

ENERGIEWENDE DAN TRANSFORMASI SISTEM ENERGI SURYA PASCA PENGHENTIAN NUKLIR DI JERMAN

Varra Rosantya Putri Leandyc

Jurusan Ilmu Hubungan Internasional
Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
151230085@student.upnyk.ac.id

Indah Latifa Kamil

Jurusan Ilmu Hubungan Internasional
Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
151230033@student.upnyk.ac.id

Zaskia Fadillah Dinata

Jurusan Ilmu Hubungan Internasional
Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
151240112@student.upnyk.ac.id

Submitted: 29th April 2026 | Accepted: 24th May 2026

ABSTRAK

Penghentian energi nuklir (*nuclear phase-out*) di Jerman mencapai tahap final pada April 2023 dengan ditutupnya tiga reaktor nuklir terakhir, yaitu Emsland, Neckarwestheim II, dan Isar II. Kebijakan ini berlangsung di tengah krisis energi Eropa akibat terganggunya pasokan gas alam Rusia pasca konflik Rusia–Ukraina tahun 2022 yang meningkatkan kerentanan terhadap keamanan energi Jerman. Sebagai negara industri maju yang sebelumnya memanfaatkan energi nuklir sebagai salah satu sumber listrik stabil, keputusan tersebut menimbulkan tantangan terhadap fleksibilitas dan stabilitas sistem kelistrikan nasional. Penelitian ini bertujuan menganalisis peran percepatan pengembangan energi surya dalam memperkuat fleksibilitas dan resiliensi sistem energi Jerman pasca penghentian nuklir sebagai bagian dari kebijakan *Energiewende*. Penelitian menggunakan metode kajian pustaka (*literature review*) dengan memanfaatkan data sekunder berupa jurnal ilmiah, laporan resmi pemerintah Jerman, serta publikasi lembaga energi internasional periode 2021–2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penguatan sistem energi Jerman didukung oleh kebijakan desentralisasi energi melalui instalasi panel surya skala rumah tangga dan industri, dukungan regulasi seperti *Solarpaket I*, reformasi EEG, insentif fiskal, serta integrasi teknologi penyimpanan energi dan *smart grid*. Kontribusi energi terbarukan yang mencapai lebih dari 50% dalam bauran listrik nasional menunjukkan bahwa sistem energi tanpa nuklir dapat dipertahankan melalui diversifikasi energi dan integrasi teknologi fleksibilitas, meskipun masih menghadapi tantangan intermitensi serta kebutuhan investasi infrastruktur jangka panjang.

Kata kunci: Energiewende; energi surya; keamanan energi

PENDAHULUAN

Di abad ke-21 ini, kemampuan untuk mentransformasikan sistem energi global semakin didorong perkembangannya oleh banyak negara untuk mengurangi emisi karbon, meningkatkan keamanan energi, serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan nuklir (International Energy Agency, 2021), tak terkecuali Jerman yang menjadi salah satu contoh negara yang paling progresif dalam hal transformasi energi dengan kebijakan pemerintahnya, *Energiewende*. Menurut Renn dan Marshall (2016), kebijakan *Energiewende* yang secara harfiah berarti 'transisi energi' dalam bahasa Jerman, merupakan wujud dari strategi nasional yang bertujuan untuk mentransformasikan sistem energi menuju dominasi energi terbarukan dengan menurunkan penggunaan bahan bakar fosil dan mengakhiri penggunaan energi nuklir secara bertahap. Program ini juga sering disebut sebagai salah satu proyek infrastruktur terbesar dalam sejarah Jerman karena melibatkan perubahan yang fundamental dalam distribusi, konsumsi dan sistem produksi energi nasional, dimana dalam targetnya pemerintah Jerman berambisi untuk menggunakan sekitar 80% energi terbarukan sebagai sumber dari produksi listrik nasional di tahun 2050 (Saini et al., 2014).

Secara spesifik, kebijakan *Energiewende* mendapatkan momentum percepatannya sejak kecelakaan nuklir di Fukushima terjadi pada tahun 2011 yang memunculkan perdebatan besar mengenai risiko keselamatan energi nuklir. Sebagai tanggapan dari peristiwa tersebut, Kanselir Jerman pada masa itu, Angela Merkel, meluncurkan Program *Energiewende* yang terarah dengan 4 target utama yakni: 1) penghentian pemakaian PLTN secara bertahap untuk kemudian dihilangkan sepenuhnya pada tahun 2022; 2) pengurangan emisi gas rumah kaca dengan *baseline target* dari tahun 1990 untuk tiap periode berikutnya yakni 40% di tahun 2020, 55% pada tahun 2030, 70% pada tahun 2040 hingga target akhir tahun 2050 dengan penurunan emisi karbon sebesar 80-95%; 3) pengembangan dan peningkatan peran energi terbarukan dalam konsumsi listrik sebesar 40-45% di tahun 2025, 55-60% pada tahun 2035, dan mencapai target lebih dari 80% di tahun 2050; 4) peningkatan efisiensi energi sehingga terjadi pengurangan konsumsi listrik dengan baseline tahun 2008 untuk ditingkatkan sebesar 10% pada tahun 2020 hingga 25% di tahun 2050 (IESR, 2016).

Terkhusus pada target *Energiewende* yang kemudian menghentikan operasi PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) sepenuhnya pada tahun 2022, pemerintah Jerman kemudian mengambil kebijakan *nuclear phase out* yang mencapai tahap akhirnya ketika tiga reaktor nuklir terakhir di Jerman resmi ditutup pada April 2023, yakni reaktor nuklir Emsland, Neckarwestheim II dan Isar II (Asia Today, 2023). Pada akhirnya, penutupan pembangkit listrik tenaga nuklir ini tidak hanya didasarkan pada pertimbangan teknis, tetapi juga pada tekanan sosial dan politik yang kuat dari masyarakat Jerman yang sejak lama memandang energi nuklir sebagai risiko jangka panjang bagi lingkungan dan keselamatan publik, sehingga mendukung adanya transisi energi terbarukan yang dinilai lebih praktis pengelolaannya (Renn & Marshall, 2016).

Meskipun demikian, penghentian energi nuklir menimbulkan dilema strategis bagi sistem energi Jerman karena reaktor-reaktor nuklir yang sebelumnya berperan sebagai salah satu sumber pasokan listrik stabil (*dispatchable generation*) yang mampu beroperasi secara kontinu dalam siklus 24 jam. Hilangnya sumber energi stabil kemudian menimbulkan kekhawatiran mengenai kemampuan sistem energi Jerman dalam menjaga suplai energi nasional, yang diperparah dengan munculnya konflik

Rusia-Ukraina tahun 2022. Sebelum krisis energi terjadi, Uni Eropa mengimpor sekitar 155 miliar meter kubik gas alam dari Rusia setiap tahun yang dengan adanya gangguan pada jaringan pipa utama seperti *Nord Stream pipeline* kemudian menyebabkan penurunan tajam aliran gas dan memicu lonjakan harga energi di seluruh Eropa, termasuk Jerman. Pada akhirnya kombinasi antara penghentian energi nuklir dan berkurangnya pasokan gas impor menempatkan sistem energi Jerman pada situasi yang sangat kritis (Morgan, 2022).

Dalam situasi yang kompleks tersebut, Pemerintah Jerman kemudian mempercepat pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif strategis untuk menjaga ketahanan energi nasional dengan energi surya dan angin sebagai fokus utama dalam kebijakan tersebut karena dinilai memiliki potensi besar untuk dikembangkan secara luas dalam sistem energi modern. Penelitian ini memfokuskan perhatian pada energi surya karena ekspansinya yang signifikan dalam sistem energi Jerman. Selain itu, karakter desentralistik energi surya memungkinkan integrasi langsung pada sektor domestik maupun industri, khususnya melalui instalasi *rooftop* dan skala terdistribusi yang meminimalkan kebutuhan ekspansi lahan dibandingkan pembangunan pembangkit terpusat berskala besar. Dengan dukungan dari instrumen regulasi Jerman seperti *Renewable Energy Source Act* (EEG) yang sudah ditetapkan sejak tahun 2000, program ini kemudian mulai memberikan insentif ekonomi bagi produsen energi terbarukan melalui mekanisme *feed-in tariff*, yang terbukti berhasil mendorong pertumbuhan kapasitas energi terbarukan secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir yang membuat kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional meningkat secara konsisten (Rogge & Johnstone, 2017). Data oleh *Umweltbundesamt* atau Badan Lingkungan Federal Jerman menyatakan bahwa kebijakan EEG berhasil mendorong peningkatan signifikan energi terbarukan dalam sistem listrik Jerman. Kontribusi energi terbarukan meningkat dari sekitar 6,3% pada tahun 2000 menjadi lebih dari 25% pada 2013 dan mencapai sekitar 54,1% pada 2024. Peningkatan ini menunjukkan transformasi energi terbarukan dari sumber marginal menjadi komponen utama dalam sistem listrik nasional, yang tak hanya memperkuat ketahanan energi, tetapi juga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dengan menghindari sekitar 259 juta ton emisi CO₂ ekuivalen pada 2024 (Umweltbundesamt, 2026).

Akan tetapi, transformasi menuju sistem energi yang didominasi energi terbarukan tentu menghadapi tantangan teknis yang signifikan, terutama terkait sifat intermiten sumber energi seperti surya dan angin. Berbeda dengan pembangkit listrik berbasis nuklir atau bahan bakar fosil yang mampu menyediakan pasokan listrik stabil sepanjang waktu, produksi energi terbarukan sangat bergantung pada kondisi cuaca dan waktu, sehingga tidak mampu menghasilkan energi secara kontinu. Energi surya, misalnya, hanya dapat beroperasi optimal ketika radiasi matahari tersedia, sehingga menimbulkan tantangan dalam integrasinya ke dalam sistem kelistrikan yang sebelumnya ditopang oleh sumber listrik stabil. Oleh karena itu, kondisi ini menuntut penguatan teknologi penyimpanan energi, modernisasi jaringan listrik, serta mekanisme manajemen permintaan yang lebih fleksibel agar kontribusi energi surya dapat dioptimalkan dalam menjaga stabilitas sistem kelistrikan nasional (Saini et al., 2014).

Sejumlah penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa keberhasilan transformasi energi di Jerman tidak hanya ditentukan oleh faktor teknologi, tetapi juga oleh dimensi sosial, politik, dan institusional yang mendorong perubahan paradigma

energi nasional (Renn & Marshall, 2016). Selain itu, kebijakan penghentian teknologi energi tertentu seperti nuklir dapat berfungsi sebagai katalis bagi inovasi dan percepatan pengembangan energi terbarukan melalui kombinasi instrumen kebijakan yang saling melengkapi. Studi tersebut juga menekankan pentingnya pembangunan infrastruktur jaringan listrik dan teknologi penyimpanan energi untuk mengatasi fluktuasi produksi listrik dari sumber energi terbarukan (Rogge & Johnstone, 2017).

Meskipun berbagai studi telah membahas kebijakan *Energiewende* dan dampak penghentian energi nuklir terhadap transisi energi Jerman, sebagian besar masih berfokus pada aspek kebijakan makro, dekarbonisasi, atau perkembangan energi terbarukan secara agregat. Kajian yang secara spesifik menelaah kontribusi energi surya terhadap penguatan fleksibilitas sistem kelistrikan pasca *nuclear phase-out*, terutama dalam konteks stabilitas pasokan di tengah krisis energi Eropa, masih relatif terbatas. Kesenjangan ini penting untuk dikaji mengingat energi surya memiliki karakter intermiten yang menuntut integrasi teknologi dan kebijakan pendukung agar dapat berkontribusi secara optimal terhadap resiliensi sistem energi nasional. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan berfokus pada analisis transformasi sistem energi Jerman setelah penghentian energi nuklir dengan menelaah bagaimana percepatan pengembangan energi surya berkontribusi terhadap adaptasi dan fleksibilitas sistem energi pasca penghentian nuklir. Penelitian ini juga secara khusus membatasi pembahasan pada perkembangan kebijakan energi surya, perubahan bauran energi nasional, serta implikasinya terhadap stabilitas sistem energi.

Dengan demikian, rumusan masalah utama terkait kasus ini adalah bagaimana kontribusi percepatan pengembangan energi surya dalam memperkuat fleksibilitas sistem kelistrikan Jerman pasca penghentian energi nuklir di tengah krisis pasokan energi Eropa melalui diversifikasi energi terbarukan dengan penekanan pada kontribusi energi surya sebagai salah satu instrumen penguatan fleksibilitas sistem. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana percepatan instalasi energi surya di Jerman berkontribusi dalam memperkuat fleksibilitas dan resiliensi sistem energi Jerman pasca penghentian nuklir. Penelitian ini juga bertujuan untuk menilai sejauh mana desentralisasi energi melalui instalasi panel surya pada rumah tangga dan sektor industri dapat memperkuat ketahanan energi nasional serta menjaga stabilitas jaringan listrik dalam kombinasi dengan dukungan teknologi penyimpanan energi dan kebijakan desentralisasi.

Pada akhirnya, hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam dua aspek utama. Secara akademik, penelitian ini dapat memperkaya kajian mengenai transisi energi dan kebijakan penghentian teknologi energi dalam perspektif keamanan energi dan inovasi teknologi. Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pembuat kebijakan dalam merancang strategi transisi energi yang berkelanjutan dengan mengoptimalkan potensi energi terbarukan. Penelitian ini memosisikan energi surya bukan sebagai substitusi langsung energi nuklir, melainkan sebagai bagian dari konfigurasi sistem energi fleksibel yang menopang resiliensi kelistrikan nasional.

KERANGKA BERPIKIR

Konsep Manajemen Risiko Keamanan Energi

Manajemen risiko energi berdasarkan yang dipaparkan oleh Det Norske Veritas (DNV) adalah konsep menjelaskan terkait perencanaan, praktik kebijakan hingga implementasi pengelolaan risiko yang berkaitan dengan sektor energi. Manajemen ini merupakan hal yang penting bagi negara maupun perusahaan karena setiap negara yang berurusan dengan sebuah energi memiliki risikonya masing-masing. Konsep ini berkaitan dengan banyak hal yang berkaitan dengan energi seperti fluktuasi, perubahan proses penawaran dan berbagai tindakan politik yang dapat mempengaruhi (DNV, 2026).

Pendekatan ini berguna untuk menjaga stabilitas energi di tengah ketidakpastian yang dialami oleh sebuah negara bahkan perusahaan. Konsep ini dirancang agar dapat membantu perusahaan atau negara terhindar dari permasalahan operasional dan pengelolaan serta antisipasi yang lebih baik. Manajemen risiko keamanan energi ini juga berfungsi untuk memitigasi, mengevaluasi untuk pengefektifan dan kesadaran akan risiko di dalam sebuah tim (negara maupun perusahaan).

Det Norske Veritas (DNV) melansir ada tiga tahap tahapan dalam manajemen risiko keamanan energi. Tahapan-tahapan ini dinilai penting agar dapat memitigasi atau mengelola risiko-risiko yang akan dihadapi kedepannya. Tiga tahap tersebut meliputi, identifikasi risiko, penilaian risiko dan yang terakhir adalah tahap mitigasi risiko yang berisi implementasi dari tahap-tahap sebelumnya. Ketiga proses yang dilakukan ini digunakan untuk mengidentifikasi masalah yang akan datang dan tindakan yang perlu diimplementasikan agar dampak yang dirasakan tidak signifikan.

Pertama adalah identifikasi risiko yang berpeluang muncul, baik itu kecil maupun besar lakukan identifikasi terhadap risiko yang ditimbulkan. Setelah melakukan identifikasi risiko hal kedua yang perlu dilakukan adalah penilaian risiko, melakukan penelusuran lebih lanjut terkait hal-hal yang berdampak karena adanya risiko tersebut atau melakukan evaluasi berkaitan dengan dampak apa saja yang akan ditimbulkan dari risiko-risiko tersebut. Proses terakhir adalah mitigasi risiko, proses ini adalah tahap implementasi dari strategi yang digunakan untuk memitigasi risiko-risiko yang ada.

Manajemen risiko keamanan energi yang berasal dari DNV menekankan pada tiga proses yang banyak membahas risiko yang terjadi dan diakhiri dengan tindakan yang perlu dilakukan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan dampak dari risiko-risiko yang ada. Konsep ini menjadi penting karena negara dan perusahaan memerlukan keamanan energi yang baik agar tidak berdampak buruk terhadap warga atau bisnis yang dinaungi.

Selain itu, konsep ini juga dapat menjelaskan bagaimana Jerman dapat melakukan manajemen terhadap risiko-risiko yang akan dihadapi dan membantu memahami bagaimana cara manajemen risiko yang digunakan Jerman, terutama dalam manajemen risiko terhadap pergantian sumber energi yang diprioritaskan.

Keamanan Energi: Diversifikasi

Konsep keamanan energi yang digagaskan oleh Sovacool menggambarkan bahwa keamanan energi merupakan elemen penting dalam menjaga energi-energi yang ada. Keamanan energi ini memiliki lima kunci utama yang menggambarkan konsep keamanan energi meliputi ketersediaan, keterjangkauan, teknologi, keberlanjutan dan regulasi (Sovacool & Mukherjee, 2011).

Kunci dari ketersediaan adalah kepemilikannya akan sumber daya, cadangan bahan bakar yang mencukupi untuk ditransformasi menjadi layanan energi. keterjangkauan meliputi pemerataan akses di setiap wilayah dengan biaya yang stabil dan nominal yang terendah. Aspek teknologi adalah kemampuan untuk beradaptasi serta dapat melakukan pemulihan dari permasalahan pasokan dan meliputi investasi terhadap penelitian menyangkut kekuatan yang efektif dari teknologi. Keberlanjutan yang merupakan aspek yang tidak kalah penting, berkoordinat pada meminimalisir degradasi terhadap alam seperti lahan hutan air dan udara. Aspek yang memiliki pengaruh kuat lainnya adalah sebuah regulasi diartikan sebagai kepemilikan atas legitimasi serta partisipatif dalam pembuatan kebijakan disertai dengan informasi yang komprehensif (Sovacool & Mukherjee, 2011).

Dalam keamanan energi terdapat suatu konsep yang dinamakan diverifikasi, konsep ini menjelaskan mengenai pemanfaatan sumber energi yang tidak berfokus pada satu sumber saja. Diverifikasi menggabungkan beberapa sumber energi sebagai energi fosil dan terbarukan guna memenuhi energi yang perlu dipenuhi suatu negara, tidak hanya itu hal ini juga dapat memberikan dampak berkelanjutan terhadap energi terbarukan (Fieldvest, 2025).

Diversifikasi energi yang dijelaskan oleh Fieldvest menerangkan mengenai aspek penting dalam mengimplementasikan ini. Kebijakan menjadi salah satu aspek yang dibahas hal ini juga berkaitan dengan regulasi serta pendorongan pada pasar. Hal ini menjadi penting karena setiap kebijakan yang dilakukan dapat dilakukan sebagai navigasi dalam memetakan strategi selanjutnya (Fieldvest, 2025).

Diversifikasi energi yang dijelaskan oleh Fieldvest menerangkan mengenai aspek penting dalam mengimplementasikan ini. Kebijakan menjadi salah satu aspek yang dibahas hal ini juga berkaitan dengan regulasi serta pendorongan pada pasar. Hal ini menjadi penting karena setiap kebijakan yang dilakukan dapat dilakukan sebagai navigasi dalam memetakan strategi selanjutnya.

Penelitian ini akan membahas terkait bagaimana diversifikasi energi akan mempengaruhi dan proses penggunaannya dalam pengimplementasian energi terbarukan. Pada penelitian kali ini juga akan berfokus terhadap pemanfaatan sumber daya energi negara yang akan mendukung kebijakan-kebijakan terkait energi keberlanjutan dari negara Jerman. Hal ini menjadi penting karena dapat menjelaskan terkait bagaimana faktor-faktor yang ada dapat mendorong keberhasilan terhadap suatu kebijakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (*library research*) yang merujuk pada prosedur penelitian menurut Mestika Zed (2008) dan bersifat deskriptif-analitis. Penelitian ini berfokus pada analisis strategi transisi energi Jerman melalui kebijakan *Energiewende* dalam memperkuat *energy security* pasca krisis energi Eropa tahun 2022. Adapun unit analisis dalam penelitian ini meliputi: (1) kebijakan energi Jerman terkait pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya; (2) perkembangan bauran energi (*energy mix*) Jerman sebelum dan sesudah krisis energi 2022; (3) tingkat ketergantungan Jerman terhadap impor gas alam Rusia; serta (4) peningkatan kapasitas dan penggunaan teknologi panel surya sebagai bagian dari strategi kemandirian energi nasional.

Sumber data yang digunakan sepenuhnya berasal dari data sekunder yang meliputi buku akademik, jurnal ilmiah internasional, laporan resmi pemerintah Jerman terkait kebijakan *Energiewende*, data statistik energi dari lembaga seperti *International Energy Agency* (IEA), *International Renewable Energy Agency* (IRENA), *European Commission*, dan publikasi ilmiah lain yang relevan dengan isu keamanan energi Jerman (Michael, 2025). Data yang digunakan diprioritaskan pada sumber-sumber mutakhir yang diterbitkan pasca terjadinya gangguan pasokan gas alam Rusia ke kawasan Eropa pada tahun 2022 guna menjamin aktualitas dan relevansi penelitian.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi, yaitu dengan menelusuri, mengumpulkan, dan mengkaji berbagai dokumen, laporan, artikel ilmiah, serta data statistik yang berkaitan dengan kebijakan energi Jerman dan perkembangan energi surya. Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini berupa studi literatur sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi informasi mengenai perubahan kebijakan energi, peningkatan investasi energi terbarukan, serta kontribusi energi surya terhadap stabilitas pasokan energi nasional Jerman.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*) secara kualitatif. Data yang telah terkumpul kemudian diklasifikasikan berdasarkan tema-tema utama seperti krisis energi Eropa, kebijakan *Energiewende*, transisi energi, bauran energi nasional, dan pengembangan panel surya. Selanjutnya data dianalisis melalui proses interpretasi dan sintesis untuk membangun argumentasi mengenai efektivitas energi surya dalam memperkuat keamanan energi di Jerman.

Alur berpikir penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan mengenai kerentanan energi Jerman akibat tingginya ketergantungan terhadap impor energi fosil, khususnya gas alam Rusia. Tahap berikutnya adalah pengumpulan literatur mengenai krisis energi Eropa tahun 2022, kebijakan transisi energi Jerman, serta perkembangan penggunaan energi surya. Setelah itu dilakukan analisis terhadap perubahan bauran energi dan strategi diversifikasi energi Jerman untuk kemudian ditarik kesimpulan mengenai peran energi surya sebagai solusi strategis dalam mendukung kemandirian dan keamanan energi jangka panjang Jerman (Zed, 2008).

PEMBAHASAN

Dampak Terminasi Nuklir terhadap Stabilitas Grid

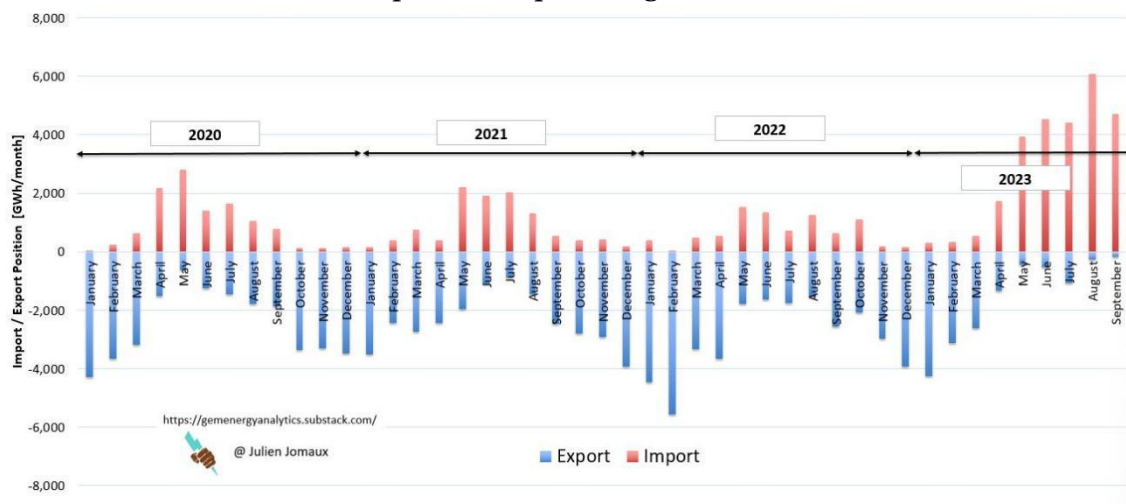
Terminasi energi nuklir di Jerman yang mencapai tahap final pada April 2023 dengan tertutupnya tiga reaktor nuklir terakhir menandai berakhirnya peran energi nuklir sebagai salah satu sumber listrik stabil dalam sistem energi nasional yang turut

menyumbang porsi signifikan dalam bauran energi nasional. Hilangnya pasokan listrik yang beroperasi secara terus menerus selama 24 jam ini kemudian menciptakan tantangan teknis bagi stabilitas jaringan listrik (*grid*) mengingat energi nuklir sebelumnya berkontribusi dalam menopang stabilitas pasokan listrik di Jerman melalui karakter operasinya yang kontinu (SMARD, 2023).

Salah satu dinamika ketidakseimbangan sistemik yang sempat dihadapi oleh Jerman pasca terminasi nuklir terlihat pada pergeseran neraca perdagangan listrik nasional dimana negara tersebut bertransformasi menjadi importir netto listrik melalui negara tetangga seperti Prancis dan Denmark (Clean Energy Wire, 2025b). Untuk pertama kalinya dalam satu dekade terakhir, Jerman mengimpor energi listrik pada Mei 2023 sebagai bagian dari fase penyesuaian sistem kelistrikan nasional yang dipengaruhi oleh fluktuasi produksi energi terbarukan, keterbatasan fleksibilitas pasokan domestik, serta dinamika pasar listrik regional Eropa.

Seperti yang dapat dilihat dari grafik dibawah ini, Jerman mengalami ketergantungan impor energi tertinggi pada Mei 2023 hingga mencapai lebih dari 6.000 GWh pada Agustus 2023, mengindikasikan adanya kebutuhan penyeimbangan pasokan nuklir melalui interkoneksi regional pada fase transisi pasca penghentian nuklir dan berkurangnya sumber daya *baseload* dari tenaga nuklir.

Grafik 1. Grafik ekspor dan impor energi di Jerman (2020–2023)



(GEM Energy Analytics, 2023)

Meskipun demikian, untuk merespon keterbatasan dari sifat intermitensi energi surya yang berhenti memproduksi saat matahari terbenam, Pemerintah Jerman kemudian mengintegrasikan sistem penyimpanan energi baterai sebagai salah satu instrumen fleksibilitas sistem dimana teknologi ini memungkinkan penyimpanan surplus listrik pada periode produksi tinggi (biasanya saat matahari bersinar di pagi atau siang hari) untuk kemudian didistribusikan kembali ketika permintaan meningkat atau ketika *output* energi terbarukan menurun (saat malam hari) (RTS Corporation, 2025).

Penguatan integrasi antara *photovoltaic* dan teknologi penyimpanan energi didukung oleh reformasi energi melalui Osterpaket 2022 dan Amandemen EEG 2023 yang menetapkan pengembangan energi terbarukan sebagai kepentingan publik yang utama (*overriding public interest*) (Clean Energy Wire, 2022), sehingga memberikan

kerangka regulasi yang kuat untuk mendukung sinergi antara instalasi PV dan teknologi penyimpanan di seluruh tingkatan.

Implementasi reformasi ini diwujudkan melalui berbagai kebijakan insentif strategis seperti pembebasan pajak pertambahan nilai (PPN 0%) untuk sistem panel surya dan komponen baterai di skala rumah tangga, yang bertujuan mempercepat desentralisasi energi dari pembangkit listrik skala raksasa seperti PLTN dan PLTU (Nuklir dan Batubara) yang berada di beberapa titik saja menjadi produksi listrik oleh unit-unit yang lebih kecil seperti panel surya di berbagai daerah (Clean Energy Wire, 2025b). Dengan demikian, ketergantungan impor pada Mei 2023 dapat dipandang sebagai indikator kebutuhan mendesak untuk mempercepat implementasi teknis dari reformasi tersebut, mengingat nilai impor yang juga mulai menurun di September 2023 dapat mengindikasikan adanya proses adaptasi bertahap dalam sistem kelistrikan Jerman, meskipun belum dapat diartikan sebagai tercapainya keseimbangan sistem secara menyeluruh.

Oleh karenanya, meskipun temuan ini menunjukkan bahwa energi surya belum dapat menggantikan fungsi *baseload* nuklir secara langsung karena sifat intermitennya yang bergantung pada kondisi cuaca dan waktu, energi surya memiliki kontribusi penting sebagai bagian dari konfigurasi sistem energi yang fleksibel melalui integrasinya dengan teknologi penyimpanan energi, interkoneksi regional, serta diversifikasi sumber pembangkit lainnya. Dengan demikian, stabilitas sistem energi Jerman pasca penghentian nuklir lebih tepat dipahami sebagai hasil adaptasi multi-instrumen dibandingkan substitusi langsung oleh energi surya.

Akselerasi Panel Surya sebagai Solusi Substitutif

Kebijakan yang strategis menjadi solusi utama yang dikeluarkan Jerman guna memitigasi berbagai kompleksitas permasalahan energi nasional, terutama pasca-terminasi energi nuklir. Sebagai langkah konkret, Jerman mengesahkan kebijakan Solarpaket 1 yang bertujuan untuk membangun, memperkuat serta mengakselerasi ekspansi energi terbarukan dengan fokus utama pada optimalisasi energi surya sebagai pilar substitutif. Kebijakan ini memiliki beberapa aspek pendorong untuk memperluas perkembangannya.

Solarpaket 1 menciptakan ruang bagi negara untuk meningkatkan sumber listrik negara dari energi-energi terbarukan. Peningkatan yang dilakukan juga didorong dengan solusi-solusi terkait tempat penyimpanan energi hingga perluasan jaringan listrik. Tindakan yang dilakukan Jerman menunjukkan upaya serius yang diusahakan agar terhindar dari ancaman energi serta kebijakan ini juga mendorong signifikansi penjagaan iklim di bumi. Perluasan teknologi ini diimplementasikan dengan perniagaan yang melibatkan masyarakat dan pengusaha sehingga melalui integrasi kebijakan ini, Jerman berupaya memastikan bahwa transisi menuju kedaulatan energi hijau dapat berjalan lebih progresif dan inklusif terhadap dinamika krisis energi global (Brendel, 2024).

Pemerintah Jerman khususnya kementerian federal untuk urusan ekonomi dan iklim, telah melakukan tinjauan dan strategi lebih lanjut untuk mengintegrasikan antara penghuni, pengusaha dan perluasan pembaruan energi. Tindakan yang dilakukan adalah tindakan perniagaan terkhususnya tempat tinggal dilakukan pemasangan instalasi PV untuk di balkon dan ditanam pada tanah, pemerintah juga telah menyederhanakan bagi

operator instalasi. Hal ini dilakukan untuk menjamin partisipasi masyarakat dalam proses tercapainya persebaran energi terbarukan di Jerman (BMWE, 2024).

Upaya solutif ini juga menjadi daya tarik bagi berbagai perusahaan karena menawarkan keuntungan yang jarang didapatkan. Contohnya adalah pemasangan panel surya pada rumah-rumah yang ada di Jerman oleh sebuah perusahaan akan membantu perusahaan tersebut dalam memenuhi kebutuhan energi mereka selain itu dapat mengurangi jejak ekologis yang ditimbulkan oleh perusahaan. Pengusaha juga akan tertarik dengan penawaran pemerintah karena terdapat sistem subsidi yang dapat memperlancar proses jual beli yang ada. Tetapi keuntungan ini tidak serta merta didapatkan dengan mudah, terdapat standarisasi yang perlu diperhatikan setiap perusahaan untuk membangun bisnis ini (Uibeleisen & Groneberg, 2024).

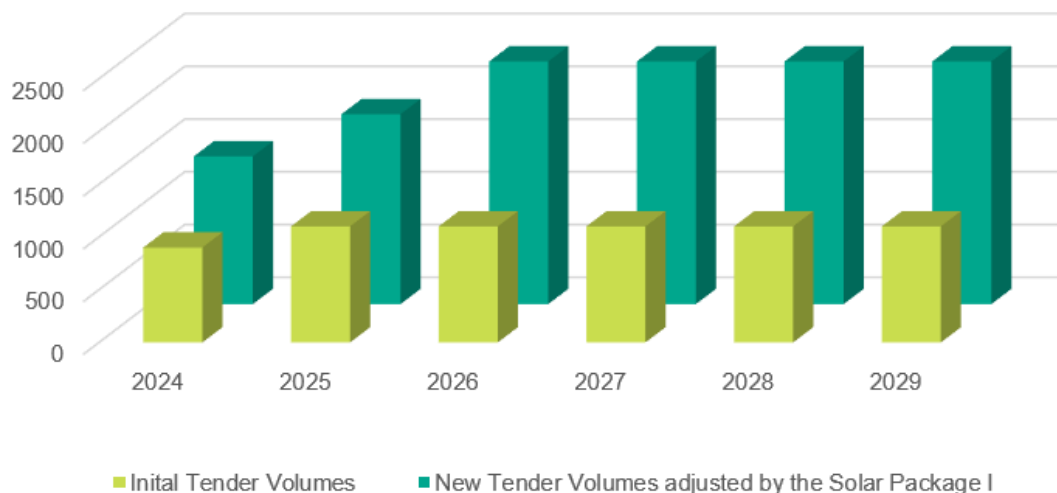
Solarpaket 1 juga menjamin adanya penjagaan lingkungan sehingga, terdapat kriteria yang harus dipenuhi dalam pemasangan dibawah tanah, dari 5 kriteria minuman dan setidaknya ada tiga kriteria yang wajib untuk dipenuhi, kriteria tersebut adalah:

1. Pembatasan terhadap luas area yang ditutupi pembangkit listrik tenaga surya, maksimal penggunaan area sebesar 60% dari luas proyek yang dimiliki.
2. Implementasi dari konsep pemeliharaan yang dirancang mendorong keragaman hayati.
3. Memastikan agar tersedianya jalur bagi hewan.
4. Pada pelaksanaan elemen biotope spesifik lokasi, seminimalnya 10% dari lebar area pembangkit listrik yang dipasang pada tanah.
5. Pengoprasian pembangkit listrik tenaga surya dipasangkan pada tanah yang ramah lingkungan.

Pada pelaksanaan ini para operator wajib untuk melaporkan setiap 5 tahun sekali untuk memperlihatkan kepatuhan terhadap kebijakan yang telah ditentukan oleh pemerintah.

Pada pemasangan pembangkit listrik yang dipasang pada atap rumah juga mengalami perubahan kebijakan yang akan mendukung perluasan energi terbarukan yang ada. Sebelum kebijakan diperbarui pembangkit listrik tenaga surya yang terpasang dengan kapasitas 1MW akan dikecualikan untuk mengikuti prosedur yang telah dibuat, tetapi sekarang standar tersebut dikurangi menjadi 750 kW. Kebijakan ini menuntut untuk pemasangan pembangkit listrik dengan kapasitas tersebut dapat mengikuti prosedur, sehingga akan mendapatkan dukungan keuangan dari EEG. Dengan adanya pengurangan ini diharapkan dapat meningkatkan volume tender pada pembangkit listrik ini. Dengan demikian, di prediksi oleh Uibeleisen dan Groneberg setiap tahunnya akan mengalami peningkatan seperti grafik yang ditampilkan di bawah ini.

Grafik 2. Grafik volume tender untuk pembangkit listrik tenaga surya di rooftop



(Uibeleisen & Groneberg, 2024)

Pembaruan kebijakan ini tidak hanya mendorong perluasan dari pembangkit listrik tenaga surya, tetapi juga ikut mendorong fleksibilitas dalam penyimpanan energi. Sebelumnya, untuk perusahaan yang menggunakan sistem penyimpanan campuran tidak mendapatkan bantuan keuangan dari EEG, tetapi sekarang hal tersebut sudah diperbarui sehingga perusahaan atau pihak yang melakukan proses energi terbarukan khususnya di bidang surya dapat melakukan penyimpanan campuran dengan beberapa syarat, jika syarat-syarat tersebut terpenuhi maka bantuan keuangan tetap dapat diakses.

Dengan berkembangnya solusi dan kebijakan dari pemerintah yang semakin mendorong perluasan pembaruan energi terutama pada penggunaan pembangkit energi surya, menunjukkan bahwa solusi ini tidak hanya sebagai sebuah kebijakan tetapi merupakan jawaban dari masalah-masalah yang ada. Selain itu, solusi ini memiliki daya tarik yang bagus untuk pengusaha sehingga akan ada bentuk perluasan pembaruan energi yang nantinya dapat menjadi pengganti energi-energi lainnya.

Lebih lanjut, transisi energi Jerman pasca penghentian nuklir tidak hanya didorong oleh motif ekologis tetapi juga disebabkan oleh urgensi ekonomi di tingkat konsumen. Berdasarkan data tahun 2024 dalam laporan terbaru Eurostat, warga Jerman menghadapi tantangan harga listrik rumah tangga yang tertinggi se-Uni Eropa yakni mencapai €0,3835 per kWh meskipun harga listrik secara grosir di pasar energi (*wholesale market*) dilaporkan turun sekitar 17,5% atau rata-rata sekitar €78,51/MWh (Eurostat, 2025). Ketimpangan antara harga pasar dengan beban biaya yang ditanggung oleh konsumen akhir tersebut kemudian memperkuat kebutuhan akan strategi kemandirian energi melalui instalasi panel surya mandiri.

Faktor lain yang mendukung adanya strategi kemandirian energi oleh masyarakat Jerman adalah munculnya fenomena 'Premi Nuklir' yang memperkirakan bahwa biaya operasional dari sistem kelistrikan negara berpotensi menjadi 23% lebih rendah dari biaya operasional panel listrik apabila reaktor nuklir tetap beroperasi sebagai penyedia beban dasar (Foro Nuclear, 2025). Kondisi ini menjadi katalisator bagi masyarakat untuk mempercepat adopsi strategi *self-consumption* melalui instalasi panel surya mandiri, yang kemudian dibuktikan dengan adanya rekor ekspansi kapasitas panel

surya baru yang mencapai nilai masif sebesar 15,9 GW. Sebagian besar kontributor dari strategi ini berasal dari sektor rumah tangga dan industri kecil yang melakukan langkah mitigasi mandiri terhadap fluktuasi biaya energi nasional dan ketergantungan pada jaringan publik yang mahal.

Dengan memanfaatkan kebijakan Solarpaket 1 yang memfasilitasi instalasi panel surya skala kecil, seperti panel surya balkon dan unit desentralisasi industri, para aktor domestik ini mampu menekan biaya operasional harian secara signifikan sembari memberikan kontribusi langsung terhadap target bauran energi nasional Jerman yang sampai tahun 2024 telah melampaui 50%. Fenomena ini menunjukkan bahwa desentralisasi energi bukan sekadar pilihan ideologis bagi masyarakat Jerman, melainkan respon pragmatis untuk menjaga keberlangsungan finansial di tengah tantangan ekonomi pasca-terminasi nuklir.

Integrasi Teknologi dan Tantangan Intermitensi

Transformasi sistem energi di Jerman melalui kebijakan *Energiewende* mencerminkan perubahan fundamental dalam struktur produksi dan konsumsi energi nasional. Pergeseran dari energi berbasis fosil dan nuklir menuju energi terbarukan, khususnya energi surya dan angin, menghadirkan tantangan teknis yang signifikan, yaitu intermitensi. Dalam konteks ini, intermitensi merujuk pada sifat fluktuatif dari sumber energi terbarukan yang sangat bergantung pada kondisi alam, seperti intensitas sinar matahari, siklus harian, serta variasi musiman.

Karakteristik energi surya yang tidak stabil menyebabkan ketidakpastian dalam produksi listrik, sehingga berpotensi mengganggu keseimbangan antara pasokan dan permintaan energi. Dalam sistem kelistrikan modern, keseimbangan tersebut harus dijaga secara real-time untuk menghindari gangguan seperti pemadaman listrik atau ketidakefisienan distribusi energi. Oleh karena itu, intermitensi menjadi salah satu tantangan utama dalam pengembangan energi terbarukan dan menuntut adanya inovasi dalam pengelolaan sistem energi secara keseluruhan. Dalam perspektif keamanan energi (*energy security*), stabilitas pasokan energi merupakan aspek krusial yang berkaitan dengan keberlanjutan ekonomi dan stabilitas politik suatu negara.

Dalam menghadapi tantangan tersebut, Jerman mengembangkan berbagai strategi berbasis teknologi untuk meningkatkan fleksibilitas sistem energinya. Salah satu pendekatan utama adalah pengembangan sistem penyimpanan energi (*energy storage systems*). Teknologi ini memungkinkan penyimpanan kelebihan energi yang dihasilkan pada saat produksi tinggi, seperti pada siang hari, untuk kemudian digunakan kembali saat produksi menurun, misalnya pada malam hari atau saat cuaca tidak mendukung. Bentuk teknologi penyimpanan yang digunakan meliputi baterai skala besar berbasis lithium-ion serta *pumped hydro storage*, yang memanfaatkan perbedaan ketinggian untuk menyimpan energi dalam bentuk energi potensial.

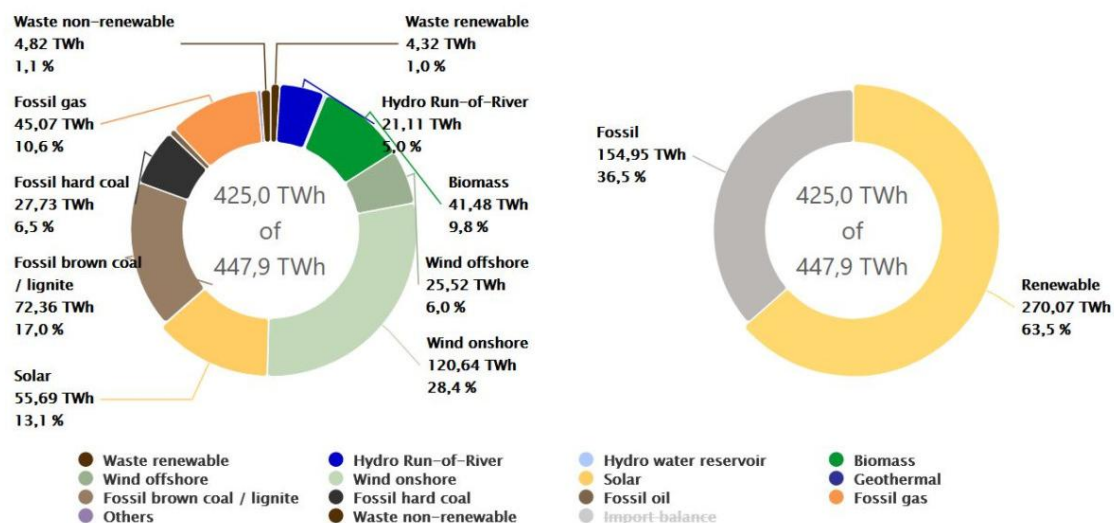
Selain sistem penyimpanan, digitalisasi sektor energi melalui penerapan *smart grid* juga menjadi elemen penting dalam mengatasi intermitensi. Jaringan listrik pintar ini memungkinkan pengelolaan distribusi energi secara real-time dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi. Melalui sistem ini, operator jaringan dapat memantau fluktuasi pasokan dan permintaan energi secara langsung serta melakukan penyesuaian distribusi secara cepat dan efisien. Dengan demikian, smart grid berperan

dalam meningkatkan efisiensi sistem energi sekaligus mengurangi risiko ketidakseimbangan pasokan listrik.

Integrasi sistem energi Jerman juga diperkuat melalui interkoneksi jaringan listrik di tingkat regional Eropa. Keterhubungan ini memungkinkan terjadinya pertukaran energi antarnegara sebagai mekanisme untuk menyeimbangkan fluktuasi produksi energi terbarukan. Dalam situasi kelebihan produksi, listrik dapat diekspor ke negara lain, sedangkan dalam kondisi kekurangan, impor energi menjadi solusi untuk menjaga stabilitas pasokan. Pola ini mencerminkan adanya interdependensi dalam sistem energi kawasan, yang dalam kajian hubungan internasional dipahami sebagai bentuk kerja sama yang saling menguntungkan antarnegara.

Penghentian penggunaan energi nuklir pada tahun 2022 menjadi momen penting dalam transformasi energi Jerman. Energi nuklir sebelumnya berperan sebagai sumber energi *baseload* yang stabil dan relatif tidak terpengaruh oleh faktor cuaca. Penghapusannya meningkatkan kompleksitas dalam pengelolaan sistem energi, terutama dalam menjaga stabilitas pasokan di tengah meningkatnya ketergantungan pada energi terbarukan. Namun demikian, perkembangan data menunjukkan bahwa kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional justru mengalami peningkatan pasca penutupan pembangkit nuklir. Berikut merupakan perbandingan bauran energi Jerman sebelum dan sesudah penghentian energi nuklir.

Grafik 3. Grafik produksi listrik bersih publik di Jerman (2023–2024)

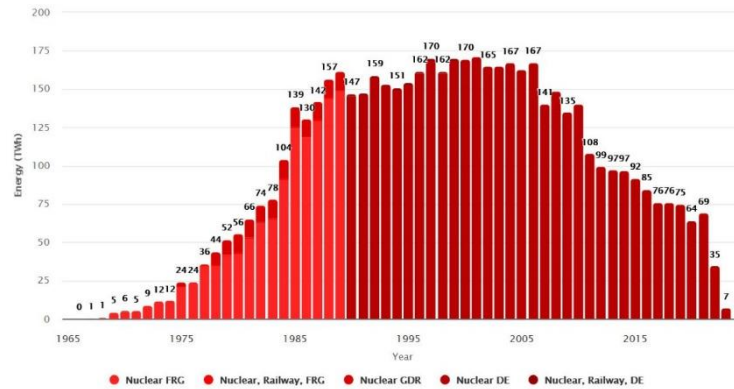


(Clean Energy Wire, 2024)

Grafik selanjutnya menunjukkan tren produksi listrik dari energi nuklir di Jerman dalam jangka panjang, yang memperlihatkan dinamika signifikan sejak tahun 1965 hingga penghentian total pada awal dekade 2022. Pada tahap awal, produksi energi nuklir di Jerman masih berada pada tingkat yang sangat rendah, namun mulai mengalami peningkatan pesat sejak pertengahan tahun 1970-an seiring dengan pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir secara besar-besaran. Puncak produksi terjadi pada periode akhir 1980-an hingga awal 2000-an, dengan output mencapai lebih

dari 160–170 TWh per tahun, yang menunjukkan bahwa energi nuklir pernah menjadi salah satu pilar utama dalam sistem energi nasional Jerman.

Grafik 4. Grafik produksi listrik bruto dari energi nuklir di Jerman

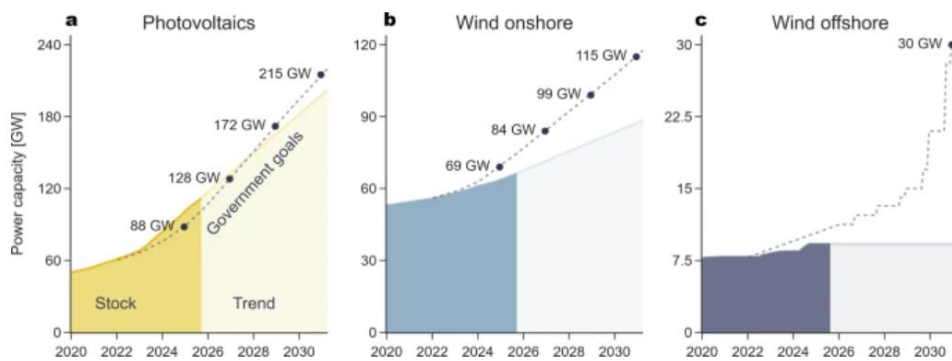


(Clean Energy Wire, 2024)

Namun demikian, mulai mengalami penurunan secara bertahap sejak pertengahan tahun 2000-an. Penurunan ini tidak terlepas dari perubahan kebijakan energi Jerman yang mulai mengarah pada pengurangan penggunaan energi nuklir. Momentum utama terjadi pasca peristiwa kecelakaan nuklir Fukushima pada tahun 2011, yang mendorong pemerintah Jerman untuk mempercepat kebijakan nuclear phase-out. Sejak saat itu, penutupan pembangkit listrik tenaga nuklir dilakukan secara bertahap hingga akhirnya mencapai penghentian total pada tahun 2022.

Penurunan drastis produksi energi nuklir yang terlihat pada grafik mencerminkan transformasi struktural dalam sistem energi Jerman. Dari yang sebelumnya mengandalkan energi nuklir sebagai sumber energi *baseload* yang stabil, Jerman beralih menuju sistem energi yang lebih bergantung pada energi terbarukan yang bersifat intermiten, seperti energi surya dan angin. Perubahan ini secara langsung meningkatkan kompleksitas dalam pengelolaan sistem energi, khususnya dalam menjaga stabilitas pasokan listrik. Berikut merupakan peningkatan Penggunaan energi terbarukan di Jerman.

Grafik 5. Grafik kapasitas terpasang, tren dan target energi terbarukan di Jerman



(Schill et al., 2025)

Data tersebut menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam kontribusi energi terbarukan, yang mengindikasikan keberhasilan strategi diversifikasi energi serta optimalisasi teknologi dalam sistem energi Jerman. Produksi listrik dari energi terbarukan bahkan telah melampaui 50% dalam periode 2023–2024, dengan energi surya dan angin sebagai kontributor utama. Pencapaian ini memperlihatkan bahwa sistem energi yang berbasis pada sumber daya terbarukan tetap dapat menjaga stabilitas pasokan meskipun tanpa dukungan energi nuklir.

Namun demikian, keberhasilan bauran energi tahunan tersebut tetap menghadapi tantangan terkait resiliensi teknis saat memasuki musim dingin, terutama ketika terjadi fenomena *Dunkelflaute* yang merupakan kondisi alam dimana intensitas cahaya matahari rendah dan kecepatan angin minimal secara bersamaan yang dapat menyebabkan beberapa dampak signifikan terhadap stabilitas energi seperti ketidakpastian produksi listrik, defisit pasokan domestik hingga berisiko terhadap keamanan ekonomi dalam hal gangguan distribusi energi hingga pemadaman listrik (Clean Energy Wire, 2025a).

Tanpa dukungan energi nuklir sebagai sumber *base-load* yang stabil, Jerman terpaksa mengandalkan peningkatan penggunaan gas alam yang mencapai pangsa 13,2% pada tahun 2024 untuk menjamin ketersediaan listrik di tengah rendahnya output energi surya (Energy Charts, 2024). Kondisi ini menegaskan bahwa kemandirian energi Jerman di musim dingin ekstrem masih sangat bergantung pada percepatan teknologi penyimpanan baterai skala besar serta ketersediaan pembangkit gas yang fleksibel sebagai cadangan strategis untuk mengatasi sifat intermiten dari energi terbarukan.

KESIMPULAN

Transformasi sistem energi Jerman melalui kebijakan *Energiewende* pasca penghentian energi nuklir menunjukkan bahwa transisi menuju sistem energi berbasis energi terbarukan, khususnya energi surya, merupakan strategi yang layak dan relatif berhasil dalam menjaga keberlanjutan sistem energi nasional. Meskipun penghentian nuklir pada April 2023 menghilangkan sumber listrik *baseload* yang stabil, Jerman mampu mengompensasi kekosongan tersebut melalui percepatan instalasi energi terbarukan, didukung oleh kebijakan yang progresif seperti reformasi EEG, *Solarpaket I*, serta insentif fiskal yang mendorong desentralisasi energi.

Kontribusi energi terbarukan yang telah melampaui 50% dalam bauran listrik nasional menunjukkan keberhasilan diversifikasi energi sekaligus memperkuat ketahanan energi di tengah krisis pasokan energi Eropa. Selain itu, integrasi teknologi seperti sistem penyimpanan energi dan smart grid berperan penting dalam mengatasi tantangan intermitensi yang melekat pada energi surya.

Namun demikian, transformasi ini belum sepenuhnya bebas dari tantangan. Ketergantungan pada kondisi cuaca, kebutuhan investasi infrastruktur yang besar, serta dinamika geopolitik energi masih menjadi faktor risiko yang mempengaruhi stabilitas jangka panjang. Oleh karena itu, keberhasilan *Energiewende* tidak hanya bergantung pada ekspansi kapasitas energi terbarukan, tetapi juga pada kemampuan sistem dalam mengelola fleksibilitas dan stabilitas jaringan listrik secara berkelanjutan.

Untuk pengembangan selanjutnya, penguatan sistem energi Jerman perlu diarahkan pada peningkatan kapasitas infrastruktur yang mampu menopang karakter intermiten energi terbarukan, khususnya energi surya. Investasi pada teknologi

penyimpanan energi seperti baterai skala besar dan *pumped hydro storage* menjadi krusial agar kelebihan produksi listrik pada siang hari dapat dimanfaatkan secara optimal pada saat permintaan tinggi. Sejalan dengan itu, modernisasi jaringan listrik melalui pengembangan *smart grid* juga perlu dipercepat guna memungkinkan pengelolaan distribusi energi secara *real-time*, sehingga keseimbangan antara pasokan dan permintaan dapat terjaga secara lebih efisien.

Selain aspek teknis, optimalisasi kebijakan desentralisasi energi perlu terus diperluas dengan memperkuat insentif fiskal serta penyederhanaan regulasi bagi instalasi panel surya di sektor rumah tangga dan industri. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kapasitas energi terbarukan, tetapi juga memperkuat partisipasi masyarakat dalam sistem energi nasional. Di sisi lain, diversifikasi sumber energi terbarukan tetap menjadi strategi penting untuk mengurangi ketergantungan pada satu jenis energi, sehingga sistem energi menjadi lebih resilien terhadap fluktuasi kondisi alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Asia Today. (2023). *Jerman Segera Akhiri Masa Pembangkit Nuklir*.
<https://asiatoday.id/read/jerman-segera-akhiri-masa-pembangkit-nuklir>
- BMWE. (2024). *Bundestag and Bundesrat adopt Solar Package I*.
<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/04/20240426-bundestag-and-bundesrat-adopt-solar-package-i.html>
- Brendel, J. (2024). *Solar package I: How companies can benefit from the new regulation*. <https://enviria.energy/en/blog/solar-package-1-how-companies-benefit-from-the-new-regulation#8ebc11a0-2720-4a87-a8c0-a05c7efd619f>
- Clean Energy Wire. (2022). *Germany's 2022 renewables and efficiency reforms*.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-2022-renewables-and-energy-reforms>
- Clean Energy Wire. (2024). *Q&A - Germany's nuclear exit: One year after*.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/qa-germanys-nuclear-exit-one-year-after>
- Clean Energy Wire. (2025a). *Germany's energy consumption and power mix in charts*.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>
- Clean Energy Wire. (2025b). *Solar power in Germany – output, business & perspectives*.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/solar-power-germany-output-business-perspectives>
- DNV. (2026). *Energy Risk Management: what is it?*
<https://www.dnv.com/assurance/articles/energy-risk-management-definition-types-of-risks/>
- Energy Charts. (2024). *Column charts on electricity generation*. <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=DE&interval=year&year=2024>
- Eurostat. (2025). *Electricity price statistics - Statistics Explained*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics
- Fieldvest. (2025). *Energy Diversification Strategies*.

- <https://www.energyfieldinvest.com/post/energy-diversification-strategies>
- Foro Nuclear. (2025). *Germany's nuclear shutdown mistake: rising prices, increased emissions, and economic recession*.
<https://www.foronuclear.org/en/updates/in-depth/germanys-nuclear-shutdown-mistake-rising-prices-increased-emissions-and-economic-recession/>
- GEM Energy Analytics. (2023). *Capture price of imports/exports in Germany*.
<https://gemenergyanalytics.substack.com/p/capture-price-of-importsexports-in>
- IESR. (2016). *Program Energiewende di Jerman: Pembelajaran untuk Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia - IESR*.
<https://iesr.or.id/program-energiewende-di-jerman-pembelajaran-untuk-pengembangan-energi-terbarukan-di-indonesia/>
- International Energy Agency. (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. 70.
- Michael, A. D. S. (2025). *ANALISIS KEBIJAKAN KEAMANAN ENERGI JERMAN DALAM MENGHADAPI KRISIS ENERGI TAHUN 2022*.
- Morgan, J. . (2022). *Europe's Energy Crisis: A Harsh Winter Ahead for Commodities*.
<https://www.jpmorgan.com/insights/global-research/commodities/europe-energy-crisis?>
- Renn, O., & Marshall, J. P. (2016). Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the "Energiewende." *Energy Policy*, 99, 224–232.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.004>
- Rogge, K. S., & Johnstone, P. (2017). Exploring the role of phase-out policies for low-carbon energy transitions: The case of the German Energiewende. *Energy Research and Social Science*, 33(September), 128–137.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.004>
- RTS Corporation. (2025). *Germany is rapidly expanding its PV installations based on the "Solar Power Generation Strategy."* <https://www.rts-pv.com/en/points/15024/>
- Saini, A., Brick, S., & Schüth, F. (2014). Germany's Energiewende pushes for renewables. *MRS Bulletin*, 39(9), 770–771. <https://doi.org/10.1557/mrs.2014.201>
- Schill, W.-P., Guéret, A., Roth, A., & Schmidt, F. (2025). Germany should accelerate its renewable energy transition. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 859.
<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02919-5>
- SMARD. (2023). *The electricity market in 2022*. <https://www.smard.de/page/en/topic-article/207552/209668/the-electricity-market-in-2022>
- Sovacool, B. K., & Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*, 36(8), 5343–5355.
- Uibleisen, M., & Groneberg, S. (2024). *Solarpaket I: Overview of the Main New Solar Regulation in Germany*. Mc Dermott Will & Schulte.
<https://www.mcdermottlaw.com/insights/solar-package-1-overview-of-the-main-new-solar-regulation-in-germany/>
- Umweltbundesamt. (2026). *Renewable energies in figures*.
<https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/renewable-energies/renewable-energies-in-figures>

Zed, M. (2008). *Metode penelitian kepustakaan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.