
GREEN SUPER GRID DAN KETAHANAN ENERGI KEPULAUAN: *Visi Baru Sistem Energi Indonesia*



Oleh: Rudy C Tarumingkeng

Rudy C Tarumingkeng: **Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia**

Oleh:

[Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD](#)

Professor of Management NUP: 9903252922

Professor Emeritus, IPB-University

Rektor, Universitas Cenderawasih, Papua (1978-1988, dan

Rektor, Kampus AGRO Manokwari sekarang Universitas Papua Manokwari

Coordinator, CIDA/DIKTI SFU Burnaby BC Canada 1988-1991

Rektor, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta (1991-2000)

Chairman. Board of Professors, IPB-University, Bogor (2005-2006)

AI - Data Analyst, dan Chairman, Academic Senate, IBM-ASMI, Jakarta 2024-

© RudyCT Academic Series

rudyc75@gmail.com

30 March 2026

GREEN SUPER GRID DAN KETAHANAN ENERGI KEPULAUAN: VISI BARU SISTEM ENERGI INDONESIA

Abstrak

Indonesia memasuki abad ke-21 dengan paradoks energi yang sangat khas. Di satu sisi, negara ini memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar dan tersebar luas; di sisi lain, struktur sistem energinya masih dibayangi oleh dominasi bahan bakar fosil, fragmentasi antarsistem kelistrikan, serta ketimpangan akses dan kualitas pasokan di wilayah kepulauan. Karena itu, perdebatan tentang masa depan energi Indonesia tidak lagi cukup berhenti pada peningkatan kapasitas pembangkit energi terbarukan semata. Indonesia memerlukan visi sistemik yang mampu menghubungkan sumber energi bersih yang berada jauh dari pusat beban, memperkuat ketahanan pasokan, serta menjembatani kebutuhan antara sistem besar di pulau-pulau utama dan sistem kecil di wilayah terpencil. Dalam konteks inilah konsep **green super grid** menjadi sangat relevan. Secara operasional, istilah ini merujuk pada pengembangan jaringan transmisi hijau skala luas yang menyalurkan listrik dari sumber energi baru terbarukan (EBT) menuju pusat-pusat permintaan, sebagaimana telah dimasukkan dalam RUPTL PLN 2025–2034 dan didukung melalui agenda smart grid, interkoneksi antarpulau, serta penguatan infrastruktur sistem tenaga nasional. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Makalah ini berargumen bahwa green super grid perlu ditempatkan sebagai fondasi arsitektur baru ketahanan energi Indonesia. Bagi negara kepulauan seperti Indonesia, ketahanan energi tidak hanya menyangkut

kecukupan pasokan, tetapi juga keterhubungan spasial, kemampuan sistem menyerap energi variabel, ketahanan terhadap gangguan antarpulau, dan keadilan akses bagi kawasan 3T. Dengan demikian, green super grid tidak boleh dipahami secara sempit sebagai proyek transmisi bertegangan tinggi, melainkan sebagai ekosistem yang terdiri atas interkoneksi antarpulau, modernisasi jaringan, sistem kendali digital, penyimpanan energi, dan integrasi mini-grid untuk pulau-pulau kecil. Makalah ini menunjukkan bahwa visi tersebut sejalan dengan arah Kebijakan Energi Nasional terbaru, target peningkatan pangsa EBT, agenda dekarbonisasi, dan kecenderungan regional melalui ASEAN Power Grid yang menempatkan interkoneksi sebagai sarana meningkatkan resiliensi dan integrasi energi terbarukan. ([JDIH ESDM](#))

Analisis dalam makalah ini dibangun di atas lima proposisi utama. Pertama, green super grid memperluas makna ketahanan energi dari sekadar cadangan bahan bakar menuju resiliensi sistem. Kedua, green super grid memungkinkan optimalisasi sumber EBT yang lokasinya jauh dari pusat beban, terutama hidro, panas bumi, surya, dan angin. Ketiga, green super grid memperkuat pemerataan energi nasional karena dapat menghubungkan sistem besar sambil membuka ruang bagi mini-grid dan sistem hibrida di pulau kecil. Keempat, green super grid meningkatkan fleksibilitas sistem untuk menampung penetrasi energi terbarukan yang lebih tinggi. Kelima, green super grid membuka peluang integrasi regional melalui ASEAN Power Grid, sehingga ketahanan energi Indonesia dapat diperluas menjadi ketahanan energi kawasan. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Namun, realisasi visi tersebut menghadapi tantangan besar: dominasi PLTU dalam sistem yang masih sangat kuat, kontrak yang kurang fleksibel, kebutuhan investasi transmisi dan storage yang sangat besar, koordinasi kelembagaan lintas wilayah, biaya kabel bawah laut dan gardu HVDC, serta ancaman keamanan siber pada sistem yang semakin terdigitalisasi. Oleh sebab itu, makalah ini menutup dengan rekomendasi bahwa Indonesia

perlu membangun green super grid melalui pendekatan bertingkat: mempercepat backbone antarpulau di sistem besar, mengembangkan koridor energi hijau wilayah, dan mengintegrasikan smart mini-grid di sistem kecil dan terpencil. Dengan strategi seperti ini, green super grid dapat menjadi lebih dari sekadar proyek infrastruktur; ia dapat menjadi visi baru kebangsaan energi Indonesia—sebuah cara untuk menghubungkan pulau-pulau, menyalurkan kemakmuran, dan membangun ketahanan energi yang andal, bersih, dan berkeadilan. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Kata kunci: *green super grid, ketahanan energi, energi kepulauan, interkoneksi antarpulau, smart grid, energi terbarukan, Indonesia, ASEAN Power Grid*

Green Super Grid dan Ketahanan Energi Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia

Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan dengan tantangan energi yang berbeda dari negara kontinental. ADB menggambarkan sektor energi Indonesia sebagai sistem yang kompleks, dengan permintaan energi yang sangat bervariasi di seluruh kepulauan yang terdiri dari sekitar 17.000 pulau, sekitar 6.000 di antaranya berpenghuni. Dalam sistem seperti ini, persoalan energi bukan hanya berapa banyak listrik dapat diproduksi, tetapi juga bagaimana energi tersebut dapat dipindahkan, dibagi, dan dijaga keandalannya di ruang geografis yang terpecah oleh laut, topografi, dan tingkat perkembangan ekonomi yang tidak seragam. Karena itu, pendekatan energi yang terlalu berpusat pada pembangkit, tanpa memberi

*Rudy C Tarumíngkeng: Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia*

perhatian serius pada arsitektur jaringan dan konektivitas, akan selalu menghasilkan sistem yang rentan dan timpang. ([Asian Development Bank](#))

Selama ini, perdebatan energi di Indonesia sering terfokus pada dua isu besar: pasokan energi fosil dan target bauran energi terbarukan. Fokus tersebut memang penting, tetapi belum cukup. Masalah yang sesungguhnya lebih dalam, yaitu adanya *mismatch* antara lokasi sumber daya energi terbarukan yang besar dengan pusat-pusat beban listrik utama. PLN dan Kementerian ESDM berulang kali menegaskan bahwa potensi EBT Indonesia sangat besar—mencapai sekitar 3.687 GW—namun sebagian besar berada jauh dari pusat permintaan listrik, terutama yang selama ini terkonsentrasi di Jawa dan kawasan industri utama. Karena itu, problem Indonesia bukan sekadar kekurangan energi, melainkan kekurangan konektivitas sistem yang mampu mengubah potensi tersebar menjadi pasokan yang andal. ([Kementerian ESDM](#))

Dalam konteks tersebut, munculnya gagasan **Green Super Grid** di dalam agenda PLN dan RUPTL 2025–2034 menandai pergeseran penting dalam cara Indonesia memikirkan masa depan energinya. Melalui siaran resmi PLN, green super grid diposisikan sebagai jaringan transmisi hijau skala luas yang menjadi tulang punggung penyaluran listrik dari sumber EBT yang umumnya berada di daerah terpencil menuju kawasan industri, kota besar, dan wilayah padat penduduk. Pemerintah bahkan menargetkan pembangunan transmisi sekitar 47.758 kilometer sirkuit dalam sepuluh tahun, termasuk sejumlah interkoneksi antarpulau yang krusial. Ini menunjukkan bahwa negara mulai mengakui satu fakta penting: tidak ada transisi energi yang sungguh-sungguh tanpa transformasi jaringan. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Makalah ini bertujuan menganalisis green super grid sebagai visi baru sistem energi Indonesia. Argumen pokoknya adalah bahwa bagi negara kepulauan, green super grid harus dipahami sebagai fondasi ketahanan energi abad ke-21. Ketahanan energi Indonesia ke depan tidak akan cukup

dijaga oleh cadangan batubara, minyak, atau gas, melainkan oleh kemampuan sistem nasional menghubungkan sumber energi domestik yang tersebar, mengelola intermitensi EBT, menopang pemerataan wilayah, dan membangun resiliensi terhadap krisis geopolitik, logistik, maupun iklim. Oleh karena itu, pembahasan akan dimulai dari konsep ketahanan energi kepulauan, lalu bergerak ke konsep green super grid, kebutuhan objektif Indonesia, manfaat strategis, tantangan implementasi, dan arah kebijakan nasional yang perlu ditempuh. ([JDIH ESDM](#))

Ketahanan Energi Kepulauan: Dari Pasokan ke Keterhubungan Sistem

Ketahanan energi dalam pengertian lama sering dipahami sebagai kemampuan menjamin ketersediaan energi yang cukup dengan harga terjangkau. Dalam konteks negara kepulauan seperti Indonesia, definisi itu perlu diperluas. Ketahanan energi tidak cukup hanya berarti “ada listrik”, tetapi harus juga berarti listrik itu bisa menjangkau wilayah yang tersebar, tetap andal dalam kondisi gangguan, dapat dipulihkan dengan cepat, dan tidak terlalu rentan terhadap gangguan pasokan satu sumber atau satu koridor. Karena itu, ketahanan energi kepulauan pada dasarnya adalah gabungan antara **kecukupan pasokan, ketahanan jaringan, fleksibilitas sistem, dan keadilan spasial akses energi**. ([JDIH ESDM](#))

Kebijakan Energi Nasional terbaru melalui PP No. 40 Tahun 2025 mempertegas orientasi tersebut. Dalam abstrak resmi peraturan itu dinyatakan bahwa kebijakan energi nasional bertujuan memberikan arah pengelolaan energi yang berkeadilan, berkelanjutan, terpadu, efisien, produktif, dan berwawasan lingkungan guna mewujudkan kemandirian energi, ketahanan energi, dan kedaulatan energi nasional. Kebijakan ini juga ditempatkan sebagai landasan untuk dekarbonisasi sektor energi, penguatan ketahanan iklim, serta pembangunan ekonomi hijau dan ekonomi sirkular. Dengan demikian, ketahanan energi Indonesia kini tidak

lagi bisa dibaca sekadar sebagai keamanan pasokan fosil, melainkan sebagai kemampuan sistem nasional mengelola transformasi energi secara menyeluruh. ([JDIH ESDM](#))

Dalam dokumen kinerja EBTKE 2025, pemerintah juga mengaitkan ketahanan energi dengan target bauran EBT yang baru. Berdasarkan revisi KEN, target bauran EBT 2025 ditempatkan pada kisaran 17–20% dan akan meningkat hingga 70–72% pada 2060. Dokumen yang sama mencatat bahwa realisasi bauran EBT 2024 adalah 14,65%, dan prognosa 2025 berada pada 15,75%. Ini berarti ada dua pembacaan sekaligus. Pertama, Indonesia telah bergerak naik, tetapi belum cukup cepat. Kedua, tanpa perubahan struktural dalam sistem tenaga listrik dan jaringan, target jangka panjang akan sulit dicapai. Artinya, ketahanan energi masa depan Indonesia tidak dapat dicapai hanya dengan menambah pembangkit; ia memerlukan arsitektur sistem yang baru. ([Kementerian ESDM](#))

Masalah ini menjadi semakin jelas jika dilihat dari struktur pembangkitan. IEA mencatat bahwa lebih dari 60% listrik Indonesia masih dipasok oleh armada PLTU batubara yang relatif muda, sementara gas menyumbang hampir 20% pembangkitan. Dominasi ini membuat sistem kelistrikan Indonesia cenderung kaku. Dalam kajian IEA, salah satu hambatan utama integrasi energi terbarukan di Indonesia adalah ketidakfleksibelan kontrak *take-or-pay* pada pembangkit termal dan kontrak pasokan bahan bakar, yang menyempitkan ruang bagi pembangkit EBT baru, baik yang variabel maupun yang *dispatchable*. Dari sini terlihat bahwa ketahanan energi bukan hanya urusan kapasitas fisik, melainkan juga urusan desain institusi dan aturan operasi sistem. ([IEA](#))

Di tingkat sosial, ketahanan energi kepulauan juga erat terkait dengan pemerataan akses. Pada Triwulan IV 2024, rasio elektrifikasi nasional tercatat 99,83% dan rasio desa berlistrik 99,92%. Ini adalah capaian besar. Namun angka nasional yang tinggi masih menyembunyikan kenyataan bahwa sebagian rumah tangga, desa, dan dusun di wilayah 3T masih

menghadapi persoalan koneksi, keandalan, atau biaya sambungan. Pemerintah sendiri melaporkan bahwa sepanjang 2025 program listrik desa telah menjangkau 77.616 pelanggan di 1.516 lokasi, dan program Bantuan Pasang Baru Listrik menjangkau 205.968 rumah tangga. Fakta ini menegaskan bahwa bagi Indonesia, ketahanan energi juga berarti menyelesaikan “mil terakhir” dan “pulau terakhir” elektrifikasi. ([DJK Official](#))

Green Super Grid: Konsep, Makna, dan Relevansinya bagi Indonesia

Secara praktis, istilah **Green Super Grid** di Indonesia merujuk pada jaringan transmisi hijau skala luas yang dibangun untuk menghubungkan sumber-sumber EBT dengan pusat-pusat beban listrik. Dalam siaran resmi PLN 2025, green super grid disebut sebagai infrastruktur strategis yang menjadi tulang punggung penyaluran listrik dari pembangkit EBT di daerah terpencil menuju kawasan industri, kota besar, dan wilayah padat penduduk. Di level operasional, rencana ini diwujudkan melalui pembangunan hampir 48.000 kms transmisi dan gardu induk sekitar 108.000 MVA dalam RUPTL 2025–2034, termasuk interkoneksi antarpulau yang secara langsung menghubungkan koridor sumber daya dan pusat permintaan. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Namun, secara analitis, green super grid sebaiknya dipahami lebih luas. Ia bukan hanya jaringan transmisi bertegangan tinggi, tetapi sebuah **arsitektur sistem** yang memadukan lima unsur: transmisi antarpulau, koridor internal pulau besar, smart grid, storage, dan mini-grid terintegrasi. Pengertian ini merupakan inferensi yang didukung oleh beberapa sumber. PLN menjelaskan bahwa green super grid berjalan bersama *smart transmission, smart distribution, smart control center*, dan *smart meter*. IEA mendefinisikan smart grid sebagai jaringan listrik yang memakai teknologi digital dan teknologi maju lain untuk memantau dan mengelola aliran listrik dari seluruh sumber pembangkitan demi memaksimalkan reliabilitas,

Rudy C Tarumingkeng: *Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia*

resiliensi, fleksibilitas, dan stabilitas. Sementara IRENA menunjukkan bahwa mini-grid yang semula terisolasi dapat dihubungkan ke sistem utama dan bahkan menjual surplus listrik ke utilitas. Bila ketiga logika ini digabungkan, green super grid Indonesia pada dasarnya adalah sistem berlapis yang menghubungkan pembangkitan besar, jaringan utama, dan sistem lokal.

([PT PLN \(Persero\)](#))

Dalam sejarah wacana internal PLN, konsep ini telah berkembang beberapa tahun. Pada 2023, PLN menjelaskan Green Enabling Super Grid sebagai interkoneksi bertahap yang menghubungkan Sumatera–Jawa, Kalimantan–Jawa, dan Sumba–Bali–Jawa. PLN menyatakan bahwa jaringan ini akan membuat sistem kelistrikan yang sebelumnya terpisah antarpulau menjadi lebih terhubung dan berpotensi meningkatkan pemanfaatan *baseload renewable energy* hingga 32 GW. Pada saat yang sama, smart grid dan *flexible generation* disebut dapat meningkatkan kapasitas surya dan angin dari 5 GW menjadi 28 GW. Walaupun angka-angka tersebut bersifat proyeksi korporat, arahnya sangat penting: green super grid dipahami sebagai sarana untuk mengangkat batas penetrasi EBT yang sebelumnya terhambat oleh keterpisahan sistem. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Bila diletakkan dalam konteks negara kepulauan, green super grid menjadi sangat strategis karena ia mengubah cara pandang terhadap ruang energi nasional. Sebelumnya, banyak sistem kelistrikan di Indonesia berkembang seperti pulau-pulau teknis yang relatif berdiri sendiri. Dengan green super grid, sumber hidro di Sumatra atau Sulawesi, panas bumi di Jawa atau Nusa Tenggara, dan surya di kawasan timur dapat dipandang sebagai bagian dari satu strategi nasional yang lebih saling menopang. Dengan kata lain, green super grid menggeser logika dari “sistem lokal yang kebetulan berada di dalam satu negara” menjadi “sistem nasional yang mempunyai banyak simpul lokal”. Perubahan logika inilah yang membuat green super grid layak disebut sebagai visi baru, bukan sekadar proyek transmisi biasa. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Mengapa Indonesia Memerlukan Visi Baru Sistem Energi

Alasan pertama adalah besarnya potensi EBT yang tersebar tidak merata terhadap pusat beban. Potensi EBT Indonesia diperkirakan mencapai 3.687 GW, terdiri dari surya 3.294 GW, hidro 95 GW, bioenergi 57 GW, angin 155 GW, panas bumi 23 GW, dan energi laut 63 GW. Potensi ini besar, beragam, dan secara geografis tidak selalu dekat dengan konsentrasi konsumsi. Di sisi lain, hingga akhir 2025 total kapasitas terpasang EBT baru mencapai 15.630 MW, meskipun merupakan rekor penambahan lima tahun terakhir. Kesenjangan yang sangat lebar antara potensi dan realisasi itu menunjukkan bahwa hambatan utama bukanlah kelangkaan sumber daya, melainkan kemampuan sistem untuk mengevakuasi, mengintegrasikan, dan memonetisasi potensi yang tersebar. ([Kementerian ESDM](#))

Alasan kedua adalah struktur permintaan listrik Indonesia yang semakin berubah. FAQ RUPTL 2025–2034 menyebut bahwa penjualan tenaga listrik diproyeksikan meningkat dari 306 TWh pada 2024 menjadi 511 TWh pada 2034, dengan pendorong antara lain kawasan industri, kawasan ekonomi khusus, hilirisasi, pusat data, destinasi pariwisata prioritas, dan proyek strategis lain. Ini berarti pusat-pusat beban masa depan tidak akan identik dengan pola masa lalu. Permintaan listrik akan makin terkonsentrasi di lokasi-lokasi baru yang memerlukan pasokan bersih, andal, dan berskala besar. Dalam kondisi seperti itu, mempertahankan sistem yang terfragmentasi hanya akan memperbesar biaya, menghambat investasi, dan menurunkan daya saing ekonomi wilayah.

Alasan ketiga adalah meningkatnya peran energi terbarukan dalam rencana resmi negara. RUPTL 2025–2034 menargetkan penambahan kapasitas pembangkit 69,5 GW sampai 2034, dan sekitar 76% di antaranya berasal dari EBT dan sistem penyimpanan energi. Dokumen FAQ RUPTL menyebut secara eksplisit bahwa target itu dimaksudkan untuk

meningkatkan porsi EBT menjadi 36% pada 2034 dan memperkuat ketahanan energi nasional dengan infrastruktur transmisi dan interkoneksi antarpulau. Dengan demikian, green super grid bukan gagasan yang berada di luar arus utama kebijakan; ia justru menjadi instrumen yang diperlukan agar target pembangkit hijau dalam RUPTL dapat benar-benar bekerja dalam sistem. ([DJK Official](#))

Alasan keempat adalah sifat kepulauan Indonesia yang menuntut kombinasi antara interkoneksi besar dan solusi desentralistik. Tidak semua pulau dapat atau perlu dihubungkan secara penuh ke jaringan utama. Untuk pulau-pulau kecil dan wilayah terpencil, mini-grid berbasis surya, hidro kecil, atau sistem hibrida dengan baterai dapat menjadi solusi yang lebih ekonomis dan cepat. IRENA mencatat bahwa di Indonesia beberapa mini-grid mikrohidro yang sebelumnya terisolasi telah dihubungkan ke jaringan utama dan menjual surplus listrik ke PLN. Di Sulawesi Selatan, program SuperSUN PLN pada 2024 menghadirkan 224 unit PLTS mikro dengan penyimpanan 2 kWh di beberapa pulau kecil, mengubah listrik yang sebelumnya hanya tersedia sekitar empat jam menjadi 24 jam. Ini menunjukkan bahwa visi sistem energi kepulauan yang realistis bukan hanya *super grid*, tetapi *super grid plus smart mini-grids*. ([IRENA](#))

Alasan kelima adalah konteks regional. ASEAN melalui AIMS III menempatkan interkoneksi sebagai sarana untuk meningkatkan resiliensi grid, modernisasi sistem, penyediaan listrik yang terjangkau dan tangguh, serta akomodasi pangsa energi terbarukan yang lebih tinggi. PLN sendiri telah menautkan Green Super Grid dengan visi ASEAN Power Grid dan menegaskan bahwa “tidak ada transisi tanpa transmisi”. Ini berarti green super grid Indonesia tidak hanya relevan secara domestik, tetapi juga dapat menjadi jembatan menuju integrasi listrik regional di masa depan. Bagi Indonesia, hal ini penting karena ketahanan energi ke depan tidak hanya ditentukan oleh kekuatan nasional, tetapi juga oleh kemampuan

menjadi simpul penting dalam arsitektur energi Asia Tenggara. ([ASEAN Centre for Energy \(ACE\)](#))

Arsitektur Green Super Grid untuk Negara Kepulauan

Secara konseptual, green super grid Indonesia sebaiknya dibangun dalam tiga lapisan. Lapisan pertama adalah **backbone nasional antarpulau**, yaitu interkoneksi yang menghubungkan sistem besar dan sumber daya strategis dengan pusat beban utama. Di dalam rencana PLN dan RUPTL 2025–2034, interkoneksi seperti Sumatra–Jawa, Sumatra–Batam–Bintan, Jawa–Bali, dan Kalimantan–Tarakan menjadi elemen awal yang sangat penting. Pada level ini, fungsi utama grid adalah mengurangi *mismatch* spasial, menyeimbangkan pasokan dan permintaan antarwilayah, serta memperluas pasar bagi proyek EBT skala besar. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Lapisan kedua adalah **koridor energi hijau regional** di dalam pulau-pulau besar atau gugus wilayah tertentu. Tujuannya ialah mengevakuasi listrik dari zona sumber daya menuju node industri, kota, dan gardu utama. Gagasan ini terlihat misalnya dalam dukungan ADB terhadap proyek Green Energy Corridor Sulawesi, yang menurut deskripsinya bertujuan membangun *transmission backbone* untuk menyalurkan energi bersih ke pusat beban di Sulawesi bagian selatan dan meningkatkan adopsi energi terbarukan serta keandalan sistem. Di sini, green super grid tidak selalu berarti lintas laut; ia juga berarti penguatan transmisi internal agar sumber hidro, panas bumi, atau angin regional dapat masuk ke sistem besar secara efisien. ([Asian Development Bank](#))

Lapisan ketiga adalah **smart mini-grid dan sistem terisolasi yang dapat dikoneksikan di masa depan**. Untuk ribuan pulau kecil dan wilayah terpencil, pendekatan ini lebih sesuai. IEA menekankan bahwa digitalisasi grid memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang ada secara lebih

penuh dan membantu membatasi kegagalan sistem agar tidak berubah menjadi *cascading outages*. IRENA menunjukkan bahwa mini-grid yang dirancang baik dapat menyediakan listrik lokal, melakukan interkoneksi saat jaringan utama datang, dan bahkan menyediakan layanan tambahan ke sistem. Untuk Indonesia, pendekatan ini sangat penting karena banyak wilayah tidak dapat menunggu pembangunan kabel bawah laut atau transmisi besar sebelum menikmati energi berkualitas. ([IEA](#))

Ketiga lapisan ini tidak saling menggantikan. Justru kekuatan green super grid sebagai visi sistem kepulauan terletak pada kemampuannya memadukan skala besar dan skala kecil. Sistem besar menyediakan efisiensi, diversifikasi, dan volume. Sistem kecil menyediakan kedekatan, kecepatan, dan keadilan akses. Dalam istilah manajerial, green super grid Indonesia harus dirancang sebagai **arsitektur hibrida**: cukup terpusat untuk efisien, tetapi cukup terdistribusi untuk tangguh. Itulah sebabnya green super grid tidak boleh direduksi menjadi proyek kabel semata. Ia harus dibaca sebagai desain kelembagaan, desain teknologi, dan desain pemerataan nasional sekaligus. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Manfaat Strategis Green Super Grid bagi Ketahanan Energi Indonesia

1. Mengubah potensi EBT menjadi kapasitas yang benar-benar berguna

Manfaat pertama green super grid ialah kemampuannya mengubah potensi menjadi pasokan aktual. Indonesia telah lama mengetahui bahwa potensi EBT-nya besar, tetapi keterbatasan jaringan membuat banyak sumber daya itu tetap berada dalam bentuk "potensi kertas". Dengan interkoneksi dan transmisi yang memadai, hidro skala besar, panas bumi, dan surya dari daerah sumber dapat menjangkau pusat beban dan masuk ke sistem dengan faktor utilisasi yang lebih baik. Dalam konteks ini,

transmisi bukan pelengkap pembangkitan, melainkan prasyarat agar pembangkitan hijau mempunyai arti ekonomi. ([Kementerian ESDM](#))

2. Meningkatkan keandalan dan resiliensi sistem

Sistem yang lebih terkoneksi umumnya lebih tangguh terhadap gangguan lokal. Jika satu area mengalami defisit pembangkitan, gangguan teknis, atau penurunan pasokan sementara, interkoneksi memungkinkan pasokan dari area lain membantu menutup celah tersebut. AIMS III secara eksplisit menempatkan interkoneksi untuk meningkatkan *grid resilience and modernisation*. IEA juga menegaskan bahwa smart grids meningkatkan reliabilitas, resiliensi, fleksibilitas, dan stabilitas sistem. Bagi Indonesia yang rentan terhadap cuaca ekstrem, gangguan logistik, serta jarak geografis yang luas, manfaat ini sangat penting. ([ASEAN Centre for Energy \(ACE\)](#))

3. Meningkatkan daya serap energi terbarukan variabel

Surya dan angin tidak dapat berkembang maksimal dalam sistem yang sempit, kaku, dan kurang fleksibel. PLN sendiri menilai bahwa kombinasi green super grid, smart grid, dan flexible generation dapat meningkatkan kapasitas surya dan angin dari 5 GW menjadi 28 GW dalam horizon 2040. Sementara IEA menunjukkan bahwa sistem Jawa-Bali dan Sumatra pada dasarnya mampu menyerap pangsa solar yang lebih tinggi, tetapi hambatannya terletak pada praktik operasi dan fleksibilitas kontrak, bukan semata pada keterbatasan teknis aset. Artinya, grid yang lebih kuat dan lebih cerdas akan memperluas "ruang bernapas" bagi EBT variabel di Indonesia. ([PT PLN \(Persero\)](#))

4. Menurunkan biaya sistem dalam jangka panjang

FAQ RUPTL menyebut bahwa Biaya Pokok Penyediaan (BPP) tenaga listrik diproyeksikan turun dari Rp1.829/kWh pada 2025 menjadi Rp1.775/kWh pada 2034 berkat efisiensi dan pemanfaatan EBT. Walaupun proyeksi ini perlu dilihat hati-hati, arah logikanya cukup jelas. Interkoneksi yang baik memungkinkan pembangkitan termurah atau paling efisien mengalir ke

titik konsumsi yang membutuhkan. Selain itu, sistem yang lebih besar umumnya mampu mengurangi kebutuhan cadangan lokal yang berlebihan dan memperbaiki dispatch pembangkit. Dalam jangka panjang, green super grid dapat menekan biaya sistem, meskipun pada awalnya memerlukan belanja modal besar.

5. Memperkuat pemerataan energi dan kohesi wilayah

Bagi negara kepulauan, energi bukan hanya instrumen ekonomi, tetapi juga instrumen kebangsaan. Ketika listrik dapat hadir dengan lebih andal di pulau-pulau kecil, kegiatan ekonomi lokal, pendidikan, kesehatan, dan komunikasi sosial ikut menguat. Contoh SuperSUN di Pangkep memperlihatkan bagaimana pasokan listrik 24 jam mengubah kualitas hidup warga yang sebelumnya hanya menikmati listrik empat jam per hari. Bila green super grid dirancang sebagai kombinasi antara backbone besar dan sistem lokal yang adaptif, maka ia dapat menjadi sarana nyata pemerataan pembangunan, bukan sekadar proyek teknokratis. ([PT PLN \(Persero\)](#))

6. Membuka ruang diplomasi energi regional

Ketika PLN menghubungkan Green Super Grid dengan ASEAN Power Grid, sesungguhnya ia sedang menunjukkan bahwa transmisi nasional juga memiliki nilai geopolitik. Interkoneksi listrik regional dapat mempercepat distribusi energi bersih, memperkuat akses listrik yang andal, dan membuka peluang kerja sama investasi, harmonisasi regulasi, dan perdagangan listrik multilateral. Bagi Indonesia, pembangunan green super grid domestik dapat menjadi langkah pendahuluan menuju posisi yang lebih kuat dalam peta konektivitas energi Asia Tenggara. Dengan kata lain, green super grid dapat memperkuat ketahanan energi sekaligus posisi tawar strategis Indonesia. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Tantangan Implementasi Green Super Grid

Tantangan pertama ialah **struktur warisan sistem fosil**. IEA menilai bahwa sistem kelistrikan Indonesia masih sangat dipengaruhi PLTU batubara yang relatif muda. Kondisi ini menciptakan *lock-in effect* teknis dan ekonomis. Bahkan ketika jaringan baru dibangun, integrasi EBT dapat tetap terhambat jika dispatch sistem masih dikunci oleh kontrak termal dan kewajiban serap tertentu. Artinya, green super grid tidak akan optimal bila reformasi jaringan tidak dibarengi dengan reformasi aturan operasi sistem dan penataan kontrak yang lebih fleksibel. ([IEA](#))

Tantangan kedua ialah **biaya investasi**. Dari sisi investasi, FAQ RUPTL menyebut peluang yang dibuka mencapai Rp2.967,4 triliun untuk pembangkit, jaringan transmisi, distribusi, dan program listrik desa, dengan sekitar 73% kapasitas pembangkit direncanakan berasal dari kemitraan dengan pihak swasta atau IPP. Ini menunjukkan bahwa green super grid bukan hanya proyek BUMN, melainkan proyek pembiayaan nasional yang memerlukan ekosistem bankability, kepastian proyek, jaminan, dan koordinasi regulasi yang kuat. Tanpa model pembiayaan kreatif, banyak proyek transmisi besar—terutama yang melibatkan kabel bawah laut—akan berjalan lambat.

Tantangan ketiga ialah **kesulitan teknis dan geografis**. Indonesia bukan hanya luas, tetapi juga terdiri dari banyak lintasan laut, pegunungan, dan kawasan rawan bencana. Pembangunan interkoneksi antarpulau memerlukan teknologi, perencanaan rute, kajian lingkungan, dan mitigasi risiko yang jauh lebih kompleks dibanding transmisi darat biasa. IEA menekankan bahwa pembangunan jaringan, khususnya interkoneksi tegangan tinggi, secara umum memang rumit dan memiliki *lead time* panjang karena urusan perizinan, spesifikasi teknis, dan keterlibatan banyak pihak. Dalam konteks Indonesia, kompleksitas itu menjadi berlipat karena karakter kepulauan. ([IEA](#))

Tantangan keempat adalah **kesenjangan tata kelola antara sistem besar dan sistem kecil**. Satu model kebijakan tidak dapat diterapkan seragam untuk Jawa-Bali, Sulawesi, Papua pegunungan, dan pulau-pulau kecil. Karena itu, jika green super grid dipahami secara terlalu sentralistik, ia dapat mengabaikan peran penting mini-grid dan solusi lokal. Sebaliknya, jika Indonesia hanya mengandalkan solusi lokal, maka manfaat skala dan diversifikasi nasional tidak akan tercapai. Tantangan kebijakan di sini adalah merancang relasi yang jelas antara proyek transmisi besar, utilitas lokal, mini-grid komunitas, dan peran pemerintah daerah. ([IRENA](#))

Tantangan kelima adalah **digitalisasi dan keamanan siber**. Semakin pintar grid, semakin tinggi pula kebutuhan pada sensor, data real-time, otomasi, pusat kendali, dan perangkat lunak prediktif. IEA menyebut bahwa utilitas perlu mengembangkan pendekatan baru terhadap resiliensi, termasuk menghadapi cuaca ekstrem dan risiko siber, dan bahwa digitalisasi distribusi masih tertinggal di banyak negara. Karena green super grid Indonesia harus disertai smart grid, maka persoalan keamanan siber, interoperabilitas data, standar komunikasi, dan kapasitas SDM tidak bisa ditempatkan sebagai isu tambahan. Ia adalah bagian inti dari keandalan sistem. ([IEA](#))

Tantangan keenam adalah **sinkronisasi nasional-regional**. ASEAN Power Grid menjanjikan manfaat besar, tetapi juga memerlukan harmonisasi regulasi, pengaturan pasar, standar teknis, dan politik kepercayaan antarnegara. PLN sendiri mengakui bahwa proyek lintas negara membutuhkan kombinasi kemauan politik, harmonisasi peraturan, dukungan keuangan, keahlian teknis, dan keterlibatan pemangku kepentingan yang efektif. Dengan demikian, green super grid Indonesia yang kelak dihubungkan ke ASEAN Power Grid harus dibangun di atas fondasi hukum dan kelembagaan yang jauh lebih matang daripada sekadar proyek domestik. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Strategi Kebijakan: Bagaimana Visi Ini Dapat Diwujudkan

Strategi pertama adalah **menetapkan green super grid sebagai proyek transformasi sistem, bukan semata proyek transmisi**. Ini berarti pemerintah perlu menyelaraskan perencanaan pembangkit, transmisi, storage, mini-grid, digitalisasi, dan pengaturan pasar listrik dalam satu kerangka. Selama proyek-proyek itu dirancang terpisah, maka hasil akhirnya cenderung parsial. RUPTL 2025–2034 sudah memberi dasar awal yang baik karena menghubungkan penambahan pembangkit, storage, transmisi, dan interkoneksi. Langkah berikutnya ialah memastikan pelaksanaan lapangan mengikuti logika sistemik yang sama. ([DJK Official](#))

Strategi kedua adalah **memprioritaskan koridor yang memberi manfaat sistem terbesar lebih dahulu**. Interkoneksi Sumatra–Jawa, Sumatra–Batam–Bintan, Jawa–Bali, dan koridor strategis di Sulawesi merupakan contoh rute yang potensinya besar karena menghubungkan sumber daya dengan pusat permintaan atau simpul industri. Pendekatan seperti ini penting agar investasi awal green super grid segera menghasilkan efek demonstrasi, manfaat keekonomian, dan kepercayaan investor. Dengan prinsip yang sama, proyek koridor regional seperti Green Energy Corridor Sulawesi dapat diposisikan sebagai *proof of concept* untuk replikasi di wilayah lain. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Strategi ketiga adalah **menerapkan model “backbone plus mini-grid” untuk wilayah kepulauan**. Bukan semua wilayah harus menunggu tersambung ke backbone nasional. Di pulau kecil, daerah 3T, dan komunitas terpencil, mini-grid hibrida berbasis PLTS, mikrohidro, baterai, dan genset cadangan dapat dipakai sebagai solusi cepat dan transisional. Namun desainnya harus *grid-ready*, artinya bila jaringan utama datang, sistem lokal itu dapat diintegrasikan, bukan dibuang. Pelajaran IRENA tentang mini-grid yang kemudian menjual surplus ke utilitas sangat relevan

di sini. Pendekatan ini juga konsisten dengan pengalaman lapangan seperti program SuperSUN. ([IRENA](#))

Strategi keempat ialah **mereformasi fleksibilitas sistem dan kontrak**.

Kajian IEA menunjukkan bahwa hambatan besar bagi integrasi energi terbarukan di Indonesia berasal dari ketidakfleksibelan kontrak dan dispatch sistem. Maka pembangunan green super grid perlu diikuti reformasi pada desain PPA, skema *take-or-pay*, aturan balancing, dan insentif untuk fleksibilitas pembangkit. Tanpa reformasi ini, jaringan baru dapat dibangun, tetapi ruang aktual untuk EBT tetap terbatas. Dalam bahasa sederhana, kabel baru saja tidak cukup; aturan mainnya juga harus baru. ([IEA](#))

Strategi kelima adalah **mempercepat smart grid dan storage sebagai pasangan alami super grid**. IEA mendefinisikan smart grid sebagai sarana untuk mengoordinasikan generator, operator, pengguna akhir, dan pemangku pasar secara efisien agar reliabilitas dan fleksibilitas meningkat. PLN sendiri menyebut smart grid sebagai alat untuk mengatasi intermitensi EBT. Karena itu, investasi green super grid harus diikuti oleh pengembangan control center, sistem prakiraan beban dan cuaca, otomasi distribusi, metering cerdas, dan baterai atau pumped storage. Pada sistem kepulauan, storage bahkan memiliki peran ganda: menstabilkan mini-grid lokal dan membantu grid besar mengelola fluktuasi EBT. ([IEA](#))

Strategi keenam adalah **mengaitkan green super grid dengan agenda industrialisasi hijau**. Permintaan listrik masa depan akan datang dari kawasan industri, hilirisasi, pusat data, dan aktivitas ekonomi bernilai tambah tinggi. Karena itu, green super grid perlu dilihat bukan hanya sebagai proyek biaya, tetapi sebagai infrastruktur produktif yang menurunkan hambatan bagi investasi masa depan. Jika Indonesia ingin menjadi basis manufaktur hijau, pusat data rendah karbon, atau lokasi hilirisasi berdaya saing global, maka konektivitas listrik bersih akan menjadi faktor penentu. Dengan kata lain, green super grid harus diposisikan

sebagai prasyarat daya saing ekonomi, bukan sekadar kewajiban transisi energi.

Strategi ketujuh adalah **membangun kesiapan menuju integrasi regional secara bertahap**. ASEAN Power Grid tidak dapat diwujudkan dalam waktu singkat, tetapi green super grid domestik bisa dirancang sejak awal agar kompatibel dengan kemungkinan integrasi kawasan di masa depan. Ini berarti Indonesia perlu menyiapkan standar teknis, skema wheeling atau perdagangan listrik lintas batas, model pembagian risiko, dan diplomasi energi yang aktif. Bila dilakukan dengan hati-hati, green super grid nasional akan menjadi jembatan menuju ketahanan energi yang lebih luas, yaitu ketahanan energi Indonesia sebagai simpul utama Asia Tenggara. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Penutup

Green super grid adalah gagasan yang lahir dari kebutuhan objektif Indonesia sebagai negara kepulauan besar yang sedang bergerak menuju sistem energi rendah karbon. Ia lahir karena Indonesia menyadari bahwa sumber daya energinya tersebar, permintaan listriknya tumbuh dan bergeser, sistemnya masih terfragmentasi, dan target EBT-nya tidak akan tercapai bila jaringan tetap diperlakukan sebagai urusan sekunder. Oleh sebab itu, green super grid tidak boleh dipahami sebagai proyek kabel dan gardu semata, tetapi sebagai visi arsitektur baru yang menyatukan transmisi antarpulau, koridor energi hijau, smart grid, storage, dan mini-grid yang adaptif. ([PT PLN \(Persero\)](#))

Dalam perspektif ketahanan energi, green super grid memberikan jawaban yang lebih lengkap dibanding pendekatan lama. Ia meningkatkan kemampuan Indonesia menyalurkan EBT dari wilayah sumber ke wilayah konsumsi, memperkuat reliabilitas dan fleksibilitas sistem, memperluas

*Rudy C Tarumíngkeng: Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia*

pemerataan akses di wilayah kepulauan, dan membuka peluang integrasi regional melalui ASEAN Power Grid. Di saat yang sama, ia menggeser pengertian ketahanan energi dari sekadar “aman stok” menjadi “tangguh sistem”, dari “tersedia energi” menjadi “terhubungnya energi”, dan dari “pasokan nasional” menjadi “kohesi energi kepulauan”. ([ASEAN Centre for Energy \(ACE\)](#))

Tetapi visi besar selalu diuji oleh realitas. Indonesia masih menghadapi warisan sistem fosil yang kaku, kebutuhan investasi yang besar, tantangan geografis yang berat, dan kebutuhan digitalisasi yang kompleks. Karena itu, keberhasilan green super grid akan sangat ditentukan oleh kualitas tata kelola: seberapa baik negara mengurutkan prioritas koridor, menata pembiayaan, mereformasi kontrak, membangun storage, dan mendesain relasi antara backbone nasional dan mini-grid lokal. Bila ini gagal, green super grid akan tinggal menjadi slogan pembangunan. Bila berhasil, ia dapat menjadi fondasi sistem energi Indonesia yang baru: lebih bersih, lebih andal, lebih adil, dan lebih cocok dengan watak kepulauan nusantara.

Pada akhirnya, green super grid bukan sekadar konsep teknis, melainkan gagasan kenegaraan. Ia berbicara tentang bagaimana pulau-pulau Indonesia dihubungkan bukan hanya oleh laut dan sejarah, tetapi juga oleh jaringan energi yang menopang kehidupan modern. Ia berbicara tentang bagaimana sumber daya domestik dapat diubah menjadi daya tahan nasional. Dan lebih jauh lagi, ia berbicara tentang bagaimana Indonesia dapat memasuki abad ke-21 dengan sistem energi yang sesuai dengan geografinya sendiri, bukan sekadar meniru model negara lain. Dalam pengertian itulah green super grid layak diposisikan sebagai visi baru sistem energi Indonesia. ([Asian Development Bank](#))

Glosarium

ASEAN Power Grid

Inisiatif konektivitas listrik kawasan Asia Tenggara untuk memperkuat perdagangan listrik, integrasi energi terbarukan, dan ketahanan sistem regional.

Backbone transmisi

Jalur utama jaringan listrik berkapasitas besar yang menghubungkan pusat-pusat pembangkitan dan beban.

Bauran EBT

Porsi energi baru terbarukan dalam total bauran energi nasional atau kelistrikan.

BESS

Battery Energy Storage System, sistem penyimpanan energi berbasis baterai untuk membantu stabilitas, fleksibilitas, dan manajemen pasokan listrik.

Green Super Grid

Jaringan transmisi hijau skala luas yang dirancang untuk menyalurkan listrik dari sumber EBT menuju pusat permintaan, dan dalam konteks makalah ini mencakup pula smart grid, storage, dan integrasi mini-grid.

HVDC

High-Voltage Direct Current, teknologi transmisi listrik arus searah tegangan tinggi yang sering digunakan untuk interkoneksi jarak jauh dan kabel bawah laut.

Intermitensi

Sifat pembangkitan energi seperti surya dan angin yang berfluktuasi mengikuti cuaca dan waktu.

Interkoneksi antarpulau

Jaringan transmisi yang menghubungkan sistem kelistrikan di pulau yang berbeda.

Ketahanan energi

Kemampuan sistem energi untuk menjamin pasokan yang cukup, andal, terjangkau, tangguh terhadap gangguan, dan berkelanjutan.

Mini-grid

Sistem listrik skala lokal yang dapat beroperasi mandiri atau terkoneksi dengan jaringan utama.

PPA

Power Purchase Agreement, perjanjian jual beli listrik antara pembeli listrik dan pengembang pembangkit.

Smart grid

Jaringan listrik yang memakai teknologi digital dan otomasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, fleksibilitas, dan stabilitas sistem.

Storage

Teknologi penyimpanan energi, misalnya baterai atau pumped storage, yang membantu menyeimbangkan sistem listrik.

Daftar Pustaka (APA 7)

Asian Development Bank. (2008). *Energy sector white paper*. Asian Development Bank.

Asian Development Bank. (2026). *Green Energy Corridor Sulawesi Project (South) (Project No. 59082-001)*. Asian Development Bank.

International Energy Agency. (2022). *Enhancing Indonesia's power system: Pathways to meet Indonesia's renewable energy targets and support its power system*. IEA.

International Energy Agency. (2023). *Smart grids*. IEA.

Rudy C Tarumingkeng: *Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia*

International Renewable Energy Agency. (2019). *Innovation landscape brief: Renewable mini-grids*. IRENA.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Kementerian ESDM RI.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025). *FAQ RUPTL PLN 2025–2034*. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025). *Laporan kinerja Ditjen EBTKE tahun 2025*. Kementerian ESDM RI.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025). *Laporan kinerja Kementerian ESDM tahun 2025*. Kementerian ESDM RI.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025, February 6). *Ditjen Gatrik dan PLN tetapkan rasio desa berlistrik dan rasio elektrifikasi Triwulan IV 2024*. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2026, January 8). *Capaian positif tahun 2025, negara hadir penuhi kebutuhan energi masyarakat*. Kementerian ESDM RI.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2026, January 9). *Bauran EBT di sektor listrik lampau target RUKN*. Kementerian ESDM RI.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2026, January 22). *Menteri ESDM paparkan realisasi program Lisdes dan BPBL di depan DPR RI*. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2026, January 23). *Menteri ESDM dorong PLTS untuk listriki pulau-pulau terpencil*. Kementerian ESDM RI.

*Rudy C Tarumingkeng: Green Super Grid dan Ketahanan Energi
Kepulauan: Visi Baru Sistem Energi Indonesia*

PLN. (2023, September 11). *PLN Nusantara Power Connect, ajang kolaborasi industri ketenagalistrikan wujudkan transisi energi*. PT PLN (Persero).

PLN. (2023, October 27). *Dorong pembangunan ASEAN Power Grid, Dirut PLN tekankan pentingnya sinergi antarnegara di kawasan*. PT PLN (Persero).

PLN. (2023, November 16). *Dongkrak bauran EBT di tanah air, Komisi VII DPR dukung penuh PLN kembangkan super grid, smart grid dan smart control center*. PT PLN (Persero).

PLN. (2024, June 7). *Road to PLN Investment Day, PLN galang kolaborasi global akselerasi transisi energi*. PT PLN (Persero).

PLN. (2024, November 4). *Layanan SuperSUN PLN, inovasi listrik bersih 24 jam, dukung kemajuan masyarakat kepulauan di Sulawesi Selatan*. PT PLN (Persero).

PLN. (2025, June 3). *RUPTL 2025–2034: PLN siap bangun Green Super Grid sepanjang 47.758 kms*. PT PLN (Persero).

ASEAN Centre for Energy. (2024). *ASEAN Interconnection Masterplan Study (AIMS) III Report*. ASEAN Centre for Energy.

Copilot for this article: ChatGPT 5.4. Thinking (2026). Access date: 30 March 2026. Author's account ([Rudy C Tarumingkeng](#))

<https://chatgpt.com/c/69ca5a46-9770-8398-a01b-ac1eae47a9d2>