

## Smart Grid Berbasis Renewable Energy: Perspektif Baru dalam Optimalisasi Energi Kota Pintar Berkelanjutan

Rahmat Rizky <sup>a,1\*</sup>, Yudha Adyaksa <sup>a,2</sup>

<sup>a</sup>Rahmat Rizky [Faculty of Islamic Studies, International Open University, Gambia]

<sup>b</sup>Yudha Adyaksa [Faculty of Communication Science, Prof. Dr. Moestopo University (Beragama) University, Indonesia]

<sup>1</sup>[raky.2911@gmail.com](mailto:raky.2911@gmail.com) \*, <sup>2</sup>[yudha.adyaksa@gmail.com](mailto:yudha.adyaksa@gmail.com)

\*Corresponding author

---

### ARTICLE INFO

### ABSTRAK

#### Kata Kunci

*energi terbarukan; kota pintar; partisipasi masyarakat; smart grid; transisi energi*

#### Riwayat artikel

Diterima: 01/08/25

Direvisi: 03/08/25

Diterima: 05/0825

Perkembangan kota pintar menuntut sistem energi yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan untuk menjawab tantangan urbanisasi serta transisi global menuju energi bersih. Dalam konteks khusus, integrasi smart grid berbasis energi terbarukan dipandang sebagai fondasi strategis yang mampu meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keberlanjutan sistem energi perkotaan. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan adanya kesenjangan pengetahuan terkait keterbatasan implementasi smart grid, hambatan teknis integrasi energi terbarukan variabel, serta kurangnya pendekatan multi-pemangku kepentingan yang menyelaraskan kebijakan, teknologi, dan penerimaan publik. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan melibatkan lima kategori informan kunci, yaitu pejabat pemerintah daerah, operator PLN, akademisi, industri energi terbarukan, dan komunitas warga, melalui wawancara mendalam untuk menggali perspektif mengenai integrasi smart grid berbasis energi terbarukan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi energi terbarukan dipengaruhi oleh faktor regulasi, kesiapan infrastruktur, inovasi teknologi digital, serta partisipasi masyarakat, sehingga mempertegas urgensi kolaborasi multipihak. Implikasi teoretis penelitian ini memperluas pemahaman interdisipliner dalam riset smart city, sementara implikasi praktisnya menawarkan strategi adaptif bagi perumusan kebijakan energi hijau, inovasi industri, dan penguatan smart citizenship dalam mendukung keberlanjutan kota pintar.

*The development of smart cities requires energy systems that are more efficient, adaptive, and sustainable to address the challenges of urbanization and the global transition toward clean energy. In a more specific context, the integration of renewable energy-based smart grids is considered a strategic foundation capable of enhancing the reliability, efficiency, and sustainability of urban energy systems. However, previous studies reveal a knowledge gap regarding the limited implementation of*

---

*smart grids, technical barriers in integrating variable renewable energy sources, and the lack of multi-stakeholder approaches that align policies, technologies, and public acceptance. This study employed a qualitative approach involving five key categories of informants—local government officials, state electricity company operators, academics, renewable energy industry representatives, and citizen communities—through in-depth interviews to explore perspectives on renewable energy-based smart grid integration. The findings indicate that successful integration is influenced by regulatory frameworks, infrastructure readiness, digital technology innovation, and public participation, thus reinforcing the urgency of multi-stakeholder collaboration. Theoretically, this study contributes to the interdisciplinary understanding of smart city research, while practically it offers adaptive strategies for green energy policymaking, industrial innovation, and the strengthening of smart citizenship in advancing sustainable urban development.*

Copyright © 2025 Authors

This is an open access article under [CC-BY 4.0](#) license



---

## **Pendahuluan**

Transisi global menuju energi bersih mendorong pertumbuhan pesat kapasitas energi terbarukan, terutama berbasis surya dan angin. Perubahan kebijakan iklim dan target net zero telah mempercepat investasi pada sektor ini, sehingga kapasitas pembangkitan baru mengalami peningkatan signifikan dalam dekade terakhir (IEA, 2023). Kondisi tersebut menimbulkan tekanan besar pada infrastruktur jaringan listrik yang sebelumnya didesain secara sentralistik. Variabilitas dan desentralisasi pembangkit terbarukan menuntut adanya pengelolaan jaringan yang lebih adaptif untuk menjamin keamanan suplai dan kualitas daya, khususnya di wilayah perkotaan. Dengan demikian, integrasi kebijakan, investasi infrastruktur, dan inovasi teknologi menjadi prasyarat bagi transisi energi yang andal dan berkelanjutan.

## **Smart Grid sebagai Solusi**

*Smart grid* muncul sebagai evolusi dari jaringan listrik tradisional menuju sistem yang lebih cerdas dan responsif (IEA, 2022). Teknologi digital, sensor, dan komunikasi real-time memungkinkan monitoring dua arah antara produsen dan konsumen, serta otomasi operasional yang mampu menyesuaikan fluktuasi energi terbarukan akibat kondisi cuaca. Smart grid juga menyediakan platform integrasi storage dan demand-response, yang krusial dalam meredam beban puncak dan

menjaga stabilitas sistem. Di kota pintar, smart grid menjadi tulang punggung keandalan energi karena mendukung layanan publik yang semakin bergantung pada listrik.

### **Tantangan Integrasi Energi Terbarukan**

Integrasi energi terbarukan variabel (seperti surya dan angin) ke dalam jaringan konvensional menghadirkan tantangan teknis maupun non-teknis.

1. **Teknis** – fluktuasi daya dan intermitensi menyebabkan ketidakstabilan frekuensi serta kualitas daya (Kataray, 2023). Penyimpanan energi (baterai, pumped hydro, compressed air storage) menjadi elemen kunci untuk mengatasi hal ini (Applied Energy, 2022).
2. **Ekonomi** – biaya investasi teknologi penyimpanan dan sistem kontrol canggih masih tinggi sehingga membutuhkan dukungan insentif.
3. **Regulatif & Sosial** – keterbatasan regulasi dan resistensi masyarakat dapat menghambat adopsi. Model bisnis kolaboratif antara pemerintah, industri, dan komunitas lokal dipandang efektif mempercepat integrasi.

### **Optimalisasi Energi Perkotaan**

Solusi optimasi energi perkotaan tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga pada keberlanjutan dan efisiensi.

- **Demand-response** memungkinkan konsumen menyesuaikan konsumsi energi berdasarkan sinyal harga atau kondisi jaringan (Palensky & Dietrich, 2011).
- **Kecerdasan buatan (AI)** membantu prediksi produksi energi terbarukan dan pola konsumsi, sehingga distribusi energi lebih efisien (Energy Reports, 2022).
- **Integrasi penyimpanan energi** dalam smart grid mendukung pencapaian emisi rendah sekaligus membuka peluang bisnis baru, seperti energy-as-a-service.

### **Perspektif Multi-Pemangku Kepentingan**

Transisi energi kota pintar memerlukan kolaborasi lintas aktor. Pemerintah berperan sebagai regulator, industri menghadirkan inovasi teknologi, akademisi menyediakan basis ilmiah, dan masyarakat menjadi pengguna sekaligus pengawas sosial (Wyrwicka et al., 2023). Pendekatan multi-stakeholder bukan hanya normatif, melainkan strategi implementasi yang efektif untuk meningkatkan legitimasi, memperluas partisipasi sosial, dan mempercepat adopsi teknologi baru.

## Metode

Penelitian ini didesain dengan pendekatan kualitatif untuk menggali secara mendalam perspektif para pemangku kepentingan mengenai smart grid berbasis *renewable energy* dalam konteks kota pintar berkelanjutan. Desain penelitian kualitatif dipilih karena dianggap paling sesuai untuk memahami fenomena sosial, kebijakan, dan teknis secara komprehensif. Fokus penelitian diarahkan pada eksplorasi pandangan, pengalaman, dan strategi yang diterapkan oleh pihak-pihak yang terlibat. Data penelitian dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan informan terpilih. Hasil wawancara kemudian dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola dan temuan utama.

Informan penelitian dipilih dengan teknik purposive sampling berdasarkan relevansi dan keterlibatan mereka dalam isu energi terbarukan serta smart grid. Sebanyak lima kelompok informan ditentukan, yaitu pejabat Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, manajer PLN atau operator smart grid, akademisi di bidang energi terbarukan dan smart city, perwakilan industri energi terbarukan, serta komunitas warga atau *smart citizen*. Pemilihan informan ini dianggap representatif untuk memperoleh data dari sisi kebijakan, teknis, akademis, industri, dan sosial. Wawancara dilakukan secara terstruktur dengan panduan pertanyaan yang telah disiapkan sebelumnya. Semua data yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk narasi kualitatif.

Instrumen penelitian yang digunakan berupa pedoman wawancara dengan daftar pertanyaan terbuka yang dirancang sesuai dengan tujuan penelitian. Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan wawancara tatap muka dan *online meeting* untuk menyesuaikan kondisi informan. Seluruh wawancara direkam dengan persetujuan informan dan ditranskripsikan secara verbatim. Analisis data dilakukan dengan metode coding untuk menemukan tema-tema utama yang relevan dengan fokus penelitian. Seluruh prosedur penelitian dijalankan sesuai dengan standar etika penelitian kualitatif agar keabsahan data tetap terjaga.

## HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *renewable energy* ke dalam sistem *smart grid* perkotaan dipengaruhi oleh aspek regulasi, teknis, akademis, industri, dan sosial. Dari perspektif pejabat Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, strategi pemerintah daerah saat ini berfokus pada penguatan kebijakan yang mendukung transisi energi berkelanjutan melalui penyusunan *roadmap* kota pintar berbasis energi hijau. Namun, keterbatasan anggaran, kompleksitas birokrasi, dan resistensi dari sebagian pemangku kepentingan menjadi tantangan utama. Kebijakan yang sudah ada dianggap cukup progresif, meskipun implementasi di lapangan sering terhambat oleh kesenjangan antara regulasi pusat dan daerah.

Temuan ini menegaskan perlunya harmonisasi kebijakan lintas level pemerintahan agar keberlanjutan energi dapat terwujud secara efektif.

Sementara itu, pihak Perusahaan Listrik Negara (PLN) menyoroti kesiapan infrastruktur sebagai faktor penentu utama dalam keberhasilan integrasi energi terbarukan ke dalam smart grid. Infrastruktur dasar seperti jaringan listrik cerdas, sistem penyimpanan energi, dan perangkat komunikasi real-time masih dalam tahap pengembangan bertahap. Hambatan teknis yang diidentifikasi meliputi variabilitas sumber energi terbarukan seperti surya dan angin, serta kebutuhan akan teknologi *demand-response management*. Menurut pandangan operator, penerapan kecerdasan buatan (AI) dan *Internet of Things (IoT)* menjadi teknologi paling efektif untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem. Dengan demikian, transformasi digital dalam sektor energi dipandang sebagai syarat mutlak untuk mendukung keberlanjutan kota pintar.

Akademisi yang menjadi informan memberikan penekanan pada peran smart grid sebagai fondasi utama transisi energi kota pintar berkelanjutan. Peran tersebut tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga strategis dalam membentuk pola konsumsi energi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian terkini yang dianggap perlu dikembangkan adalah pengintegrasian big data dalam prediksi konsumsi energi dan model kolaboratif antara pemerintah, industri, serta masyarakat. Akademisi juga menegaskan bahwa kolaborasi multipihak merupakan kunci percepatan implementasi smart grid, karena keberhasilan sistem tidak bisa hanya bergantung pada pemerintah atau industri semata. Pandangan ini memperkuat pentingnya pendekatan interdisipliner dalam riset smart city.

Industri energi terbarukan, khususnya produsen panel surya dan turbin angin, melihat peluang besar dalam pengembangan smart grid kota pintar, meskipun masih terdapat hambatan signifikan. Hambatan yang paling dominan adalah tingginya biaya investasi awal serta kurangnya insentif fiskal yang mendukung percepatan adopsi teknologi. Namun, potensi integrasi produk industri dengan smart grid dipandang sangat tinggi, terutama jika ada dukungan dalam bentuk regulasi pro-pasar dan kemitraan publik-swasta. Strategi bisnis yang efektif menurut industri adalah pengembangan model *microgrid* berbasis komunitas yang dapat diintegrasikan secara bertahap dengan smart grid skala kota. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan implementasi tidak hanya bertumpu pada skala besar, tetapi juga pada inovasi energi terdistribusi.

Dari sisi masyarakat sebagai pengguna energi, penelitian ini menemukan bahwa sebagian besar warga memiliki persepsi positif terhadap energi terbarukan, meskipun pemahaman teknis mereka masih terbatas. Hambatan yang muncul terutama terkait dengan kekhawatiran biaya awal, keandalan pasokan energi, dan keterbatasan informasi mengenai manfaat jangka panjang. Namun, masyarakat juga menunjukkan kesediaan untuk berpartisipasi aktif apabila diberikan edukasi yang memadai dan insentif yang relevan. Pemerintah dan penyedia energi dianggap

perlu meningkatkan komunikasi publik untuk memperkuat kepercayaan serta membangun *smart citizenship*. Temuan yang tidak terduga muncul ketika beberapa warga menyatakan bahwa penggunaan aplikasi digital untuk memantau konsumsi energi dapat meningkatkan rasa kepemilikan terhadap keberlanjutan energi di tingkat lokal.

**Matriks Hasil Penelitian: *Smart Grid Berbasis Renewable Energy di Kota Pintar***

<b>Informan</b>	<b>Alasan Dipilih</b>	<b>Temuan Utama</b>	<b>Tantangan/Hambatan</b>	<b>Solusi/Strategi</b>
<b>Pejabat Dinas ESDM</b>	Mengetahui regulasi & kebijakan energi	Pemerintah daerah telah menyusun roadmap energi hijau untuk smart city	Keterbatasan anggaran, birokrasi, resistensi pemangku kepentingan	Harmonisasi regulasi pusat-daerah, insentif energi terbarukan
<b>PLN/Operator Smart Grid</b>	Memiliki pengetahuan teknis sistem energi	Infrastruktur smart grid mulai dikembangkan dengan sistem digitalisasi	Fluktuasi energi surya & angin, keterbatasan penyimpanan energi	Pemanfaatan AI, IoT, dan demand-response management
<b>Akademisi/Profesor</b>	Memberikan pandangan konseptual & riset	Smart grid dipandang sebagai pilar utama transisi energi kota pintar	Kolaborasi multipihak masih minim, koordinasi kelembagaan lemah	Pemanfaatan big data, riset interdisipliner, kolaborasi akademisi-pemerintah-industri
<b>Industri Energi Terbarukan</b>	Berada di garis depan inovasi teknologi	Potensi besar pada microgrid dan instalasi surya atap	Biaya investasi tinggi, minimnya insentif fiskal	Kemitraan publik-swasta, strategi pro-pasar, inovasi

Informan	Alasan Dipilih	Temuan Utama	Tantangan/Hambatan	Solusi/Strategi
				energi terdistribusi
<b>Komunitas Warga (Smart Citizen)</b>	Pengguna akhir energi, menilai penerimaan publik	Persepsi positif terhadap energi terbarukan & smart grid	Kekhawatiran biaya awal, keterbatasan informasi, keandalan pasokan	Edukasi publik, insentif, penggunaan aplikasi digital pemantau energi

Matriks di atas memperlihatkan bagaimana masing-masing pemangku kepentingan memberikan perspektif yang berbeda tetapi saling melengkapi. Pemerintah berfokus pada kebijakan, PLN pada infrastruktur teknis, akademisi pada riset dan kolaborasi, industri pada peluang bisnis dan teknologi, sementara warga pada penerimaan sosial. Pola yang terlihat menunjukkan bahwa keberhasilan smart grid berbasis renewable energy sangat ditentukan oleh sinergi multipihak, bukan hanya faktor teknis atau kebijakan tunggal.

## Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi energi terbarukan ke dalam smart grid perkotaan sangat dipengaruhi oleh aspek regulasi, teknis, industri, akademis, dan sosial. Harmonisasi kebijakan lintas level pemerintahan terbukti menjadi faktor penting dalam memperkuat transisi energi hijau di kota pintar. Transformasi digital melalui pemanfaatan AI, IoT, dan big data muncul sebagai solusi utama untuk mengatasi hambatan teknis dalam integrasi energi terbarukan. Partisipasi masyarakat yang positif, meskipun masih dibatasi oleh keterbatasan pemahaman teknis, memperlihatkan potensi besar dalam memperkuat implementasi smart grid melalui pendekatan *smart citizenship*. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan smart grid kota pintar berkelanjutan hanya dapat dicapai melalui pendekatan interdisipliner dan kolaborasi multipemangku kepentingan.

## Manfaat, Batasan, dan Arah Penelitian Masa Depan

Temuan penelitian ini memberikan manfaat teoritis dengan memperluas pemahaman tentang integrasi teknologi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat dalam konteks *smart city*. Secara praktis, hasil penelitian menawarkan landasan untuk merancang kebijakan energi hijau yang lebih adaptif, mendorong inovasi industri energi terbarukan, serta memperkuat peran masyarakat dalam mewujudkan kota pintar berkelanjutan. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah informan yang terbatas dan belum

mencakup analisis kuantitatif untuk mengukur efektivitas implementasi *smart grid* secara menyeluruh. Arah penelitian masa depan disarankan untuk mengeksplorasi model integrasi multi-teknologi dengan pendekatan kuantitatif serta memperluas studi pada skala regional atau nasional. Dengan demikian, penelitian selanjutnya diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif sekaligus mendukung pengembangan kebijakan energi cerdas di berbagai level pemerintahan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Chen, H.-C., Lee, C.-H., Seekings, T. B. W., & Nguyen, L. B. (2025). *Assessing the Public's Social Acceptance of Renewable Energy Management in Taiwan*. *Land*, 14(1), 121. <https://doi.org/10.3390/land14010121> [MDPI](#)

Neves, C., ... (2025). Citizens' participation in local energy communities: the role of stimulus-... *Energy Policy*, (**belum final**) (accepted manuscript). <https://doi.org/10.1080/0960085X.2024.2302426> [Taylor & Francis Online](#)

Tarasova, E., ... (2025). Rethinking energy democracy with greater focus on social ... *Energy Research & Social Science*, (**belum final**). <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.XXXX> [ScienceDirect](#)

Rielli, L. E., ... (2025). The process matters: Exploring public participation in solar ... *Energy*, (**belum final**). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.XXXXX> [ScienceDirect](#)

Wei, T., ... (2025). Integration and Development Path of Smart Grid Technology: technical architecture, policy coordination, and resilient power system. *Processes*, 13(8), 2428. <https://doi.org/10.3390/prcoessesa130802428>