

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor energi, khususnya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara, merupakan penyumbang emisi karbon terbesar di Indonesia. Pada tahun 2024, secara global PLTU batubara dari seluruh dunia menghasilkan emisi yang tinggi yaitu sekitar 9,99 miliar ton CO₂, dimana Indonesia berada di peringkat ke-3 mengemisi 244 juta ton CO₂ (Global Energy Monitor, 2024). Dalam Perjanjian Paris, masyarakat global sepakat membatasi kenaikan suhu bumi hingga 1,5°C dengan menurunkan emisi karbon atau Net Zero Emission (NZE). Mendukung upaya tersebut, Indonesia menargetkan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 31,89% melalui upaya domestik atau hingga 43,20% dengan bantuan internasional pada tahun 2030 (KLHK, 2024). Kebijakan Energi Nasional (KEN) dirancang sebagai peta jalan transisi menuju NZE. Salah satu prioritas KEN adalah meningkatkan bauran energi terbarukan hingga 23% pada 2025 (PP No. 79 Tahun 2014). Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) sebesar 3.687 GW, dengan pemanfaatan mencapai 12.792 MW pada 2023. Surya, hidro, dan bioenergi menjadi sumber utama, mendukung konsumsi listrik nasional 1.173 kWh/kapita. Kontribusi EBT naik 19,9% dari 2021, selaras dengan upaya mencapai ketahanan energi dan bauran EBT nasional.

Jawa Tengah memiliki potensi besar dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT) untuk mendukung transisi energi nasional yang berkelanjutan. Potensi EBT di Jawa Tengah meliputi beberapa sumber utama, yaitu tenaga surya sebesar 176 MW, hidro sebesar 86 MW, angin mencapai 5.213 MW, serta bioenergi dari sampah kota, limbah kelapa sawit, dan hutan produksi kritis dengan total potensi 4.455,8 MW. Sumber daya ini tersebar di seluruh wilayah provinsi, yang memiliki karakteristik geografis dan sumber daya alam yang mendukung pemanfaatan energi terbarukan. Hingga Triwulan III tahun 2023, total kapasitas pembangkit EBT terpasang di Jawa Tengah mencapai 493,73 MW. Ini mencakup pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sebesar 322,1 MW, panas bumi (PLTP) sebesar 72,8 MW, tenaga mikrohidro (PLTM) sebesar 42,48 MW, tenaga surya (PLTS Atap) sebesar 27,78 MW, dan pembangkit berbasis bioenergi sebesar 9,9 MW. Jika dilihat dari data tersebut potensi EBT terbesar terdapat pada energi surya, namun pemanfaatannya baru tercapai 6,3%. Besarnya gap antara nilai potensi energi dan pemanfaatannya ini

mengindikasikan adanya masalah dalam implementasi pengembangan PLTS di Jawa Tengah.

Ketergantungan PLTS pada panel surya (PV-panel) yang memerlukan area permukaan yang cukup untuk menangkap sinar matahari (Asdiyan et al., 2023), menjadi salah satu kendala teknis dalam implementasi pengembangan PLTS di Indonesia (Asdiyan et al., 2023). Beberapa inovasi untuk mengatasi kendala kebutuhan lahan telah diterapkan, seperti memanfaatkan atap bangunan untuk PLTS Atap dan permukaan air untuk PLTS Terapung. Pendekatan ini menjadi solusi efektif dalam memanfaatkan ruang yang tersedia sekaligus mendukung transisi energi bersih. PLTS Terapung di Jawa Tengah, seperti di Tambak Lorok, Semarang, dengan kapasitas 561 kWp, menjadi salah satu contoh inovasi penerapan energi surya di permukaan air. Sementara itu, PLTS Atap yang memanfaatkan ruang atap bangunan juga terus berkembang, di Jawa Tengah sendiri total kapasitas PLTS Atap terpasang mencapai 27,78 MW hingga tahun 2023.

Melalui peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Nomor 49 Tahun 2018, pemerintah mendorong pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (PLTS Atap). Teknologi ini memungkinkan pemanfaatan atap bangunan, baik rumah tangga, industri, maupun fasilitas publik, sebagai ruang instalasi PV-panel tanpa mengorbankan area lahan produktif. Sejak awal pemberlakuannya. Permen ESDM No 49 Tahun 2018, sebagai landasan awal kebijakan PLTS Atap, telah direvisi dan digantikan beberapa kali dengan tujuan untuk menyempurnakan regulasi dan mendukung pengembangan PLTS Atap. Rangkaian perubahan tersebut meliputi penerbitan Permen ESDM No. 13 dan Permen ESDM No 16, 2019, yang kemudian disusul oleh Permen ESDM No 26 Tahun 2021, dan terakhir digantikan oleh Permen ESDM No.2 Tahun 2024 yang berlaku saat ini. Dinamika regulasi meskipun bertujuan positif, namun berpotensi menimbulkan persepsi ketidakpastian hukum di kalangan konsumen dan calon konsumen PLTS Atap (Sun et al., 2018). Analisis lebih lanjut terkait pengaruh perubahan kebijakan terhadap minat konsumen perlu dilakukan. Rincian perubahan kebijakan PLTS Atap dari tahun ke tahun disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan kebijakan PLTS Atap tiap tahun

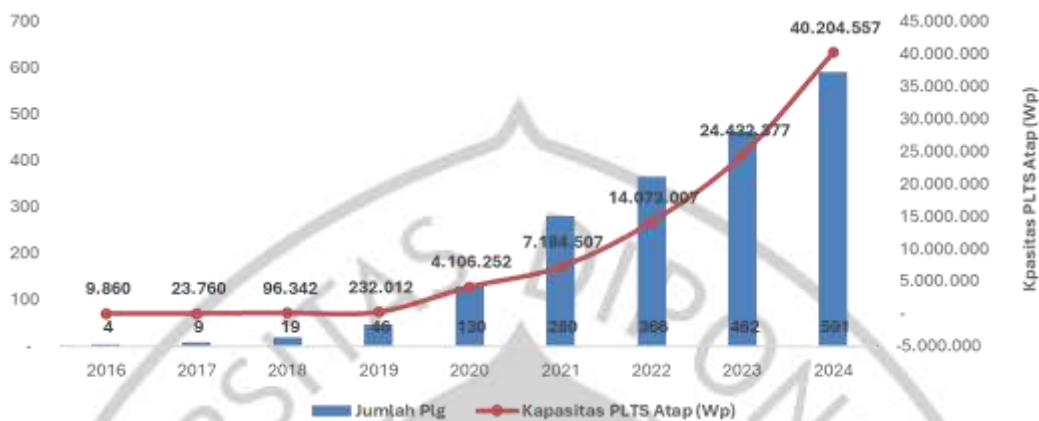
Kriteria	Permen ESDM No. 49		Permen ESDM No.12	Permen ESDM No. 26	Permen ESDM No.2
	2018	2019 (Revisi)	2019	2021	2024
Tujuan	Menghemat tagihan listrik		-	Menghemat tagihan listrik, mendapatkan listrik dari sumber ET, dan berkontribusi menurunkan emisi GRK	Menghemat tagihan listrik, mendapatkan listrik dari sumber ET, dan/atau berkontribusi menurunkan emisi GRK
Izin Operasi	Hanya konsumen dengan kapasitas > 200 kVA wajib memiliki izin operasi	Semua konsumen tanpa batasan kapasitas wajib memiliki izin operasi	Konsumen dengan kapasitas lebih dari 500 kVA dalam 1 sistem wajib memiliki IUPTL	Konsumen dengan kapasitas lebih dari 500 kVA dalam 1 sistem wajib memiliki IUPTL	Konsumen dengan kapasitas lebih dari 500 kVA dalam 1 sistem wajib memiliki IUPTL
SLO	Instalasi dengan kapasitas ≤ 25 kW menjadi bagian dari SLO instalasi tegangan rendah	Semua instalasi wajib memiliki SLO tanpa membedakan kapasitas.	Instalasi dengan kapasitas lebih dari 500 kVA dalam 1 sistem wajib memiliki SLO	Instalasi kapasitas >500 kW atau kapasitas ≤ 500 kW dengan kontrol panel terpisah wajib punya SLO	Instalasi kapasitas >500 kW atau kapasitas ≤ 500 kW dengan kontrol panel terpisah wajib punya SLO
Biaya	Instalasi PLTS atap untuk sektor Industri sistem on-grid dikenakan biaya kapasitas dan biaya pembelian energi listrik darurat	Instalasi PLTS atap untuk sektor Industri sistem on-grid hanya dikenakan biaya kapasitas	-	Instalasi PLTS atap untuk sektor Industri dikenai biaya kapasitas	Instalasi PLTS Atap yang dibangun dan dipasang oleh Pelanggan tidak dikenai biaya operasi paralel
Kapasitas Terpasang	Kapasitas PLTS Atap dibatasi paling tinggi 100% dari daya tersambung PLN		-	Kapasitas PLTS Atap dibatasi paling tinggi 100% dari daya tersambung PLN	Kapasitas PLTS Atap tidak dibatasi, namun bergantung pada kuota pengembangan
Ekspor-impor listrik	Nilai kWh Ekspor yang tercatat pada meter kWh ekspor-impor dikali 65%		-	Nilai kWh Ekspor yang tercatat pada meter kWh ekspor-impor dikali 100%	Surplus energi listrik tidak diperhitungkan

Permen ESDM No. 49 Tahun 2018 menjadi kebijakan pertama terkait PLTS Atap dengan skema net metering yang memberikan kredit sebesar 65% (rasio 1:0,65) untuk surplus energi yang diekspor ke jaringan PLN, menyerupai skema feed-in tariff. Feed-in tariff adalah tarif yang dibayarkan untuk listrik yang disalurkan ke jaringan PLN, sedangkan net metering memungkinkan konsumen mendapatkan kredit untuk surplus energi yang diekspor (Azimoh et al., 2017). Permen ESDM No. 26 Tahun 2021 kemudian meningkatkan rasio tersebut menjadi 1:1, surplus energi mendapatkan kredit penuh. Perubahan ini menguntungkan sektor rumah tangga dan sosial. Melalui Permen ESDM No. 2 Tahun 2024, kebijakan PLTS Atap kembali diperbarui dengan menghapus batasan kapasitas PLTS Atap dan menggantinya dengan kuota pengembangan PLTS nasional. Perubahan ini berdampak positif bagi sektor industri, karena memungkinkan instalasi PLTS Atap dengan kapasitas lebih besar sesuai kebutuhan operasional. Namun, penghapusan skema kredit untuk surplus energi yang diekspor ke jaringan PLN dapat mengurangi minat konsumen sektor rumah tangga dan sosial yang sebelumnya diuntungkan

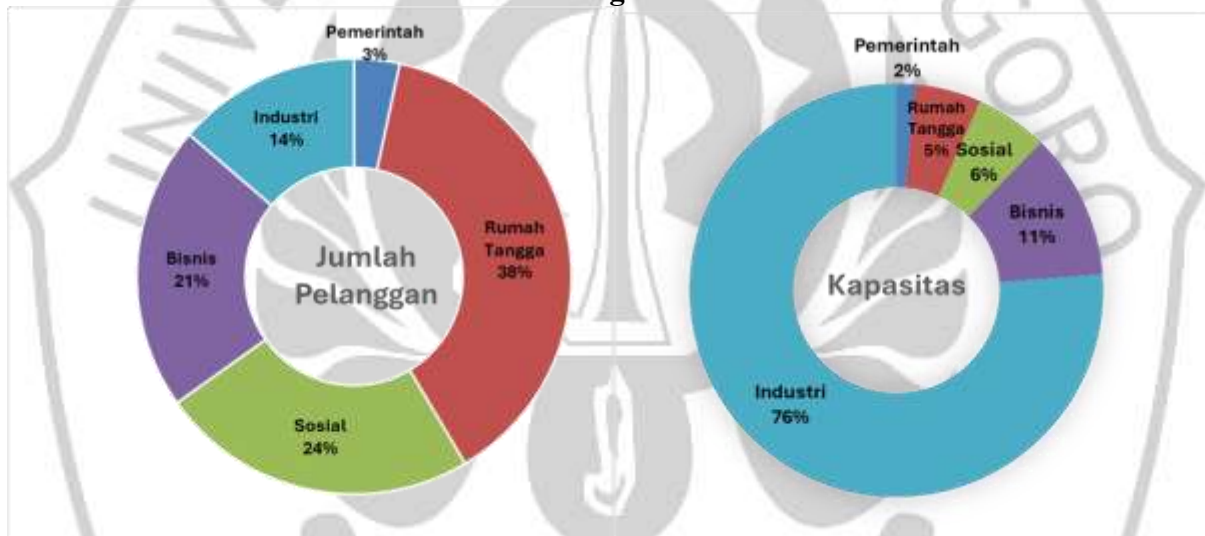
Investasi PLTS Atap pada dasarnya bersifat jangka panjang. Perubahan kebijakan yang berulang, khususnya perubahan tarif feed-in tariff atau skema net metering, dapat memengaruhi proyeksi pendapatan dan periode pengembalian investasi. Zhang et al., (2022) meneliti dampak kebijakan feed-in tariff terhadap investasi PLTS di China. Hasil penelitian menemukan bahwa keberadaan feed-in tariff dapat memperpendek payback period rata-rata hingga 4–6 tahun. Selain itu, setiap penurunan feed-in tariff sebesar 0,1 CNY/kWh mengurangi minat konsumen, terlihat dari total kapasitas terpasang nasional rata-rata menurun sebesar 3,73 GW dalam kurun waktu setengah tahun. Ketidakpastian kebijakan dapat memperpanjang periode pengembalian investasi, dan menurunkan minat konsumen.

Data jumlah konsumen PLTS Atap di Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1 dan 2) memberikan gambaran awal mengenai dampak perubahan kebijakan. Peningkatan jumlah konsumen di sektor industri dari tahun 2023 hingga 2024 dapat diinterpretasikan sebagai respons terhadap penghapusan batasan kapasitas, meskipun faktor lain mungkin juga berkontribusi. Di sisi lain penurunan jumlah konsumen di sektor sosial justru terjadi, kemungkinan besar dipengaruhi oleh penghapusan skema ekspor surplus listrik ke jaringan PLN. Sementara itu, sektor rumah tangga menunjukkan tren peningkatan jumlah konsumen yang stabil, menandakan dampak yang minimal dari perubahan kebijakan tersebut. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi

pola perubahan ini, perlu dilakukan analisis lebih lanjut, termasuk evaluasi terhadap aspek teknis dan dampak kebijakan secara lebih komprehensif di setiap sektor



Gambar 1. Trend jumlah pelanggan dan kapasitas terpasang PLTS Atap di Jawa Tengah



Gambar 2. Trend jumlah pelanggan PLTS Atap tiap sektor di Jawa Tengah

Pengembangan PLTS atap di Jawa Tengah masih menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait dengan aspek teknis dan kebijakan. Penelitian ini akan fokus pada analisis teknis penerapan PLTS atap melalui simulasi PVsyst, mengidentifikasi solusi optimal untuk instalasi di sektor rumah tangga, industri, dan sosial. Seiring dengan adanya perubahan kebijakan terkait PLTS atap, penelitian ini juga akan mengevaluasi pengaruh kebijakan tersebut terhadap minat konsumen di berbagai sektor, serta menganalisis dampaknya terhadap aspek teknis dan keuntungan ekonomi, termasuk kecepatan pengembalian investasi (payback period). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan, pelaku industri, dan masyarakat dalam merumuskan strategi pengembangan PLTS atap yang optimal dan berkelanjutan.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada kajian pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap sistem *on-grid* di Provinsi Jawa Tengah pada sektor rumah tangga, industri, dan sosial. Analisis difokuskan pada aspek teknis yang meliputi produksi energi, *performance ratio* (PR), dan *capacity utilization factor* (CUF), serta aspek ekonomi yang mencakup *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan *payback period*, yang dianalisis melalui simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Kajian kebijakan dibatasi pada evaluasi dampak perubahan regulasi PLTS Atap terhadap kinerja teknis, kelayakan ekonomi, dan minat konsumen di masing-masing sektor. Dalam konteks pengembangan penelitian selanjutnya, PT PLN (Persero) diposisikan sebagai *agent of development* yang berperan sebagai operator dan fasilitator sistem ketenagalistrikan dalam implementasi dan integrasi PLTS Atap, sementara aspek perumusan kebijakan berada di luar ruang lingkup kajian.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, masalah utama yang dapat diidentifikasi yaitu terkait implementasi penerapan pemanfaatan tenaga surya sebagai alternatif energi terbarukan masih belum optimal. Mengkaji terkait PLTS atap, perubahan peraturan dan kebijakan yang sering terjadi menciptakan ketidakpastian hukum dan ekonomi, sehingga memengaruhi minat konsumen di berbagai sektor. Oleh karena itu, penelitian ini akan fokus untuk menjawab rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perubahan kebijakan terhadap efisiensi produksi listrik PLTS Atap di Jawa Tengah, berdasarkan simulasi perangkat lunak PVsyst?
2. Bagaimana dampak perubahan kebijakan terhadap keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi (*payback period*) PLTS atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial?
3. Bagaimana pengaruh perubahan kebijakan terhadap minat pelanggan PLTS Atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial?
4. Bagaimana pengaruh penerapan PLTS Atap terhadap pendapatan PLN, khususnya di wilayah UID Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta?

1.4 Tujuan Penelitian

Kendala aspek teknis dan ekonomi dalam penerapan PLTS Atap dipengaruhi oleh kebijakan yang berlaku. Seringnya perubahan kebijakan terkait PLTS Atap menimbulkan ketidakpastian yang berpengaruh terhadap minat konsumen dan calon konsumen PLTS Atap di berbagai sektor. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis aspek teknis penerapan PLTS atap di sektor rumah tangga, industri dan sosial melalui simulasi perangkat lunak PVSyst.
2. Mengevaluasi dampak perubahan kebijakan terhadap keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi (payback period) PLTS atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial.
3. Mengidentifikasi pengaruh perubahan kebijakan terhadap minat pelanggan PLTS Atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial.
4. Menganalisis pengaruh penerapan PLTS Atap terhadap pendapatan PLN di wilayah UID Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta?

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat di bidang akademis maupun praktisi. Manfaat penelitian yaitu:

1. Bagi pengembangan penelitian, memberikan pemahaman mengenai pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap khususnya di Jawa Tengah, dan umumnya seluruh wilayah Indonesia.
2. Bagi lingkungan, mendukung prinsip keberlanjutan karena memanfaatkan teknologi yang memanfaatkan potensi energi melimpah.
3. Bagi masyarakat, meningkatkan akses listrik di daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik, dapat mendorong masyarakat untuk lebih mandiri dalam memenuhi kebutuhan energi, dan memanfaatkan listrik untuk meningkatkan produktivitas ekonomi, seperti mendukung kegiatan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM).

1.6 Orisinalitas Penelitian

Penelitian-penelitian sebelumnya mengenai PLTS seringkali hanya berfokus pada salah satu aspek, seperti efisiensi teknis atau kebijakan tunggal. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan analisis teknis penerapan PLTS atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial melalui simulasi perangkat lunak PVSyst di Jawa

Tengah. Penelitian ini juga akan melakukan analisis dampak perubahan kebijakan terhadap implementasi PLTS atap di berbagai sektor. Sebagai contoh, penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Kadang dan Windarta (2021) hanya berfokus pada optimasi sosial-ekonomi tanpa mengevaluasi perubahan kebijakan secara mendalam. Dengan menambahkan analisis kebijakan, penelitian ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kebijakan terhadap keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi (payback period) PLTS atap.

Kebaruan lain dalam penelitian ini adalah fokus pada evaluasi keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi di sektor rumah tangga, industri, dan sosial, yang belum banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya. Penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Asdiyan et al. (2023), hanya menganalisis unjuk kerja teknis tanpa memperhitungkan dampak kebijakan dan analisis ekonomi secara menyeluruh. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang dijadikan sebagai referensi ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Fokus Analisis Penelitian Terdahulu	Gap
1.	Kadang dan Windarta, 2021	Penelitian ini fokus pada optimasi sosial-ekonomi PLTS PV di Indonesia, khususnya daerah 3T. Menggunakan data biaya investasi, LCOE, dan irradiasi matahari, hasil menunjukkan semakin rendah biaya investasi PLTS PV, membuat semakin ekonomis, dengan intensitas radiasi 4,8 kWh/m ² per hari.	Penelitian ini akan menambahkan poin analisis terkait pengaruh perubahan kebijakan dan dampaknya terhadap implementasi PLTS Atap
2.	Asdiyan et al., 2023	Penelitian ini menganalisis unjuk kerja PLTS 11,2 kWp di Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara, menggunakan data produksi listrik riil dan simulasi PVsyst. Hasil riil selama setahun mencapai 13.809,6 kWh, dengan Yf 1233,0 kWh/kWp, Yr 1699,7 kWh/kW, PR 72,4%, dan CUF 14,1%. Hasil simulasi menunjukkan potensi produksi 14.516 kWh.	Penelitian ini akan mengintegrasikan evaluasi dampak kebijakan terhadap keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi PLTS atap

3.	Sun et al., 2018	Penelitian ini mengidentifikasi perilaku konsumen dan niat pembelian terkait sistem PLTS atap, dengan fokus pada karakteristik pribadi, manfaat psikologis, dan insentif pemerintah, menggunakan data survei dan metode analisis statistik.	Penelitian ini akan melibatkan simulasi teknis menggunakan perangkat Pvsyst dan evaluasi dampak kebijakan pada implementasi PLTS atap
4.	Azimoh et al., 2017	Penelitian ini menguji dampak kebijakan net metering terhadap akses listrik di Afrika Selatan, melalui analisis kinerja grid dan partisipasi IPP, diperoleh bahwa kebijakan net metering berhasil meningkatkan akses, keandalan, dan efisiensi jaringan listrik	Penelitian ini akan mengevaluasi dampak kebijakan pada keuntungan ekonomi dan kecepatan pengembalian investasi PLTS atap di sektor rumah tangga, industri, dan sosial di Jawa Tengah
5.	Zhang et al., (2022)	Penelitian ini berfokus pada investasi PLTS skala besar di Cina untuk mengevaluasi efektivitas kebijakan feed-in tariff, menggunakan data panel 31 provinsi dan metode GMM, hasil analisis menunjukkan feed-in tariff meningkatkan investasi hingga 7% per 1% kenaikan tarif, sementara penurunan biaya investasi 1 CNY/W meningkatkan kapasitas terpasang sebesar 71,74 MW.	Penelitian ini akan mengkaji dampak kebijakan penerapan PLTS atap serta mengevaluasi keuntungan ekonomi dan payback period di sektor rumah tangga, industri, dan sosial.

