yang menjadi permasalahan penyebab perubahan iklim. Proses pengimplementasian gagasan ini membutuhkan waktu selama ± 10 tahun. Maka dari itu, konsep kota pintar CZU yang ditawarkan dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tingginya emisi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan tantangan perubahan iklim di bumi dengan mengoptimalkan EBT guna mewujudkan sebuah smart green city di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

ABadan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2021. *Grafik perbandingan konsentrasi CO<sub>2</sub>*. URL: <https://www.bmkg.go.id/kualitasudara/>. Diakses 22 November 2024

Choi, S., Coronas, J., Lai, Z., Yust, D., Onorato, F., & Tsapatsis, M. 2008. Fabrication and gas separation properties of polybenzimidazole (PBI)/nanoporous silicates hybrid membranes. *Journal of Membrane Science*, 316(1–2), 145–152.

# Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan

Volume 5 | Nomor 3 |2026 |Edisi. Januari

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.01.055>

Civil Aviation Authority. 2017. *Information on aviation's environmental impact*. URL: <https://wwwcaa.co.uk/> Diakses 22 November 2024

Enerdata. 2018. *Emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi*. URL: <https://www.climatetransparency.org/> Diakses 22 November 2024

Geisz, J. F., France, R. M., Schulte, K. L., Steiner, M. A., Norman, A. G., Guthrey, H. L., Young, M. R., Song, T., & Moriarty, T. 2020. Six-junction III–V solar cells with 47.1% conversion efficiency under 143 suns concentration. *Nature Energy*, 5(4), 326–335. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0559-8>

Hook, L. (2020). *Start-ups test ideas to suck CO<sub>2</sub> from atmosphere*. URL: <https://www.ft.com/>. Diakses 22 November 2024

Lehne, J., & Preston, F. 2018. *Making concrete change: Innovation in low-carbon cement and concrete*. London: Chatham House.

Li, X., Wang, J., Zhang, X., & Zhao, Y. 2020. The role of Internet of Things in the future smart grid. *IEEE Access*, 8, 155345-155357.

Natural Resources Defense Council. 2016. *NRDC's fourth annual energy report: Accelerating into a clean energy future*. New York.

Nebath, E., Pang, D., & Wuwung, J. O. 2014. Rancang bangun alat pengukur gas berbahaya CO dan CO<sub>2</sub> di lingkungan industri. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 3(4), 65–72.

Sandzali, A. A., Utomo, S. B., & Suprajitno, A. 2019, October 18. Optimasi daya penggabungan panel surya dan kincir angin menggunakan metode 13 switching. *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU)*, 2, 80–89. Semarang, Indonesia.

Subkhan, A., Setyowati, D. L., & Setyaningsih, W. 2017. Kajian emisi CO<sub>2</sub> dari pemanfaatan energi rumah tangga di Kelurahan Candi Kota Semarang. *Geo-Image*, 6(2), 147–157.

Vega, E., Chalk, T. B., Wilson, P. A., Bysani, R. P., & Foster, G. L. 2020. Atmospheric CO<sub>2</sub> during the mid-Piacenzian warm period and the M2 glaciation. *Scientific Reports*, 10(1), 11002. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67864-7>

Wu, Y., Jiang, Z., Lu, X., Liang, Y., & Wang, H. 2019. Domino electroreduction of CO<sub>2</sub> to methanol on a molecular catalyst. *Nature*, 575(7784), 639–642. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1742-9>

World Meteorological Organization. 2020. *2020 closes a decade of exceptional heat*. URL: <https://public.wmo.int/>. Diakses 22 November 2024

Zhou, W., Zhang, C., & Liu, J. 2018. A distributed smart energy architecture based on cloud

# **Jurnal HUKUM Motivasi Pendidikan Masyarakat Dan Bahasa Harapan**

Volume 5 | Nomor 3 |2026 |Edisi. Januari

computing and big data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 607-617.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.023>