

11



TRANSISI ENERGI DAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN UNTUK NEGERI

Aqil Azizi, S.Pi., M.Appl.Sc., Ph.D.
Diki Surya Irawan, S.T., M.Si., IPM., ASEAN Eng.

Ekonomi Berkelanjutan sebagai Pilar Indonesia Emas

Visi *Indonesia Emas 2045* adalah arah strategis jangka panjang yang disusun oleh Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas untuk menandai satu abad kemerdekaan Republik Indonesia. Visi ini menegaskan cita-cita Indonesia menjadi negara maju, berdaulat, adil, dan makmur melalui empat pilar utama pembangunan: manusia Indonesia unggul, ekonomi maju dan berkelanjutan, pemerintahan bersih, efektif, dan adaptif, serta Indonesia yang berperan aktif di kancah global (Bappenas, 2024).

Pembangunan menuju Indonesia Emas 2045 tidak dapat dipisahkan dari isu keberlanjutan lingkungan. Dalam kerangka *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan ke-7 (*Affordable and Clean Energy*) dan ke-13 (*Climate Action*), transformasi menuju ekonomi hijau merupakan keharusan moral dan strategis. Bappenas (2023) menegaskan bahwa arah pembangunan masa depan Indonesia harus berbasis pada “transformasi ekonomi hijau melalui percepatan transisi energi berkeadilan.” Ini berarti bahwa pertumbuhan ekonomi di masa depan harus dicapai dengan menjaga keberlanjutan sumber daya alam, menurunkan emisi karbon, serta memastikan keadilan sosial bagi seluruh lapisan masyarakat.

Dari sudut pandang ilmu Teknik Lingkungan, visi tersebut mengandung makna mendalam: kemajuan ekonomi tidak boleh berdiri di atas kerusakan lingkungan. Sebaliknya, inovasi teknologi dan kebijakan harus diarahkan pada penciptaan sistem energi yang bersih, efisien, dan adil. Dengan kata lain, “Indonesia Emas” haruslah “Indonesia Hijau.”

Makna Transisi Energi dalam Konteks Indonesia Emas 2045

Transisi energi didefinisikan sebagai proses perubahan struktur dan sistem penyediaan energi dari ketergantungan pada bahan bakar fosil menuju penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) yang rendah karbon, berkeadilan, dan berkelanjutan (IEA, 2023; IRENA, 2024). Dalam konteks Indonesia, transisi energi memiliki dimensi yang lebih kompleks: ia tidak hanya persoalan teknis mengganti sumber energi, tetapi juga menyangkut transformasi sosial, ekonomi, dan institusional yang lebih luas.

Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2024) menunjukkan potensi teknis EBT mencapai lebih dari 3.600 gigawatt (GW), terdiri atas energi surya (3.295 GW), hidro (95 GW), angin (155 GW), panas bumi (24 GW), dan biomassa (32 GW). Namun, hingga tahun 2025, kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional baru mencapai sekitar 14%, sedangkan energi fosil (terutama batu bara) masih mendominasi lebih dari 60% pembangkitan listrik nasional (Indonesia.go.id, 2025).

Untuk mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat, pemerintah menargetkan bauran EBT mencapai 44% pada 2040 dan 70% pada 2050. Target ini selaras dengan *Enhanced Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia yang disampaikan pada COP27 di Sharm el-Sheikh, Mesir, yang memperkuat komitmen penurunan emisi sebesar 31,89% dengan upaya sendiri atau 43,2% dengan dukungan internasional (KLHK, 2023).

Namun, transisi energi di Indonesia menghadapi tantangan struktural:

1. Ketergantungan pada batu bara—Indonesia masih merupakan salah satu eksportir batu bara terbesar di dunia, dengan kontribusi signifikan terhadap PDB dan lapangan kerja.
2. Keterbatasan infrastruktur energi bersih, seperti jaringan transmisi listrik antar pulau, sistem penyimpanan energi, dan kapasitas manufaktur teknologi EBT.
3. Permasalahan sosial-ekonomi—Transisi energi harus memastikan “keadilan transisi” (*just transition*), yaitu tidak meninggalkan masyarakat di daerah penghasil energi fosil seperti Kalimantan atau Sumatera.

Oleh karena itu, keberhasilan transisi energi di Indonesia tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada desain kebijakan, kapasitas kelembagaan, dan kolaborasi multi-pihak antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat.

Elemen Kunci Menuju Indonesia Maju 2045

Untuk mewujudkan visi Indonesia Emas 2045, diperlukan tiga elemen fundamental yang saling menguatkan:

1. Transformasi energi bersih dan berkeadilan
Transformasi ini mencakup percepatan pengembangan pembangkit listrik tenaga surya dan angin, peningkatan efisiensi energi di sektor industri dan transportasi, serta penghapusan bertahap subsidi energi fosil. Konsep “energi berkeadilan” mengandung makna bahwa seluruh masyarakat, termasuk kelompok berpenghasilan rendah dan masyarakat daerah terpencil, harus mendapat akses energi bersih yang terjangkau. Program *Solar Rooftop for All* dan *Desa Mandiri Energi* menjadi langkah konkret menuju hal ini (ESDM, 2024).
2. Reformasi pendidikan dan riset energi hijau
Dunia pendidikan tinggi memiliki peran strategis dalam menyiapkan sumber daya manusia yang mampu berinovasi di bidang teknologi energi bersih. Kurikulum teknik lingkungan, teknik elektro, dan manajemen energi harus mengintegrasikan aspek keberlanjutan dan ekonomi sirkular. Universitas dan lembaga penelitian juga perlu menjalin kemitraan riset dengan industri untuk mempercepat hilirisasi

inovasi. Seperti dinyatakan oleh UNESCO (2023), *green skills* akan menjadi kunci kompetensi utama tenaga kerja masa depan.

3. Inovasi industri hijau dan investasi berkelanjutan
Industri harus bertransformasi dari model linear (“ambil-pakai-buang”) ke model sirkular yang efisien sumber daya. Pemerintah telah menerbitkan *Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021* tentang penyelenggaraan nilai ekonomi karbon (NEK) yang menjadi dasar perdagangan karbon nasional. Hal ini membuka peluang bagi industri untuk berinvestasi dalam efisiensi energi, proyek *renewable*, dan offset karbon melalui mekanisme pasar.

Ketiga elemen ini saling bergantung. Tanpa SDM unggul, transformasi teknologi energi bersih akan berjalan lambat. Tanpa industri hijau, riset akademik tidak akan menemukan ruang implementasi. Dan tanpa kolaborasi lintas sektor, kebijakan hanya akan berhenti di atas kertas.

Realisme dan Tantangan Menuju 2045

Apakah Visi Indonesia Emas 2045 realistis untuk dicapai? Secara konseptual, ya—asalkan ada kemauan politik yang kuat, tata kelola yang transparan, dan konsistensi kebijakan lintas pemerintahan. RPJPN 2025–2045 yang disahkan pada 2024 telah menetapkan arah pembangunan “berkelanjutan, tangguh, dan berdaya saing global.” Salah satu agenda prioritas nasional adalah *green growth strategy* melalui transformasi energi, industri hijau, dan ekonomi sirkular (Bappenas, 2024).

Namun, tantangan implementasi masih signifikan:

- Pendanaan energi bersih: Menurut IRENA (2024), Indonesia memerlukan investasi lebih dari USD 20 miliar per tahun untuk menjaga jalur transisi menuju NZE.
- Kapasitas teknologi dan manufaktur nasional masih terbatas, misalnya produksi panel surya dan baterai domestik.
- Koordinasi antar sektor sering kali terhambat oleh perbedaan regulasi dan prioritas antar kementerian.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan kemitraan publik-swasta yang inovatif, insentif fiskal bagi investasi hijau, serta dukungan riset dari perguruan tinggi. Model kerja sama ini dikenal sebagai *Triple Helix Collaboration*—sinergi antara pemerintah, universitas, dan dunia usaha—yang terbukti efektif di banyak negara dalam mempercepat inovasi berkelanjutan.

Peran Strategis Kelompok Usaha Bakrie dalam Transisi Energi Nasional

Dalam konteks kolaborasi nasional, Kelompok Usaha Bakrie (Bakrie Group) menempati posisi unik. Sebagai salah satu konglomerasi tertua dan terbesar di Indonesia dengan portofolio bisnis yang meliputi energi, infrastruktur, manufaktur, agribisnis, dan teknologi, Bakrie memiliki potensi besar dalam mempercepat transisi energi nasional menuju visi Indonesia Emas 2045.

Beberapa inisiatif nyata yang telah dilakukan Bakrie Group antara lain:

1. Transformasi ke Energi Baru dan Terbarukan (EBT)–Melalui *Bakrie & Brothers Tbk (BNBR)* dan anak usahanya *VKTR Teknologi Mobilitas*, kelompok Bakrie mengembangkan kendaraan listrik (EV) untuk transportasi publik dan logistik. Ini sejalan dengan strategi dekarbonisasi sektor transportasi, yang menyumbang sekitar 28% emisi nasional (BNBR Integrated Report, 2024).
2. Pengembangan teknologi baterai dan ekosistem kendaraan listrik–Kerja sama strategis antara VKTR dan BYD (China) memperkuat kapasitas nasional dalam penguasaan teknologi *electric bus* dan *energy storage systems*.
3. Inisiatif hijau dalam sektor energi konvensional–Melalui *Energi Mega Persada Tbk*, Bakrie Group mulai mengintegrasikan prinsip *carbon management* dan *methane reduction* dalam kegiatan hulu migasnya.
4. Program sosial lingkungan (CSR berkelanjutan)–Bakrie Group aktif mendukung kegiatan penghijauan, konservasi pesisir, dan edukasi energi bersih melalui *Bakrie Center Foundation* dan *Bakrie Amanah*.

Langkah-langkah tersebut menunjukkan bahwa sektor swasta dapat berperan tidak hanya sebagai pengguna energi, tetapi juga sebagai motor perubahan menuju ekonomi hijau. Dengan kekuatan kapital, teknologi, dan jaringan bisnis yang luas, kelompok usaha seperti Bakrie dapat menjadi katalis antara dunia industri dan kebijakan publik dalam kerangka pembangunan berkelanjutan.

Menuju Sinergi Nasional untuk Transisi Energi Berkeadilan

Visi Indonesia Emas 2045 hanya dapat terwujud jika bangsa ini mampu melaksanakan transisi energi yang berkeadilan, inklusif, dan berkelanjutan. Pemerintah tidak dapat berjalan sendiri; dunia usaha dan akademisi harus menjadi mitra strategis dalam inovasi teknologi, pembiayaan hijau, dan edukasi publik.

Kelompok Usaha Bakrie, dengan komitmen transformasi menuju ekonomi hijau, menunjukkan bahwa sektor korporasi nasional mampu menjadi bagian integral dari solusi perubahan iklim. Ke depan, sinergi antara kebijakan pemerintah, riset akademik, dan inovasi bisnis akan menjadi kunci

keberhasilan Indonesia menapaki jalan menuju negara maju berkelanjutan di tahun 2045.

Tantangan Serius Transisi Energi Nasional

Transisi energi menuju sistem energi bersih bukanlah proses yang mudah. Indonesia menghadapi berbagai tantangan struktural, teknis, sosial, dan kelembagaan yang harus di atasi agar visi *Indonesia Emas 2045* dapat diwujudkan secara berkelanjutan. Tantangan-tantangan ini muncul karena kompleksitas sistem energi nasional yang telah lama bergantung pada bahan bakar fosil dan belum sepenuhnya siap untuk mengadopsi teknologi energi baru dan terbarukan (EBT).

1. Ketergantungan pada Energi Fosil

Ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil masih sangat tinggi. Berdasarkan *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* (ESDM, 2024), lebih dari 60% pembangkitan listrik nasional masih menggunakan batu bara, sedangkan minyak dan gas bumi mendominasi sektor transportasi dan industri. Sektor energi menjadi penyumbang terbesar emisi karbon nasional, yakni sekitar 35–38% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) (Bappenas, 2024).

Peningkatan permintaan energi akibat pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi memperburuk situasi ini. Dalam skenario *Business-as-Usual* (BAU), emisi sektor energi diproyeksikan mencapai lebih dari 1,6 miliar ton CO₂ pada tahun 2060 (KLHK, 2023). Tanpa transformasi mendasar, ketergantungan pada energi fosil akan memperlambat pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE).

Selain itu, ketergantungan terhadap ekspor batu bara sebagai sumber devisa juga menjadi dilema kebijakan. Di satu sisi, ekspor batu bara berkontribusi besar terhadap perekonomian nasional, namun di sisi lain, keberlanjutan jangka panjangnya tidak sejalan dengan arah transisi energi global. Hal ini menunjukkan perlunya strategi *phase-down* yang berkeadilan, di mana penghentian bertahap penggunaan batu bara diimbangi dengan diversifikasi ekonomi daerah penghasil.

Selain aspek teknis dan ekonomi, keberhasilan transisi energi juga bergantung pada dukungan sosial dan kelembagaan yang kuat. Peningkatan kapasitas pemerintah daerah, keterlibatan sektor swasta, dan partisipasi masyarakat menjadi faktor kunci dalam memastikan proses transisi berjalan inklusif dan berkeadilan. Pengembangan industri hijau di daerah penghasil batu bara dapat menjadi strategi transisi yang saling menguntungkan, dengan menciptakan lapangan kerja baru dan mengurangi ketimpangan regional. Dengan demikian, upaya dekarbonisasi tidak hanya dilihat sebagai kewajiban lingkungan, tetapi juga sebagai peluang untuk membangun

ekonomi nasional yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan kompetitif di era transisi energi global.

2. Ketiimpangan Akses Energi dan Keadilan Sosial

Salah satu aspek paling krusial dalam transisi energi adalah keadilan akses energi. Menurut *Direktorat Jenderal EBTKE (2024)*, masih terdapat lebih dari 3.000 desa di wilayah timur Indonesia—terutama di Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara Timur—yang belum memiliki akses energi modern. Kondisi ini memperlebar kesenjangan pembangunan antara kawasan barat dan timur Indonesia.

Akses energi bukan hanya persoalan infrastruktur, tetapi juga dimensi sosial dan ekonomi. Tanpa akses listrik yang andal, masyarakat di daerah tertinggal sulit mengembangkan kegiatan ekonomi produktif, pendidikan, dan layanan kesehatan. Oleh karena itu, strategi transisi energi nasional harus menempatkan energi berkeadilan (*just energy transition*) sebagai prinsip utama, di mana setiap warga negara memiliki kesempatan yang sama untuk menikmati manfaat pembangunan energi bersih.

Program seperti *Desa Mandiri Energi (DME)* dan *Renewable Energy Based Electrification (REBEn)* dari Kementerian ESDM menjadi contoh inisiatif yang perlu diperluas. Kolaborasi antara pemerintah, perguruan tinggi, dan sektor swasta dapat mempercepat elektrifikasi desa dengan memanfaatkan potensi lokal seperti tenaga surya, mikrohidro, dan biomassa.

Namun demikian, tantangan utama dalam mewujudkan keadilan akses energi terletak pada keberlanjutan model bisnis dan kapasitas pengelolaan di tingkat lokal. Banyak proyek elektrifikasi berbasis energi terbarukan yang tidak beroperasi optimal karena kurangnya pemeliharaan, keterbatasan kemampuan teknis masyarakat, serta lemahnya kelembagaan pengelola energi desa. Oleh karena itu, pendekatan yang lebih holistik diperlukan—tidak hanya membangun infrastruktur, tetapi juga memperkuat tata kelola, pembiayaan, dan pengelolaan pasca-proyek. Pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan teknis, skema tarif yang adil, serta dukungan kelembagaan dapat memastikan sistem energi desa berjalan berkelanjutan dan memberikan manfaat jangka panjang.

Selain itu, integrasi transisi energi dengan pembangunan ekonomi lokal menjadi langkah strategis untuk menciptakan efek berganda. Pemanfaatan energi terbarukan seharusnya diarahkan untuk mendukung kegiatan ekonomi produktif seperti pengolahan hasil pertanian, perikanan, atau industri kreatif berbasis desa. Dengan demikian, energi bersih tidak hanya menjadi sumber penerangan, tetapi juga pendorong kemandirian ekonomi masyarakat. Pendekatan ini sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya Tujuan 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan Tujuan 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi), serta memperkuat

komitmen Indonesia dalam mewujudkan transisi energi yang inklusif dan berkeadilan sosial.

3. Ketidakpastian Kebijakan dan Regulasi

Kepastian hukum dan regulasi merupakan fondasi utama dalam menarik investasi di sektor energi bersih. Namun, hingga kini, Indonesia masih menghadapi **ketidakpastian kebijakan**, antara lain terkait skema tarif pembelian listrik EBT (*feed-in tariff*), prosedur perizinan, dan mekanisme insentif fiskal.

Menurut *Institute for Essential Services Reform (IESR, 2023)*, keterlambatan penerbitan regulasi turunan dari *Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022* tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan masih menjadi hambatan utama bagi investor. Selain itu, mekanisme harga listrik dari pembangkit EBT sering kali belum menarik secara ekonomi dibandingkan energi fosil yang masih disubsidi.

Ketidakpastian ini menimbulkan *investment risk* yang tinggi. Akibatnya, realisasi proyek energi terbarukan sering kali jauh di bawah target Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Diperlukan reformasi tata kelola energi nasional untuk memastikan kebijakan bersifat konsisten, transparan, dan adaptif terhadap dinamika pasar global.

4. Tantangan Teknologi dan Sumber Daya Manusia

Transisi energi membutuhkan kapasitas teknologi yang tinggi dan tenaga kerja yang terampil. Namun, keterbatasan sumber daya manusia (SDM) di bidang energi terbarukan dan teknik lingkungan masih menjadi kendala utama. Menurut *UNDP Indonesia (2024)*, kurang dari 30% tenaga teknis di sektor energi memiliki kompetensi dalam desain, operasi, dan pemeliharaan sistem energi bersih.

Selain itu, sebagian besar teknologi EBT seperti panel surya, turbin angin, dan sistem penyimpanan energi (baterai) masih bergantung pada impor. Ini menandakan bahwa kapasitas inovasi domestik perlu ditingkatkan melalui investasi riset dan kemitraan internasional. Perguruan tinggi dan lembaga penelitian nasional dapat berperan penting dalam membangun ekosistem *research-to-industry* yang mendorong kemandirian teknologi energi hijau.

Peluang Emas di Tengah Tantangan

Meskipun menghadapi berbagai kendala, Indonesia memiliki peluang strategis yang sangat besar untuk memimpin transisi energi di kawasan Asia Tenggara. Peluang ini bersumber dari kekayaan sumber daya alam,

dukungan kebijakan nasional, serta meningkatnya komitmen global terhadap dekarbonisasi.

1. Potensi Energi Terbarukan Nasional

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan sebesar 4.219 gigawatt (GW) (Bappenas, 2024), yang terdiri dari:

- Energi surya: 3.280 GW
- Energi air: 95 GW
- Energi angin: 155 GW
- Energi biomassa dan biogas: 32 GW
- Energi panas bumi (geothermal): 24 GW

Dengan potensi tersebut, Indonesia berpeluang menjadi *green energy hub* di Asia Tenggara. Pengembangan energi surya di daerah tropis dengan *solar irradiation* tinggi (4,5–5,5 kWh/m²/hari) dapat menjadi tulang punggung energi masa depan. Selain itu, kombinasi biomassa dan limbah pertanian membuka jalan bagi produksi energi berbasis ekonomi sirkular, mendukung target pengurangan emisi sekaligus ketahanan pangan.

2. Peluang Investasi Hijau dan Kemitraan Global

Inisiatif *Just Energy Transition Partnership (JETP)* yang diumumkan pada KTT G20 Bali 2022 menjadi tonggak penting dalam transisi energi Indonesia. Melalui kemitraan ini, Indonesia memperoleh komitmen pendanaan sebesar USD 20 miliar dari negara-negara mitra seperti Amerika Serikat, Jepang, Inggris, dan Uni Eropa, yang terdiri atas dana hibah, pinjaman lunak, dan investasi sektor swasta (JETP Secretariat Indonesia, 2024).

Pendanaan ini difokuskan untuk:

- Mempercepat penutupan PLTU batu bara secara bertahap,
- Mengembangkan pembangkit EBT,
- Meningkatkan infrastruktur jaringan listrik, dan
- Mendorong investasi pada *energy storage systems* dan *smart grid*.

Selain JETP, mekanisme perdagangan karbon nasional melalui *Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021* membuka peluang baru bagi sektor industri untuk berpartisipasi dalam ekonomi rendah karbon. Proyek *carbon capture, utilization, and storage (CCUS)* serta *renewable hydrogen* juga mulai dikembangkan sebagai bagian dari strategi diversifikasi energi masa depan.

Keberhasilan implementasi JETP dan inisiatif dekarbonisasi lainnya sangat bergantung pada koordinasi lintas sektor dan kepastian kebijakan jangka panjang. Tanpa tata kelola yang transparan dan mekanisme pemantauan yang kuat, risiko ketidakefisienan, tumpang tindih program,

serta rendahnya serapan pendanaan dapat menghambat capaian transisi energi. Oleh karena itu, diperlukan kerangka kebijakan yang konsisten antara pemerintah pusat dan daerah, termasuk sinkronisasi Rencana Umum Energi Daerah (RUED) dengan target nasional. Transparansi dalam penggunaan dana, pelibatan masyarakat sipil, serta peningkatan kapasitas teknis lembaga pelaksana menjadi kunci agar JETP benar-benar mendorong transformasi sistem energi yang berkeadilan, inklusif, dan berkelanjutan.

3. Kebijakan Nasional yang Mendukung

Pemerintah Indonesia telah menegaskan komitmennya terhadap transformasi energi melalui berbagai kebijakan, di antaranya:

- *Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025–2045*, yang menempatkan transisi energi sebagai pilar utama pembangunan ekonomi hijau (Bappenas, 2024).
- *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)*, yang menargetkan bauran EBT sebesar 31% pada 2050.
- *Nationally Determined Contribution (NDC)*, yang menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 43,2% dengan dukungan internasional pada 2030 (KLHK, 2023).

Kebijakan ini memperkuat arah transformasi menuju ekonomi hijau yang inklusif. Namun, efektivitasnya akan bergantung pada konsistensi implementasi lintas sektor dan keberlanjutan dukungan fiskal.

Selain kerangka kebijakan nasional, keberhasilan transformasi energi juga sangat ditentukan oleh peran pemerintah daerah sebagai pelaksana di lapangan. Pemerintah daerah memiliki posisi strategis dalam perencanaan, pengelolaan potensi energi terbarukan lokal, dan penyusunan regulasi turunan yang adaptif terhadap kondisi wilayahnya. Penguatan kapasitas daerah dalam penyusunan Rencana Umum Energi Daerah (RUED), integrasi dengan Rencana Pembangunan Daerah (RPD), serta pengembangan proyek energi berskala komunitas menjadi langkah penting untuk memastikan kebijakan nasional benar-benar diterjemahkan ke dalam aksi nyata di tingkat lokal. Kolaborasi antar pemangku kepentingan termasuk BUMD, perguruan tinggi, dan masyarakat juga perlu diperluas untuk menciptakan ekosistem energi berkelanjutan yang berakar pada potensi daerah.

Selain itu, keberlanjutan transisi energi menuntut adanya inovasi pembiayaan hijau yang inklusif dan berorientasi jangka panjang. Instrumen seperti *green bond*, *blended finance*, dan dana transisi energi perlu dioptimalkan untuk menjembatani kebutuhan investasi besar di sektor energi bersih. Keterlibatan sektor swasta dan lembaga keuangan menjadi krusial dalam menyediakan modal dan teknologi, sementara pemerintah berperan dalam menciptakan kepastian regulasi serta insentif fiskal yang menarik. Dengan dukungan pembiayaan yang kuat dan tata kelola



yang transparan, transformasi energi tidak hanya akan mempercepat dekarbonisasi, tetapi juga membuka peluang pertumbuhan ekonomi hijau yang mampu menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan daya saing industri, dan memperkuat ketahanan energi nasional.

4. Peran Korporasi Nasional: Studi Kasus Kelompok Usaha Bakrie

Sektor swasta memainkan peran krusial dalam mempercepat transisi energi. Salah satu contoh nyata adalah Kelompok Usaha Bakrie (Bakrie Group) melalui anak perusahaannya *Bakrie & Brothers Tbk (BNBR)* dan *VKTR Teknologi Mobilitas*. Laporan *BNBR Integrated Annual Report 2024* menyoroti berbagai inisiatif dekarbonisasi, antara lain:

- Pengembangan kendaraan listrik (bus, truk, dan kendaraan komersial) bekerja sama dengan BYD dan industri komponen lokal.
- Investasi dalam infrastruktur hijau, termasuk proyek energi surya atap di fasilitas industri dan gedung perkantoran.
- Program carbon management di sektor energi migas melalui pengurangan emisi metana dan peningkatan efisiensi operasional.
- Kegiatan tanggung jawab sosial (CSR) berbasis lingkungan, seperti konservasi mangrove dan edukasi energi bersih di wilayah pesisir.

Langkah-langkah ini menunjukkan bahwa transformasi energi nasional hanya dapat berhasil jika dunia usaha nasional turut menjadi motor perubahan melalui inovasi dan komitmen keberlanjutan.

Inisiatif yang dilakukan oleh Kelompok Usaha Bakrie mencerminkan perubahan paradigma dunia usaha Indonesia dalam merespons tantangan perubahan iklim dan peluang ekonomi hijau. Melalui strategi diversifikasi menuju teknologi rendah karbon, Bakrie Group tidak hanya mengurangi jejak emisi, tetapi juga memperkuat daya saing jangka panjang di pasar global yang semakin menuntut praktik bisnis berkelanjutan. Pengembangan kendaraan listrik, misalnya, sejalan dengan agenda nasional untuk elektrifikasi transportasi dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu, keterlibatan dalam pengembangan rantai pasok lokal untuk komponen kendaraan listrik membuka peluang bagi tumbuhnya industri hijau domestik yang bernilai tambah tinggi serta menciptakan lapangan kerja baru di sektor teknologi bersih.

Lebih jauh, peran korporasi seperti Bakrie Group dapat menjadi katalis bagi kolaborasi lintas sektor dalam mewujudkan ekosistem transisi energi yang inklusif. Kemitraan antara perusahaan besar, UMKM, lembaga penelitian, dan pemerintah dapat mempercepat transfer teknologi, inovasi produk, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia di bidang energi terbarukan. Dengan memperluas praktik *Environmental, Social, and Governance* (ESG) ke dalam seluruh rantai bisnis, korporasi nasional berpotensi menjadi penggerak utama ekonomi hijau Indonesia. Hal ini tidak hanya memperkuat kontribusi sektor swasta terhadap pencapaian target *Net Zero Emission*, tetapi juga memperlihatkan bahwa keberlanjutan dapat berjalan seiring dengan profitabilitas dan pertumbuhan ekonomi nasional.

Perspektif Teknik Lingkungan

Dari perspektif Teknik Lingkungan, transisi energi membuka ruang riset dan inovasi yang luas untuk membangun sistem energi yang ramah lingkungan, efisien, dan berkelanjutan. Beberapa bidang strategis yang relevan meliputi:

1. Desain sistem pengelolaan energi dari limbah industri (*waste-to-energy*)
Konversi limbah padat menjadi energi listrik atau panas dapat mengurangi volume limbah dan emisi metana. Teknologi *anaerobic digestion* dan *thermal gasification* menjadi solusi potensial, terutama untuk limbah pertanian dan perkotaan (IEA, 2024).
2. Integrasi konservasi air dan energi pada bangunan hijau
Penerapan *green building design* memungkinkan efisiensi energi hingga 40%. Sistem integratif antara air, energi, dan ventilasi alami menjadi fokus utama dalam arsitektur berkelanjutan (UNEP, 2023).

3. Pemanfaatan biomassa dan biogas dari limbah organik
Potensi limbah pertanian Indonesia (seperti sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, dan limbah tebu) dapat diolah menjadi biomassa yang berdaya kalor tinggi. Teknologi biogas skala komunitas dapat mendukung desa mandiri energi.
4. Analisis *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk teknologi energi
Pendekatan *LCA* memungkinkan analisis menyeluruh terhadap dampak lingkungan dari hulu ke hilir setiap teknologi energi, sehingga pengambilan keputusan berbasis bukti dapat dilakukan (ISO 14040, 2020).
5. Pengembangan teknologi penyimpanan energi (*energy storage*) ramah lingkungan
Kemajuan dalam teknologi baterai, seperti *lithium iron phosphate (LFP)* dan *solid-state battery*, menjadi kunci dalam stabilisasi pasokan energi terbarukan yang bersifat intermiten. Dari perspektif teknik lingkungan, riset penting difokuskan pada siklus hidup material baterai, daur ulang logam kritis (seperti litium dan nikel), serta pengurangan limbah berbahaya dari proses produksi. Pendekatan *circular economy* pada sistem penyimpanan energi dapat mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam dan meningkatkan keberlanjutan sistem energi nasional (IEA, 2023).
6. Rekayasa sistem penangkapan dan pemanfaatan karbon (*Carbon Capture, Utilization, and Storage/CCUS*)
Teknologi *CCUS* menjadi salah satu instrumen penting dalam menekan emisi CO₂ dari sektor industri dan pembangkit listrik berbasis fosil. Dari sisi teknik lingkungan, pengembangan material adsorben berbiaya rendah, pemanfaatan CO₂ sebagai bahan baku industri (misalnya untuk produksi metanol atau bahan bangunan), serta keamanan penyimpanan jangka panjang menjadi area riset strategis. Inovasi dalam sistem *CCUS* tidak hanya membantu pencapaian target Net Zero Emission, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru berbasis teknologi rendah karbon (ADB, 2024)

Dengan penguasaan ilmu Teknik Lingkungan dan dukungan kebijakan riset, Indonesia berpotensi bukan hanya sebagai pengguna teknologi energi bersih, tetapi juga produsen dan eksportir teknologi hijau di tingkat regional.

Ikhtisar Sementara

Tantangan transisi energi nasional memang kompleks—dari ketergantungan fosil hingga keterbatasan SDM. Namun, potensi alam, dukungan kebijakan, dan komitmen korporasi nasional membuka peluang besar untuk menciptakan sistem energi yang adil dan berkelanjutan. Dengan pendekatan lintas disiplin, terutama melalui kontribusi Teknik Lingkungan, Indonesia memiliki kesempatan historis untuk menjadi pionir energi bersih di Asia Tenggara menjelang Indonesia Emas 2045.

Ilmu Pengetahuan sebagai Pendorong Transisi Energi

Ilmu pengetahuan memiliki peran fundamental dalam mempercepat transisi energi menuju sistem yang rendah karbon, efisien, dan berkeadilan. Dalam konteks pembangunan menuju *Indonesia Emas 2045*, ilmu pengetahuan bukan hanya instrumen pendukung, melainkan motor utama transformasi nasional yang menghubungkan antara inovasi teknologi, kebijakan publik, dan kesejahteraan sosial.

Kementerian PPN/Bappenas (2024) menegaskan bahwa salah satu pilar utama pembangunan jangka panjang Indonesia adalah “*ekonomi maju dan berkelanjutan berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi*.” Hal ini menandakan bahwa transformasi menuju ekonomi hijau tidak hanya bertumpu pada kebijakan fiskal dan investasi, tetapi juga pada kekuatan riset, inovasi, dan penguasaan teknologi nasional. Sejalan dengan visi tersebut, *National Research Master Plan 2025–2045* (BRIN, 2023) menetapkan energi bersih dan lingkungan berkelanjutan sebagai salah satu bidang prioritas strategis yang harus dikembangkan secara terpadu antara pemerintah, perguruan tinggi, dan sektor industri.

Pendekatan berbasis ilmu pengetahuan memungkinkan Indonesia membangun sistem energi yang efisien, adaptif terhadap perubahan iklim, dan berdaya saing global. Melalui riset terapan, pengembangan teknologi lokal seperti panel surya berbiaya rendah, sistem penyimpanan energi, kendaraan listrik, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan daerah dapat dipercepat. Selain itu, integrasi hasil riset ke dalam kebijakan publik dan model bisnis hijau akan memperkuat ekosistem inovasi nasional. Dengan demikian, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi bukan hanya menjadi penopang pembangunan ekonomi, tetapi juga fondasi utama dalam mewujudkan transformasi energi berkeadilan dan berkelanjutan menuju Indonesia Emas 2045.

Transisi energi memerlukan pemahaman mendalam lintas disiplin, khususnya di bidang teknik lingkungan, rekayasa energi, material maju, dan ilmu kebijakan publik. Ilmu pengetahuan dalam bidang ini berfungsi sebagai “peta jalan” (*roadmap*) yang menjembatani antara potensi sumber daya alam dengan kemampuan teknologi serta kebutuhan sosial masyarakat.

A. Pengembangan Material Fotovoltaik Efisiensi Tinggi

Salah satu terobosan kunci dalam transisi energi global adalah kemajuan teknologi fotovoltaik (PV). Penelitian terkini difokuskan pada material generasi baru seperti *perovskite solar cells*, yang mampu mencapai efisiensi di atas 25% dengan biaya produksi yang lebih rendah (IEA, 2023). Di Indonesia, dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,5–5,5 kWh/m² per hari, potensi penerapan sistem surya sangat besar, terutama untuk aplikasi *rooftop PV* dan *off-grid* di daerah terpencil.

Ilmuwan teknik lingkungan berperan dalam memastikan siklus hidup material PV ini ramah lingkungan. Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* digunakan untuk menilai jejak karbon, konsumsi air, dan dampak limbah dari produksi modul surya (ISO 14040, 2020). Dengan riset terpadu, Indonesia tidak hanya menjadi konsumen, tetapi juga dapat menjadi produsen teknologi surya di kawasan Asia Tenggara.

Selain aspek teknologi dan efisiensi, pengembangan ekosistem industri fotovoltaik nasional juga menjadi faktor strategis dalam memperkuat kemandirian energi Indonesia. Peningkatan kapasitas manufaktur dalam negeri untuk produksi sel surya, modul, inverter, dan sistem penyimpanan energi akan menciptakan rantai nilai industri hijau yang berkelanjutan. Dukungan pemerintah melalui kebijakan *local content requirement* (TKDN), insentif fiskal, dan kemitraan riset antara universitas dan sektor swasta dapat mempercepat tumbuhnya industri energi surya nasional. Dengan strategi ini, Indonesia berpeluang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada impor teknologi, tetapi juga menjadi pusat inovasi dan ekspor energi bersih di kawasan Asia Tenggara

B. Rancang Bangun Reaktor Biogas Skala Kecil untuk Pedesaan

Indonesia memiliki potensi biomassa yang besar dari limbah pertanian, peternakan, dan perkotaan. Teknologi biogas skala kecil telah terbukti efektif dalam menyediakan energi bersih bagi masyarakat pedesaan, sekaligus mengurangi emisi metana dari limbah organik.

Riset teknik lingkungan berperan dalam desain reaktor biogas yang efisien, tahan lama, dan mudah dioperasikan oleh masyarakat. Model reaktor *fixed-dome* dan *plug flow digester* dikembangkan dengan mempertimbangkan kondisi tropis dan ketersediaan bahan lokal (UNDP, 2023). Program *Desa Mandiri Energi* yang diinisiasi oleh Kementerian ESDM telah menerapkan pendekatan ini di lebih dari 200 lokasi di Indonesia.

Lebih jauh, integrasi sistem biogas dengan pengolahan limbah cair peternakan menciptakan sistem *zero waste*, di mana residu padat menjadi pupuk organik dan gas digunakan untuk memasak atau pembangkit listrik mikro. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kemandirian energi, tetapi juga memperkuat ekonomi sirkular di tingkat lokal.

Selain memberikan manfaat energi, pengembangan biomassa dan biogas juga memiliki potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan dan pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Melalui pemanfaatan residu pertanian dan peternakan, sistem ini mampu mengurangi pencemaran air dan tanah akibat pembuangan limbah organik sembarangan. Penerapan teknologi *co-digestion* yaitu penggabungan berbagai jenis limbah organik seperti kotoran ternak, jerami, dan limbah makanan dapat meningkatkan produksi biogas hingga 30–50% dibandingkan sistem tunggal. Dengan

demikian, riset teknik lingkungan tidak hanya berfokus pada efisiensi energi, tetapi juga pada rekayasa sistem yang mampu meminimalkan dampak ekologis dan menciptakan sinergi antara sektor energi, pertanian, dan lingkungan (FAO, 2024).

Lebih jauh, keberhasilan implementasi teknologi biogas skala komunitas sangat bergantung pada aspek sosial dan kelembagaan. Pelatihan teknis bagi masyarakat, pembentukan kelompok pengelola energi desa, serta model pembiayaan mikro menjadi faktor penting untuk menjamin keberlanjutan proyek. Keterlibatan pemerintah daerah dan lembaga keuangan lokal dalam menyediakan insentif dan skema kredit hijau juga akan memperkuat ekosistem energi berbasis biomassa. Dengan pendekatan yang holistic mencakup teknologi, kelembagaan, dan pemberdayaan Masyarakat, Indonesia dapat menjadikan biomassa sebagai salah satu pilar utama dalam transisi energi berkeadilan dan penguatan ekonomi hijau di pedesaan

C. Teknologi Efisiensi Energi Industri: *Waste Heat Recovery* dan HVAC Hijau

Sektor industri menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi nasional (ESDM, 2024). Oleh karena itu, peningkatan efisiensi energi di sektor ini merupakan strategi krusial untuk menurunkan emisi karbon. Salah satu teknologi utama adalah *Waste Heat Recovery System* (WHRS), yang memanfaatkan panas buangan dari proses industri menjadi energi listrik atau uap tambahan.

Riset di bidang teknik lingkungan fokus pada optimasi sistem WHRS untuk industri semen, baja, dan petrokimia, yang memiliki potensi penghematan energi hingga 15–20% (IRENA, 2024). Selain itu, sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) yang efisien menjadi komponen penting dalam bangunan hijau. Penggunaan *variable refrigerant flow* (VRF), pendinginan pasif, dan integrasi sumber energi terbarukan mampu menekan konsumsi listrik hingga 30%. Pengembangan teknologi ini tidak hanya berdampak pada pengurangan emisi, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi langsung bagi industri melalui penurunan biaya operasional dan peningkatan produktivitas.

Penerapan efisiensi energi di sektor industri juga memerlukan dukungan sistem manajemen energi yang terstandar dan berkelanjutan. Implementasi *Energy Management System* (EnMS) berbasis ISO 50001 menjadi salah satu langkah strategis untuk memastikan pengawasan, pengukuran, dan evaluasi penggunaan energi berjalan secara sistematis. Melalui sistem ini, industri dapat mengidentifikasi titik-titik inefisiensi, menetapkan target penghematan, serta mengintegrasikan aspek keberlanjutan dalam proses operasional. Lebih jauh, penerapan audit energi berkala dan digitalisasi proses produksi melalui *Industrial Internet of Things*

(IIoT) memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara *real-time*, yang pada akhirnya meningkatkan transparansi dan akuntabilitas terhadap target penurunan emisi karbon (UNIDO, 2023).

Selain pendekatan teknologi dan manajemen, keberhasilan efisiensi energi industri juga bergantung pada kebijakan insentif dan mekanisme pendanaan hijau yang mendukung investasi awal. Banyak perusahaan menghadapi kendala biaya tinggi dalam adopsi teknologi rendah karbon, sehingga dukungan berupa *green financing*, skema *energy service company* (ESCO), serta insentif pajak menjadi sangat penting. Pemerintah bersama lembaga keuangan dapat mengembangkan model pembiayaan inovatif yang berbasis hasil penghematan energi (*performance-based financing*). Dengan kombinasi antara inovasi teknologi, kebijakan pendukung, dan insentif ekonomi, transformasi menuju industri rendah emisi di Indonesia dapat berjalan lebih cepat, kompetitif, dan berkelanjutan di tengah tekanan transisi energi global.

D. Teknologi Pengolahan Limbah Energi

Transisi energi yang cepat berpotensi menimbulkan jenis limbah baru, seperti baterai bekas dari kendaraan listrik atau panel surya yang rusak. Tanpa sistem pengelolaan yang tepat, hal ini dapat menimbulkan risiko pencemaran logam berat seperti timbal, litium, dan kobalt.

Bidang teknik lingkungan berkontribusi dalam merancang sistem pengolahan limbah cair industri energi agar tidak mencemari air dan tanah. Teknologi *membrane bioreactor* (MBR), *adsorpsi karbon aktif*, dan *advanced oxidation process* (AOP) menjadi solusi yang banyak diteliti (UNEP, 2024). Selain itu, penelitian mengenai *urban mining* dan *battery recycling* mulai berkembang untuk mendukung ekonomi sirkular di sektor energi baru.

Dengan basis ilmiah ini, ilmu pengetahuan bukan hanya mendukung transisi energi, tetapi juga memastikan bahwa transformasi tersebut berlangsung berkeadilan, aman, dan berkelanjutan. Selain itu, pengembangan kebijakan dan sistem *Extended Producer Responsibility* (EPR) menjadi aspek penting dalam mengatasi potensi lonjakan limbah dari teknologi energi terbarukan. Melalui EPR, produsen diwajibkan untuk bertanggung jawab terhadap siklus hidup produknya, termasuk tahap pengumpulan, daur ulang, dan pembuangan akhir. Pendekatan ini mendorong inovasi desain produk yang lebih ramah lingkungan serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan material kritis seperti litium dan nikel. Menurut *International Energy Agency* (IEA, 2024), penerapan EPR yang efektif dapat mengurangi limbah elektronik dan baterai hingga 40% pada tahun 2035, sekaligus menciptakan peluang ekonomi baru di sektor daur ulang dan pemulihan sumber daya.

Peran Kelompok Usaha Bakrie dalam Inovasi dan Teknologi Hijau

Kelompok Usaha Bakrie (Bakrie Group) merupakan salah satu konglomerasi nasional yang memiliki rekam jejak panjang di sektor energi, infrastruktur, dan industri. Dalam satu dekade terakhir, Bakrie Group telah menegaskan komitmennya terhadap pembangunan berkelanjutan dan transisi energi hijau.

Berdasarkan *BNBR Integrated Annual Report 2024*, strategi korporasi Bakrie Group diarahkan pada tiga agenda utama: (1) dekarbonisasi industri, (2) inovasi energi baru dan terbarukan, dan (3) penerapan prinsip ESG (*Environmental, Social, and Governance*) di seluruh lini usaha.

Selain itu, Bakrie Group melalui berbagai entitas usahanya seperti PT Bakrie & Brothers Tbk (BNBR), PT Energi Mega Persada Tbk, dan PT Bakrie Renewable Chemicals, mulai berinvestasi pada proyek-proyek energi bersih, termasuk pengembangan *bioethanol*, *biodiesel*, serta eksplorasi energi panas bumi. Upaya ini merupakan bagian dari strategi jangka panjang untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menurunkan emisi karbon secara bertahap. BNBR juga memperkuat kemitraan strategis dengan lembaga riset dan investor internasional guna mempercepat penerapan teknologi rendah karbon di sektor manufaktur dan transportasi.

Selain fokus pada transisi energi, Bakrie Group juga mengintegrasikan prinsip ekonomi sirkular dalam operasional industrinya. Salah satu langkah nyata adalah pengembangan infrastruktur hijau melalui unit usaha konstruksi dan material yang menerapkan praktik *green building* dan efisiensi sumber daya. Di sisi sosial, grup ini menjalankan berbagai inisiatif pemberdayaan masyarakat dan peningkatan kapasitas tenaga kerja lokal agar selaras dengan kebutuhan industri hijau masa depan. Dengan pendekatan tersebut, Bakrie Group berupaya menempatkan diri sebagai pelopor transformasi menuju ekonomi rendah karbon yang inklusif dan berdaya saing global.

A. Inovasi Kendaraan Listrik oleh VKTR Teknologi Mobilitas

Perusahaan *VKTR Teknologi Mobilitas* di bawah Bakrie Group berperan penting dalam pengembangan ekosistem kendaraan listrik di Indonesia. VKTR bekerja sama dengan BYD dan TransJakarta dalam menghadirkan bus listrik ramah lingkungan yang beroperasi di wilayah perkotaan. Hingga 2024, lebih dari 200 unit bus listrik telah dioperasikan, berkontribusi terhadap pengurangan emisi CO₂ sebesar sekitar 14.000 ton per tahun (BNBR, 2024).

Selain pengadaan kendaraan, VKTR juga mengembangkan sistem pengisian daya cepat (*fast charging stations*) dan riset *battery management system (BMS)*. Langkah ini mendukung rencana pemerintah

untuk memperluas transportasi publik rendah emisi serta meningkatkan kemandirian industri komponen EV domestik.

Komitmen VKTR tidak hanya berfokus pada penyediaan armada bus listrik, tetapi juga pada pembangunan *value chain* kendaraan listrik yang terintegrasi di dalam negeri. Selain itu, VKTR aktif mendukung kebijakan nasional terkait *Net Zero Emission 2060* dengan mendorong digitalisasi transportasi publik. Implementasi sistem pemantauan energi (*energy monitoring system*) dan integrasi data armada bus listrik dengan sistem manajemen lalu lintas kota menjadi langkah penting untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan transportasi rendah karbon. Dengan strategi ini, VKTR berperan sebagai katalis utama dalam mempercepat transisi menuju ekosistem mobilitas berkelanjutan yang berbasis inovasi teknologi, kolaborasi industri, dan penguatan kapasitas nasional.

B. Riset Energi Terbarukan dan Hidrogen

Unit bisnis *Bakrie Renewable Energy* memfokuskan riset pada pemanfaatan biomassa, biodiesel, dan hidrogen hijau sebagai energi masa depan. Riset biomassa diarahkan pada pemanfaatan limbah sawit dan pertanian untuk pembangkit listrik dan bahan bakar padat (*biopellet*).

Sementara itu, riset *green hydrogen* tengah dikembangkan melalui kolaborasi dengan lembaga internasional seperti IRENA dan universitas nasional. Hidrogen hijau yang dihasilkan dari elektrolisis air menggunakan energi surya dapat menjadi sumber energi bersih untuk industri berat seperti baja dan semen, yang selama ini sulit untuk didekarbonisasi.

Selain riset dan pengembangan, *Bakrie Renewable Energy* juga berperan aktif dalam membangun rantai pasok energi terbarukan di tingkat nasional. Melalui investasi pada fasilitas *biomass preprocessing* dan *biofuel blending*, perusahaan ini berupaya memastikan ketersediaan bahan bakar rendah karbon yang stabil bagi industri dan sektor transportasi. Pendekatan ini tidak hanya memperkuat ketahanan energi nasional, tetapi juga menciptakan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat di sekitar sumber biomassa, terutama petani kelapa sawit dan pengelola limbah pertanian.

Lebih jauh, *Bakrie Renewable Energy* menempatkan aspek keberlanjutan sebagai pilar utama dalam pengelolaan bisnisnya. Program *carbon footprint assessment* dan *life cycle analysis (LCA)* diterapkan untuk memastikan bahwa setiap proses produksi energi terbarukan benar-benar memberikan dampak positif terhadap penurunan emisi gas rumah kaca. Inisiatif ini sejalan dengan agenda transisi energi hijau Indonesia dan komitmen global terhadap *Paris Agreement*, menjadikan *Bakrie Renewable Energy* sebagai salah satu pelopor korporasi nasional dalam membangun ekonomi rendah karbon berbasis inovasi dan ilmu pengetahuan.

C. *Green Retrofitting* dan Manajemen Karbon

Bakrie Group juga menjalankan program *green retrofitting* di fasilitas industri dan gedung perkantoran untuk menekan emisi karbon dan konsumsi energi. Teknologi pencahayaan hemat energi, sistem pendingin efisien, serta audit energi tahunan diterapkan di beberapa fasilitas utama (BNBR, 2024).

Selain itu, Bakrie menerapkan strategi manajemen karbon korporasi, termasuk penghitungan emisi berbasis *GHG Protocol*, penggunaan energi terbarukan, dan program offset karbon. Upaya ini menunjukkan integrasi antara tanggung jawab lingkungan dan strategi bisnis, sejalan dengan prinsip ESG global.

Program *green retrofitting* yang dijalankan Bakrie Group juga menjadi bagian dari strategi efisiensi energi nasional, khususnya dalam mendukung target penurunan intensitas energi sebesar 1% per tahun sesuai dengan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Melalui penerapan sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 dan *smart monitoring system*, perusahaan mampu memantau konsumsi energi secara real-time dan mengidentifikasi peluang penghematan di berbagai fasilitas operasional. Langkah ini tidak hanya menurunkan biaya energi hingga 10–15%, tetapi juga meningkatkan keandalan sistem utilitas dan kenyamanan pengguna bangunan.

Selain fokus pada efisiensi dan manajemen karbon, Bakrie Group juga memperluas pendekatan keberlanjutan melalui pelaporan dan transparansi publik. Melalui *Sustainability Report* yang terintegrasi dengan standar *Global Reporting Initiative (GRI)* dan *Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)*, perusahaan menegaskan komitmennya terhadap tata kelola lingkungan dan sosial yang bertanggung jawab. Pendekatan ini memperkuat kepercayaan investor dan pemangku kepentingan, sekaligus menempatkan Bakrie Group sebagai contoh transformasi korporasi nasional menuju bisnis hijau yang adaptif dan berdaya saing global.

D. Penerapan Prinsip ESG dan Inovasi Sosial

Penerapan standar *Environmental, Social, and Governance (ESG)* oleh Bakrie Group mencakup:

- *Environmental*: efisiensi energi, pengelolaan limbah, dan konservasi air.
- *Social*: pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan keterampilan hijau.
- *Governance*: transparansi laporan keberlanjutan dan tata kelola yang akuntabel.

Menurut *Bloomberg ESG Disclosure Score (2024)*, perusahaan yang menerapkan prinsip ESG secara konsisten memiliki kinerja keuangan dan

reputasi publik yang lebih baik. Oleh karena itu, langkah Bakrie Group menjadi contoh penting bagi korporasi nasional lain dalam menyelaraskan profitabilitas dan keberlanjutan.

Implementasi prinsip ESG oleh Bakrie Group juga didukung dengan pembentukan *Sustainability Committee* di tingkat korporasi, yang bertanggung jawab langsung kepada dewan direksi. Komite ini berfungsi untuk memastikan integrasi aspek lingkungan, sosial, dan tata kelola dalam setiap keputusan bisnis strategis. Melalui mekanisme *ESG Risk Assessment*, perusahaan secara rutin menilai potensi dampak lingkungan dan sosial dari setiap proyek baru, termasuk investasi di sektor energi, pertambangan, dan transportasi hijau. Pendekatan berbasis risiko ini memperkuat ketahanan bisnis terhadap perubahan regulasi dan tuntutan pasar global yang semakin menekankan aspek keberlanjutan.

Lebih lanjut, Bakrie Group aktif berpartisipasi dalam inisiatif global seperti *UN Global Compact* dan *Science Based Targets initiative (SBTi)* untuk memastikan strategi dekarbonisasi korporasi sejalan dengan target Net-Zero Emissions 2060 Indonesia. Perusahaan juga memperluas kolaborasi dengan lembaga keuangan hijau untuk memperoleh pembiayaan berbasis kinerja lingkungan (*green financing*). Inisiatif-inisiatif ini tidak hanya memperkuat posisi Bakrie Group sebagai pelopor transformasi hijau di Indonesia, tetapi juga membuka peluang investasi berkelanjutan yang mendukung pertumbuhan ekonomi rendah karbon di tingkat nasional maupun regional.

Sinergi Akademisi dan Dunia Usaha

Transisi energi bukan hanya urusan teknologi, tetapi juga tentang ekosistem pengetahuan dan kolaborasi lintas sektor. Dunia akademik memiliki peran vital dalam mencetak sumber daya manusia (SDM) unggul, melakukan riset terapan, dan menyusun rekomendasi kebijakan berbasis bukti ilmiah.

A. Kolaborasi Riset Akademisi–Industri

Universitas Bakrie dan institusi pendidikan tinggi lain dapat berperan aktif melalui riset bersama (*joint research*) dengan dunia industri. Bidang potensial mencakup:

- Teknologi *smart grid* dan penyimpanan energi,
- Pemrosesan limbah energi dan biomassa,
- Sistem transportasi rendah karbon, serta
- Kajian kebijakan transisi energi berkeadilan.

Model kemitraan *Triple Helix Collaboration*—yang melibatkan pemerintah, universitas, dan industri—terbukti efektif dalam mempercepat inovasi berkelanjutan (Etzkowit & Leydesdorff, 2021). Melalui mekanisme

ini, hasil riset dapat dihilirisasi menjadi produk dan solusi nyata yang mendukung target nasional NZE 2060.

B. Inkubasi Startup dan Program Magang Energi Bersih

Universitas juga dapat menjadi inkubator bagi *startup energi bersih* dengan menyediakan fasilitas riset, bimbingan teknis, dan jejaring industri. Contoh global seperti *Stanford Energy Innovation Hub* atau *NTU EcoLabs (Singapura)* menunjukkan bagaimana kampus dapat menjadi pusat lahirnya wirausaha energi hijau.

Program magang industri energi bersih di perusahaan seperti VKTR atau Bakrie Renewable Energy juga dapat melatih mahasiswa teknik lingkungan dan teknik elektro dalam konteks nyata industri. Dengan demikian, pendidikan tinggi tidak hanya mencetak lulusan, tetapi juga agen perubahan dalam transformasi energi nasional.

C. Kajian Kebijakan dan Peran Akademisi dalam Advokasi Publik

Selain inovasi teknologi, ilmuwan lingkungan juga berperan dalam penyusunan kajian kebijakan berbasis data ilmiah untuk mendukung kebijakan energi berkeadilan. Misalnya, studi dampak sosial ekonomi penutupan PLTU atau analisis skenario transisi energi daerah.

Data empiris dari lembaga akademik dapat membantu pemerintah dan korporasi merancang kebijakan yang inklusif dan berbasis bukti (*evidence-based policy*). Dalam hal ini, Universitas Bakrie dapat menjadi *policy think-tank* yang menghubungkan antara riset akademik, kebutuhan industri, dan kepentingan masyarakat.

Peran ilmuwan lingkungan juga semakin strategis dalam memastikan bahwa kebijakan transisi energi tidak hanya fokus pada aspek teknis dan ekonomi, tetapi juga memperhatikan dimensi sosial dan keadilan antarwilayah. Melalui pendekatan *Just Energy Transition Framework*, para peneliti dapat memetakan potensi kerentanan masyarakat terdampak, seperti pekerja di sektor batu bara atau komunitas sekitar kawasan industri. Kajian ini penting untuk merumuskan strategi mitigasi sosial, seperti program pelatihan ulang (*reskilling*), penciptaan lapangan kerja hijau, serta insentif ekonomi bagi daerah penghasil energi fosil yang tengah bertransformasi menuju energi terbarukan.

Selain itu, kolaborasi antara akademisi, pemerintah, dan sektor swasta menjadi kunci dalam memperkuat tata kelola transisi energi nasional. Universitas Bakrie, dengan kapasitas riset dan jejaring industrinya, dapat berperan sebagai *knowledge broker* yang menjembatani dialog lintas sektor. Melalui platform seperti *policy forum* atau *green innovation hub*, universitas dapat memfasilitasi pertukaran gagasan, publikasi hasil riset,

serta penyusunan *white paper* strategis untuk mendukung kebijakan energi nasional yang inklusif dan berbasis bukti ilmiah. Pendekatan ini akan memastikan bahwa transformasi energi di Indonesia tidak hanya cepat dan efisien, tetapi juga adil dan berkelanjutan bagi seluruh lapisan masyarakat.

Penutup

Kontribusi ilmu pengetahuan dan teknologi adalah fondasi utama menuju *Indonesia Emas 2045*. Melalui riset inovatif, kolaborasi industri-akademisi, dan penerapan prinsip keberlanjutan, Indonesia dapat mempercepat transisi energi berkeadilan.

Peran korporasi seperti Bakrie Group, yang memimpin dalam inovasi kendaraan listrik dan energi terbarukan, memperlihatkan bahwa dunia usaha nasional mampu menjadi motor perubahan. Sementara universitas dan lembaga riset berfungsi sebagai katalis ilmu pengetahuan dan penggerak generasi muda menuju masa depan energi bersih.

Dengan sinergi yang erat antara sains, bisnis, dan kebijakan publik, cita-cita Indonesia sebagai negara maju, berdaya saing, dan berkelanjutan pada tahun 2045 bukan hanya visi, tetapi keniscayaan.

Fondasi Mencetak Generasi Hijau

Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan elemen kunci dalam setiap fase pembangunan nasional, terlebih dalam menghadapi era transisi energi menuju *Indonesia Emas 2045*. Di tengah kemajuan teknologi dan perubahan iklim global, kualitas manusia Indonesia akan menjadi faktor pembeda antara bangsa yang mampu menguasai perubahan dan bangsa yang tertinggal.

Pemerintah Indonesia melalui *Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025–2045* menempatkan “manusia Indonesia unggul” sebagai pilar pertama dari empat visi utama pembangunan nasional (Bappenas, 2024). SDM unggul didefinisikan bukan hanya sebagai tenaga kerja yang terampil secara teknis, tetapi juga memiliki kesadaran etis, tanggung jawab sosial, dan komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan.

Dalam konteks transisi energi, SDM unggul berperan ganda:

1. Sebagai inovator yang mengembangkan teknologi energi bersih dan efisien.
2. Sebagai penggerak perubahan sosial yang menumbuhkan budaya hemat energi dan ramah lingkungan.

Menurut laporan *International Energy Agency (IEA, 2023)*, peralihan global menuju sistem energi rendah karbon akan menciptakan lebih dari 14 juta pekerjaan baru di sektor energi terbarukan, kendaraan listrik, dan



efisiensi energi pada 2030. Namun, transisi ini juga menuntut penyesuaian besar-besaran pada keterampilan tenaga kerja (*green skills transformation*).

Oleh karena itu, sistem pendidikan nasional harus mampu melahirkan generasi yang tidak hanya menguasai *science, technology, engineering, and mathematics (STEM)*, tetapi juga memiliki pemahaman mendalam tentang etika lingkungan, kebijakan energi, dan keberlanjutan sosial.

Peran Universitas dalam Mencetak SDM Transisi Energi

Perguruan tinggi menjadi pusat pembentukan SDM unggul dan agen transformasi menuju ekonomi hijau. Dalam hal ini, Universitas Bakrie memiliki posisi strategis melalui Program Studi Teknik Lingkungan, yang dapat menjadi katalis perubahan menuju pembangunan rendah karbon.

Ada tiga pendekatan utama yang dapat diterapkan untuk mendukung transformasi ini:

1. Kurikulum berbasis *sustainability*. Kurikulum perlu menekankan topik-topik seperti efisiensi energi, mitigasi perubahan iklim, ekonomi sirkular, pengelolaan limbah industri, dan energi terbarukan. Integrasi *Education for Sustainable Development (ESD)*, sebagaimana direkomendasikan oleh UNESCO (2023), akan membantu mahasiswa memahami keterkaitan antara pembangunan ekonomi dan keberlanjutan ekologi.

2. Pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*). Mahasiswa perlu diberikan pengalaman langsung memecahkan permasalahan nyata di masyarakat dan industri, seperti rancangan sistem biogas, audit energi gedung, atau kajian dampak lingkungan proyek EBT. Metode ini tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis, tetapi juga menumbuhkan *problem-solving mindset* yang kreatif dan adaptif.
3. Pusat riset energi bersih dan kolaborasi lintas sektor. Pembentukan *Clean Energy Research Center* di universitas menjadi langkah penting untuk mempertemukan akademisi, industri, dan pemerintah. Melalui riset bersama, kampus dapat mengembangkan teknologi *renewable energy*, *waste-to-energy*, dan sistem pengelolaan emisi karbon berbasis data ilmiah.

Dengan ketiga pendekatan ini, universitas dapat menjadi pusat keunggulan (*center of excellence*) dalam pengembangan SDM energi hijau yang dibutuhkan Indonesia.

Reformasi Pendidikan Tinggi dan Kolaborasi Industri

Pendidikan tinggi merupakan instrumen strategis untuk memperkuat kapasitas inovasi bangsa. Namun, tantangan terbesar saat ini adalah kesenjangan antara dunia akademik dan dunia industri. Banyak riset di perguruan tinggi yang belum terserap oleh sektor produktif karena keterbatasan fasilitas, pendanaan, dan sistem transfer teknologi.

Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan reformasi pendidikan tinggi berbasis kolaborasi dan relevansi industri. Tiga langkah strategis dapat diambil untuk memastikan sistem pendidikan tinggi selaras dengan kebutuhan era transisi energi.

1. Peningkatan Kualitas Riset Terapan di Bidang Energi dan Lingkungan

Riset terapan berperan sebagai jembatan antara pengetahuan akademik dan implementasi industri. Fokus riset di bidang energi perlu diarahkan pada:

- Teknologi penyimpanan energi (*energy storage*) seperti baterai litium dan sistem hidrogen.
- Efisiensi energi industri melalui teknologi *waste heat recovery*.
- Pemanfaatan biomassa dan biogas lokal untuk desa mandiri energi.
- Kajian kebijakan transisi energi berkeadilan, termasuk dampak sosial ekonomi penghentian PLTU.

BRIN (2023) menegaskan bahwa riset nasional harus mendorong *green innovation ecosystem*, yaitu sistem riset yang terhubung langsung dengan kebutuhan pembangunan dan kebijakan energi berkelanjutan.

2. Memperluas Kemitraan Industri–Akademisi untuk Transfer Teknologi

Kemitraan industri-akademisi menjadi pilar penting dalam menciptakan SDM adaptif dan inovatif. Model *triple helix collaboration*—kolaborasi antara pemerintah, universitas, dan industri—terbukti mampu mempercepat inovasi teknologi di berbagai negara (Etzkowitz & Leydesdorff, 2021).

Dalam konteks nasional, kemitraan ini dapat diwujudkan melalui:

- *Joint research* antara universitas dan perusahaan energi seperti Bakrie Renewable Energy.
- *Co-innovation program*, di mana dosen dan praktisi bersama-sama mengembangkan prototipe teknologi energi bersih.
- *Green internship* yang memberi mahasiswa pengalaman lapangan langsung di industri energi terbarukan atau kendaraan listrik.

Kelompok Usaha Bakrie, melalui *BNBR Integrated Annual Report 2024*, telah menunjukkan dukungan nyata melalui program *green scholarship* bagi mahasiswa berprestasi di bidang energi dan lingkungan, serta *co-lab innovation program* yang mempertemukan peneliti muda dan praktisi industri untuk proyek dekarbonisasi.

3. Pendidikan Vokasional dan Sertifikasi Kompetensi Energi Bersih

Selain pendidikan akademik, pendidikan vokasional memegang peranan penting dalam menyiapkan tenaga kerja siap pakai di sektor energi hijau. Program vokasi berbasis industri (*dual system education*) memungkinkan mahasiswa mendapatkan pengalaman praktis sambil belajar teori di kampus.

Kementerian Ketenagakerjaan (Kemnaker, 2024) mencatat bahwa kebutuhan tenaga kerja tersertifikasi di bidang energi terbarukan akan meningkat hingga 300.000 orang pada 2030. Oleh karena itu, sertifikasi kompetensi seperti *Renewable Energy Technician*, *Solar PV Installer*, dan *Energy Auditor* harus menjadi bagian integral dari kurikulum pendidikan tinggi dan vokasi.

Universitas Bakrie dapat bekerja sama dengan Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) Energi dan EBTKE untuk melaksanakan pelatihan dan uji kompetensi bagi mahasiswa tingkat akhir, sehingga lulusan memiliki daya saing global.

Etika dan Karakter Lingkungan

Pembangunan SDM unggul tidak cukup hanya mengandalkan kemampuan intelektual dan teknis. Aspek karakter dan etika lingkungan merupakan fondasi moral yang menentukan arah pembangunan bangsa.

Dalam konteks transisi energi, nilai-nilai integritas, tanggung jawab sosial, dan kesadaran ekologis menjadi komponen yang tidak terpisahkan.

A. Pendidikan Karakter Hijau (*Green Character Education*)

Konsep *green character education* bertujuan membentuk individu yang sadar bahwa kemajuan ekonomi tidak boleh mengorbankan kelestarian lingkungan. Menurut UNESCO (2023), pendidikan karakter hijau mencakup tiga ranah utama:

1. Kognitif–pemahaman tentang hubungan manusia dan alam, serta dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem.
2. Afektif–menumbuhkan empati dan kepedulian terhadap keberlanjutan.
3. Konatif (tindakan)–mendorong perilaku nyata seperti konservasi energi, pengelolaan sampah, dan gaya hidup rendah karbon.

Mahasiswa teknik lingkungan dan energi perlu dibekali dengan mata kuliah etika profesi, studi keberlanjutan (*sustainability studies*), serta praktik lapangan di proyek sosial-ekologis. Hal ini akan menumbuhkan generasi yang cerdas secara teknis dan matang secara moral.

Penerapan *green character education* di perguruan tinggi juga harus terintegrasi dalam seluruh aspek pembelajaran, mulai dari kurikulum, kegiatan kemahasiswaan, hingga budaya kampus. Kurikulum transdisipliner yang menggabungkan ilmu teknik, ekonomi, dan sosial dapat menumbuhkan kesadaran bahwa solusi keberlanjutan tidak bisa dicapai hanya dari pendekatan teknis semata. Misalnya, proyek *community-based learning* yang melibatkan mahasiswa dalam pengelolaan sampah desa atau energi terbarukan skala komunitas dapat memperkuat empati sosial dan kemampuan kolaboratif. Dengan demikian, pendidikan tidak hanya berorientasi pada pencapaian akademik, tetapi juga pada pembentukan nilai dan tanggung jawab ekologis.

Selain itu, pembudayaan prinsip *living laboratory* di kampus dapat menjadi sarana nyata bagi mahasiswa untuk mempraktikkan perilaku berkelanjutan. Universitas dapat menjadi contoh miniatur kota hijau melalui penerapan efisiensi energi, konservasi air, transportasi rendah emisi, dan pengelolaan limbah terpadu. Mahasiswa yang terlibat langsung dalam sistem ini akan mengalami proses pembelajaran holistic, tidak hanya memahami teori keberlanjutan, tetapi juga menginternalisasi nilai-nilai hijau dalam kehidupan sehari-hari. Dengan cara ini, *green character education* bukan sekadar mata kuliah, melainkan gerakan budaya akademik yang membentuk generasi profesional berintegritas, beretika, dan berorientasi pada masa depan planet yang lestari.

B. Integritas dan Tanggung Jawab Sosial dalam Profesi Teknik

Dalam era industri hijau, insinyur tidak hanya dituntut untuk merancang sistem yang efisien, tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial dan etis dari teknologi yang mereka hasilkan. Prinsip *engineering ethics* menekankan bahwa keselamatan publik, keseimbangan ekologis, dan transparansi harus menjadi prioritas utama dalam setiap keputusan teknis (National Academy of Engineering, 2022).

Oleh karena itu, perguruan tinggi perlu menanamkan nilai integritas sejak dini melalui kegiatan *community service learning* seperti proyek konservasi, edukasi energi bersih di sekolah-sekolah, dan pengabdian masyarakat di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal).

Integrasi etika rekayasa (*engineering ethics*) ke dalam pendidikan teknik lingkungan dan energi tidak hanya membentuk profesional yang kompeten secara teknis, tetapi juga bertanggung jawab secara moral terhadap dampak sosial dan lingkungan dari inovasi mereka. Dalam konteks *industrial decarbonization*, misalnya, insinyur dihadapkan pada dilema antara efisiensi ekonomi dan risiko ekologis. Melalui pendekatan *ethical decision-making framework*, mahasiswa dapat dilatih untuk menilai setiap proyek dari tiga dimensi utama: manfaat sosial, risiko lingkungan, dan keadilan antar generasi. Dengan demikian, lulusan teknik tidak hanya menjadi *problem solver*, tetapi juga *moral leader* yang mampu menavigasi kompleksitas dunia industri hijau.

Selain itu, kolaborasi antara universitas, industri, dan pemerintah dalam program *ethical innovation hub* dapat memperkuat budaya tanggung jawab etis di sektor teknologi. Melalui inkubasi proyek berkelanjutan, mahasiswa dapat mengembangkan solusi nyata seperti teknologi pengolahan limbah rendah emisi atau sistem energi terbarukan komunitas, dengan bimbingan mentor profesional yang memahami standar etika global. Pendekatan ini memastikan bahwa nilai-nilai etis tidak berhenti di ruang kelas, tetapi diwujudkan dalam praktik rekayasa yang menghormati hak manusia, melestarikan lingkungan, dan mendukung pembangunan yang adil serta berkelanjutan.

C. Generasi Emas yang Berkarakter Hijau

Visi *Indonesia Emas 2045* tidak akan tercapai tanpa generasi muda yang berkarakter hijau—generasi yang memahami bahwa kesejahteraan manusia dan kelestarian bumi adalah dua sisi dari satu koin. Generasi ini harus menjadi agen perubahan dalam setiap sektor: akademisi yang mengajarkan keberlanjutan, insinyur yang menciptakan solusi bersih, wirausaha yang membangun bisnis hijau, dan pejabat publik yang membuat kebijakan berorientasi lingkungan.

Pendidikan tinggi harus menjadi ruang pembentukan karakter ini, bukan sekadar tempat memperoleh gelar. Sebagaimana ditegaskan oleh *World Bank Education Strategy 2030* (2024), keberhasilan sistem pendidikan masa depan ditentukan oleh kemampuannya menumbuhkan “*learning for green growth*”—yaitu pembelajaran yang tidak hanya mengajarkan pengetahuan, tetapi juga menginspirasi tanggung jawab terhadap bumi.

Untuk mewujudkan visi tersebut, integrasi prinsip keberlanjutan ke dalam kurikulum pendidikan tinggi menjadi langkah strategis yang tidak dapat ditunda. Pendekatan *Education for Sustainable Development (ESD)* yang dikembangkan UNESCO menekankan pentingnya pembelajaran lintas disiplin yang menggabungkan sains, ekonomi, teknologi, dan nilai-nilai sosial dalam satu kesatuan yang utuh. Di Indonesia, hal ini dapat diimplementasikan melalui proyek *capstone sustainability*, di mana mahasiswa lintas jurusan bekerja bersama menyelesaikan tantangan nyata seperti pengelolaan sampah kampus, efisiensi energi bangunan, atau konservasi air di lingkungan universitas. Melalui pengalaman ini, mahasiswa tidak hanya belajar tentang teori keberlanjutan, tetapi juga mempraktikkannya secara langsung dengan dampak sosial yang terukur.

Lebih jauh, penguatan ekosistem inovasi hijau di lingkungan perguruan tinggi menjadi katalis penting dalam membangun generasi Indonesia Emas yang berkarakter hijau. Inkubator bisnis hijau, *green research grants*, dan kemitraan dengan industri berkelanjutan dapat menjadi wadah bagi mahasiswa untuk mengubah ide menjadi solusi konkret. Dengan dukungan kebijakan nasional seperti *Kampus Merdeka Hijau* atau *Green University Framework*, perguruan tinggi dapat berperan ganda: sebagai pusat pembelajaran dan sebagai laboratorium hidup (*living lab*) bagi transformasi menuju ekonomi rendah karbon. Inilah fondasi sejati menuju Indonesia Emas 2045 yang tidak hanya makmur, tetapi juga lestari.

Penutup

Pembangunan SDM unggul dan ekosistem pendidikan berkualitas merupakan fondasi utama untuk mewujudkan *Indonesia Emas 2045*. Di era transisi energi, manusia menjadi pusat dari perubahan—bukan hanya sebagai pelaksana kebijakan, tetapi sebagai penggagas, inovator, dan penjaga keberlanjutan.

Universitas, termasuk Universitas Bakrie, memiliki tanggung jawab moral dan ilmiah untuk mencetak generasi insinyur, ilmuwan, dan pemimpin yang menguasai teknologi energi bersih sekaligus menjunjung tinggi etika lingkungan. Sinergi antara dunia akademik, industri, dan pemerintah akan mempercepat lahirnya ekosistem pendidikan yang berorientasi keberlanjutan.

Dengan membangun SDM yang berpengetahuan, berkarakter, dan berintegritas, Indonesia tidak hanya siap menghadapi tantangan energi

global, tetapi juga mampu memimpin transformasi menuju masyarakat hijau yang inklusif dan berdaya saing tinggi pada 2045.

Ekosistem Inovasi Hijau Menuju Indonesia Emas

Transisi energi bukan sekadar isu teknis tentang sumber daya atau teknologi, melainkan sebuah agenda peradaban yang menentukan arah masa depan bangsa Indonesia. Di tengah tantangan perubahan iklim global, pertumbuhan penduduk, dan dinamika geopolitik energi, Indonesia dihadapkan pada momentum historis: bagaimana bertransformasi dari negara berbasis sumber daya fosil menuju ekonomi hijau berdaya saing tinggi.

Transisi energi adalah jantung dari masa depan Indonesia, bukan hanya untuk menekan emisi karbon, tetapi untuk menjaga keberlanjutan bumi, memperkuat kedaulatan energi nasional, dan menegakkan martabat bangsa sebagai penjaga alam tropis terbesar di dunia.

Oleh karena itu, keberhasilan transisi energi harus dipandang sebagai proyek kebangsaan yang melibatkan seluruh lapisan masyarakat dari pemerintah pusat hingga desa, dari akademisi hingga pelaku usaha, dari generasi muda hingga komunitas lokal. Diperlukan kolaborasi lintas sektor yang berpijak pada keadilan, kemandirian teknologi, dan kearifan lokal. Dengan menggabungkan inovasi sains modern dan nilai-nilai ekologis Nusantara seperti *Tri Hita Karana* atau *gotong royong energi*, Indonesia dapat memimpin dunia dalam membangun peradaban hijau yang tidak hanya berorientasi pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga keseimbangan antara manusia dan alam.

Pesan untuk Pemimpin Bangsa

Pemimpin nasional, baik di eksekutif, legislatif, akademik, maupun industri memiliki peran strategis dalam memastikan bahwa transisi energi menjadi agenda prioritas jangka panjang. Tantangan utama bukan terletak pada keterbatasan sumber daya, melainkan pada komitmen politik, keberanian moral, dan visi kebangsaan untuk melakukan perubahan mendasar.

Sebagaimana dinyatakan dalam *Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025–2045* (Bappenas, 2024), arah pembangunan Indonesia menempatkan transisi energi sebagai pilar transformasi ekonomi hijau yang berkeadilan. Namun, implementasi di lapangan membutuhkan kepemimpinan yang berorientasi jangka panjang, bukan siklus politik lima tahunan.

Kepemimpinan transformatif dalam konteks transisi energi menuntut kemampuan untuk menyatukan visi lintas sektor dan generasi. Pemimpin

masa depan harus mampu memadukan strategi ekonomi, teknologi, dan lingkungan dalam satu kerangka kebijakan yang berkesinambungan. Hal ini mencakup keberanian untuk mereformasi subsidi energi fosil, mempercepat investasi pada energi baru dan terbarukan (EBT), serta memperkuat riset dan inovasi domestik agar Indonesia tidak hanya menjadi pengguna teknologi hijau, tetapi juga produsen dan eksportirnya.

Selain itu, dibutuhkan *green leadership* kepemimpinan yang berlandaskan nilai keberlanjutan, transparansi, dan keberpihakan pada kepentingan generasi mendatang. Pemimpin dengan karakter hijau tidak hanya berpikir tentang pertumbuhan ekonomi saat ini, tetapi juga tentang daya dukung lingkungan dan kesejahteraan jangka panjang bangsa. Melalui sinergi antara kebijakan publik, inovasi ilmiah, dan partisipasi masyarakat, Indonesia dapat memastikan bahwa transisi energi bukan sekadar wacana, melainkan tonggak menuju kedaulatan dan kemakmuran nasional yang berkelanjutan.

A. Kepastian Regulasi Energi Bersih

Kepastian hukum dan kebijakan merupakan syarat mutlak dalam menarik investasi energi bersih. Hingga 2024, Indonesia telah memiliki beberapa regulasi kunci, seperti:

- *Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022* tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik;
- *Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021* tentang Nilai Ekonomi Karbon; dan
- *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)* yang menargetkan bauran EBT sebesar 31% pada 2050.

Namun, tantangan masih ada dalam hal implementasi. Beberapa proyek pembangkit EBT masih terkendala oleh skema tarif yang tidak menarik, birokrasi perizinan, dan kurangnya konsistensi antar lembaga. Oleh karena itu, pemerintah perlu memastikan regulasi yang stabil, insentif yang jelas, dan transparansi dalam tata kelola energi.

Kepastian regulasi juga perlu diikuti dengan keberanian menghapus subsidi energi fosil secara bertahap, sebagaimana direkomendasikan oleh *International Energy Agency (IEA, 2023)*. Dana subsidi dapat dialihkan untuk mendukung pembangunan infrastruktur energi bersih, terutama di wilayah tertinggal dan kepulauan.

Selain itu, harmonisasi kebijakan antara pemerintah pusat dan daerah menjadi faktor kunci untuk mempercepat realisasi investasi energi bersih. Banyak potensi energi terbarukan di daerah, seperti panas bumi di Sumatera, tenaga surya di Nusa Tenggara, dan mikrohidro di Sulawesi yang belum optimal karena perbedaan interpretasi regulasi dan keterbatasan kapasitas institusional di tingkat daerah. Diperlukan mekanisme koordinasi yang lebih

kuat melalui *one policy framework* yang mengintegrasikan aspek perizinan, pendanaan, dan tata ruang. Dengan demikian, kepastian hukum tidak hanya menjadi instrumen administratif, tetapi juga katalis strategis dalam membangun ekosistem transisi energi yang inklusif, efisien, dan berdaya saing tinggi.

B. Insentif bagi Inovasi dan Industri Energi Bersih

Transformasi menuju ekonomi hijau tidak akan berhasil tanpa inovasi industri. Pemerintah perlu menyediakan insentif fiskal dan non fiskal bagi perusahaan yang mengembangkan teknologi energi baru terbarukan (EBT). Contoh kebijakan yang bisa diadopsi meliputi:

- Pengurangan pajak untuk investasi teknologi energi hijau (*green tax incentives*).
- Kredit karbon domestik bagi perusahaan yang berhasil menurunkan emisi.
- Dukungan fiskal untuk *research and development (R&D)* energi bersih di sektor swasta.

Laporan *World Bank (2024)* menegaskan bahwa setiap 1 dolar AS investasi pada energi bersih menghasilkan nilai ekonomi hingga 3 dolar AS dalam bentuk lapangan kerja baru, peningkatan produktivitas, dan pengurangan biaya kesehatan akibat polusi. Oleh karena itu, transisi energi harus dipandang bukan sebagai beban biaya, tetapi investasi sosial-ekonomi jangka panjang.

Kelompok usaha nasional seperti Bakrie & Brothers (BNBR) telah menunjukkan contoh konkret melalui inovasi kendaraan listrik, riset biomassa, dan penerapan *green retrofitting* di fasilitas industri. Pemerintah dapat memperluas dampak positif ini dengan menciptakan ekosistem insentif yang menumbuhkan lebih banyak “korporasi hijau” di Indonesia.

Selain insentif ekonomi, penting pula bagi pemerintah untuk memperkuat infrastruktur pendukung inovasi hijau melalui pembentukan *Green Industrial Innovation Hubs* di berbagai daerah. Kawasan ini dapat menjadi wadah kolaborasi antara perguruan tinggi, lembaga riset, startup teknologi, dan industri besar untuk mengembangkan solusi energi bersih yang aplikatif dan berdaya saing global. Dengan adanya ekosistem inovasi yang terintegrasi mencakup riset, pendanaan, inkubasi bisnis, hingga sertifikasi produk hijau, Indonesia tidak hanya akan menjadi pasar bagi teknologi luar negeri, tetapi juga sumber inovasi energi berkelanjutan yang mampu menembus rantai pasok global.

C. Dukungan Pendanaan Riset Energi Berkelanjutan

Inovasi teknologi hanya bisa berkembang jika didukung oleh riset ilmiah yang kuat dan berkelanjutan. Menurut *Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN, 2023)*, porsi dana riset Indonesia masih berada di bawah 0,3% dari PDB, jauh tertinggal dibandingkan negara-negara maju seperti Korea Selatan (4,8%) dan Jerman (3,1%).

Oleh karena itu, diperlukan kebijakan *National Clean Energy Fund* yang mendukung:

- Riset energi terbarukan (surya, angin, biomassa, dan panas bumi).
- Pengembangan teknologi *energy storage* dan *hydrogen economy*.
- Studi sosial-ekonomi transisi energi berkeadilan (*Just Energy Transition*).

Universitas, lembaga riset, dan sektor swasta perlu didorong untuk bekerja sama melalui skema pendanaan bersama (*co-funding research grant*). Dengan demikian, ilmu pengetahuan dapat berkontribusi langsung pada transformasi ekonomi hijau nasional.

Selain dukungan pendanaan, penguatan kapasitas sumber daya manusia riset menjadi faktor penentu keberhasilan inovasi energi bersih. Diperlukan peningkatan jumlah peneliti lintas disiplin yang memahami integrasi antara sains material, teknik energi, ekonomi, dan kebijakan lingkungan. Program *joint research* dan *postdoctoral exchange* dengan universitas terkemuka dunia dapat mempercepat alih pengetahuan dan memperluas jaringan kolaborasi global. BRIN bersama Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi juga perlu memperkuat *research to market linkage*, sehingga hasil riset tidak berhenti di laboratorium, tetapi berkembang menjadi inovasi yang dapat diimplementasikan industri dan masyarakat.

Lebih jauh lagi, digitalisasi riset melalui *big data analytics*, *artificial intelligence (AI)*, dan *simulation modeling* dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pengembangan teknologi energi bersih. Misalnya, pemodelan berbasis AI mampu memperkirakan potensi energi surya dan angin di berbagai wilayah secara *real time*, membantu perencanaan investasi yang lebih tepat sasaran. Dengan sinergi antara riset ilmiah, teknologi digital, dan dukungan kebijakan, Indonesia dapat mempercepat lahirnya inovasi energi yang tidak hanya berorientasi pada efisiensi, tetapi juga keberlanjutan jangka panjang.

Inspirasi Global

Transisi energi adalah fenomena global yang menuntut adaptasi cerdas sesuai konteks lokal. Indonesia dapat belajar dari negara-negara yang telah berhasil membangun sistem energi berkelanjutan tanpa mengorbankan pertumbuhan ekonomi.

A. Norwegia: Ketahanan Energi dan Tata Kelola Transparan

Norwegia dikenal sebagai salah satu negara dengan sistem energi paling berkelanjutan di dunia. Lebih dari 98% listrik Norwegia berasal dari energi air (hydropower) (IEA, 2023). Keberhasilan Norwegia tidak semata karena kekayaan sumber daya alam, tetapi karena tata kelola energi yang transparan dan kebijakan jangka panjang yang konsisten.

Norwegia mendirikan *Government Pension Fund Global (GPF)* yang mengelola pendapatan minyak dan gas untuk mendanai masa depan pasca-fosil. Sebagian dari dana tersebut digunakan untuk investasi di sektor energi bersih dan pendidikan teknologi.

Selain aspek pendanaan, keberhasilan Norwegia juga ditopang oleh tata kelola energi yang berbasis pada prinsip *good governance* dan partisipasi publik. Setiap kebijakan energi melewati proses konsultasi yang terbuka, dengan keterlibatan aktif dari akademisi, masyarakat sipil, dan sektor swasta. Transparansi dalam pengelolaan pendapatan minyak dan gas juga dijaga melalui laporan publik tahunan serta mekanisme audit independen. Pendekatan ini menciptakan kepercayaan publik yang tinggi terhadap pemerintah dan memastikan bahwa keuntungan dari sumber daya alam digunakan untuk kepentingan jangka panjang, bukan kepentingan politik jangka pendek.

Indonesia dapat meniru model tata kelola tersebut dengan memperkuat lembaga pengelola dana transisi energi yang akuntabel dan diawasi oleh publik. Pembentukan *Indonesia Sovereign Green Fund* perlu diiringi dengan kerangka regulasi yang jelas, indikator kinerja hijau yang terukur, serta sistem pelaporan yang terbuka kepada masyarakat. Dengan begitu, dana ini tidak hanya menjadi instrumen fiskal, tetapi juga simbol komitmen nasional terhadap pembangunan rendah karbon yang adil dan berkelanjutan. Pendekatan ini akan memperkuat posisi Indonesia dalam mencapai target *net zero emission* dan mewujudkan transformasi menuju ekonomi hijau yang inklusif.

B. Korea Selatan: Green New Deal dan Kolaborasi Industri-Akademisi

Korea Selatan meluncurkan *Korean Green New Deal* pada 2020 sebagai bagian dari strategi pemulihan ekonomi pasca pandemi. Program ini berfokus pada tiga hal:

1. Digitalisasi dan efisiensi energi,
2. Pengembangan kendaraan listrik dan hidrogen, dan
3. Investasi besar dalam riset energi bersih.

Hasilnya, dalam empat tahun pertama implementasi, investasi hijau Korea mencapai lebih dari USD 60 miliar dan menciptakan lebih dari 650.000 lapangan kerja hijau baru (UNDP, 2024). Keberhasilan ini tidak

lepas dari kolaborasi kuat antara pemerintah, industri, dan universitas. Setiap universitas besar di Korea memiliki pusat riset energi yang langsung bekerja sama dengan perusahaan besar seperti Hyundai dan Samsung. Model ini dapat diadaptasi oleh Indonesia, misalnya melalui kemitraan antara Universitas Bakrie, Bakrie Group, dan lembaga riset nasional untuk mengembangkan inovasi kendaraan listrik dan energi biomassa.

C. Prinsip *Just Energy Transition*: Transisi yang Adil dan Inklusif

Inspirasi global juga datang dari konsep *Just Energy Transition* (JET), yang kini menjadi landasan moral dalam transformasi energi dunia. JET menekankan bahwa transisi harus berkeadilan sosial, yaitu tidak meninggalkan pekerja dan masyarakat yang bergantung pada industri fosil.

Indonesia telah memulai langkah ini melalui *Just Energy Transition Partnership* (JETP) yang diluncurkan pada KTT G20 Bali 2022, dengan dukungan dana sebesar USD 20 miliar dari negara-negara mitra (JETP Secretariat Indonesia, 2024). Program ini memprioritaskan penutupan PLTU batu bara secara bertahap, investasi dalam energi terbarukan, dan pelatihan ulang (*reskilling*) tenaga kerja di sektor energi. Implementasi JETP menunjukkan bahwa Indonesia dapat memimpin praktik transisi energi yang adil, inklusif, dan berpihak pada rakyat, bukan hanya sekadar memenuhi target emisi global.

Namun, keberhasilan implementasi *Just Energy Transition Partnership* (JETP) sangat bergantung pada tata kelola yang transparan, keterlibatan pemangku kepentingan lokal, dan kejelasan mekanisme pendanaan. Transisi energi tidak boleh hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga harus memperhatikan dampak sosial dan ekonomi di tingkat daerah. Banyak daerah penghasil batu bara di Indonesia, seperti Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan, sangat bergantung pada industri fosil untuk lapangan kerja dan pendapatan daerah. Oleh karena itu, program JETP perlu memasukkan strategi *economic diversification* yang mendorong pengembangan industri alternatif, seperti manufaktur hijau, ekowisata, atau pertanian berkelanjutan, agar masyarakat setempat tetap memiliki sumber penghidupan yang layak di masa depan.

Selain itu, pelibatan masyarakat sipil dan komunitas lokal menjadi kunci agar proses transisi benar-benar berkeadilan. Pemerintah dan mitra internasional perlu membangun mekanisme konsultasi publik yang terbuka, serta memastikan akses informasi yang setara bagi kelompok rentan, termasuk perempuan dan generasi muda. Pendekatan *bottom-up* ini akan memperkuat legitimasi JETP sekaligus mendorong perubahan perilaku energi di tingkat akar rumput. Jika dijalankan dengan konsisten, JETP dapat menjadi model transisi energi berkeadilan yang tidak hanya mengurangi emisi, tetapi juga menciptakan peluang ekonomi baru dan memperkuat kohesi sosial nasional.

Harapan untuk Indonesia 2045

Memandang ke depan, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemimpin energi bersih di Asia Tenggara. Potensi alam yang melimpah, populasi muda yang dinamis, dan komitmen kebijakan yang semakin kuat menjadi modal utama menuju *Indonesia Emas 2045*.

Visi masa depan dapat dirumuskan dalam beberapa indikator strategis:

1. Energi Bersih sebagai Tulang Punggung Ekonomi Nasional
Pada tahun 2045, setidaknya 70% pasokan energi berasal dari sumber terbarukan seperti surya, angin, biomassa, dan panas bumi. Ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar impor, tetapi juga memperkuat ketahanan energi nasional.
2. Penurunan Emisi Karbon Lebih dari Separuh
Dengan implementasi ekonomi hijau dan teknologi rendah karbon, emisi nasional dapat ditekan hingga di bawah 50% dibandingkan level tahun 2020, sebagaimana target *Enhanced Nationally Determined Contribution (NDC)* (KLHK, 2023).
3. Akses Energi Bersih untuk Semua
Tidak ada lagi desa tanpa listrik. Setiap rumah tangga memiliki akses ke energi terbarukan yang terjangkau, baik melalui panel surya atap, mikrohidro, atau biogas lokal.
4. Industri *Zero Waste* dan Ekonomi Sirkular
Dunia industri beroperasi dengan prinsip efisiensi sumber daya dan nol limbah (*zero waste manufacturing*), di mana limbah dari satu proses menjadi bahan baku bagi proses lain.
5. Kepemimpinan Global Indonesia dalam Diplomasi Iklim
Indonesia dapat tampil sebagai negara pemimpin global dalam diplomasi iklim, mengadvokasi kepentingan negara berkembang dalam forum G20, COP, dan ASEAN Energy Cooperation.

Sebagai ilmuwan lingkungan dan pendidik, saya meyakini bahwa transisi energi adalah jembatan menuju peradaban hijau—peradaban yang menempatkan manusia, teknologi, dan alam dalam harmoni. Setiap langkah menuju energi bersih adalah bentuk pengabdian kepada bumi dan generasi masa depan.

Harapan ini tidak utopis. Ia dapat diwujudkan melalui komitmen kolektif, integritas kebijakan, dan kolaborasi lintas sektor—antara pemerintah yang visioner, dunia usaha yang inovatif, dan akademisi yang berintegritas ilmiah.

Jika bangsa ini mampu menapaki jalan transisi energi dengan cerdas dan berkeadilan, maka pada 2045 Indonesia tidak hanya menjadi negara maju secara ekonomi, tetapi juga menjadi “mercusuar hijau dunia” contoh bagaimana pembangunan dan keberlanjutan dapat berjalan seiring demi kemanusiaan dan bumi yang lestari.

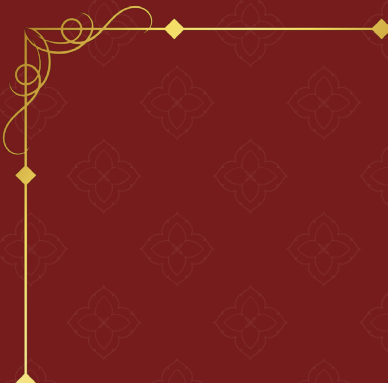
Untuk mencapai visi tersebut, transformasi menuju energi bersih perlu dijalankan sebagai agenda nasional lintas pemerintahan, bukan sekadar program sektoral. Integrasi kebijakan energi, iklim, dan pembangunan daerah menjadi kunci agar transisi berjalan inklusif dan berkelanjutan. Pemerintah perlu memperkuat tata kelola data energi, memastikan kepastian investasi, serta memperluas kemitraan publik-swasta untuk proyek energi bersih berskala besar maupun komunitas. Pendidikan dan literasi energi di sekolah dan universitas juga harus menjadi prioritas, karena keberhasilan transisi energi sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia yang memahami sains, teknologi, dan etika lingkungan.

Lebih dari sekadar transformasi teknologis, transisi energi sejatinya adalah transformasi budaya dan nilai. Ia menuntut perubahan cara pandang dari eksploitasi menuju keberlanjutan, dari konsumsi berlebihan menuju efisiensi, dan dari ketergantungan menuju kemandirian energi. Dengan semangat gotong royong dan keadilan sosial sebagai fondasi, Indonesia memiliki peluang nyata untuk menulis babak baru peradaban hijau dunia. Jika seluruh elemen bangsa bergerak seirama, maka cita-cita Indonesia Emas 2045 bukan hanya menjadi simbol kemajuan ekonomi, tetapi juga tonggak sejarah ketika Indonesia berdiri sebagai bangsa pelopor yang menyalakan harapan hijau bagi dunia.

Daftar Pustaka

- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2023). *Indonesia Emas 2045: Transformasi ekonomi hijau dan pembangunan rendah karbon*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2024). *Rencana pembangunan jangka panjang nasional (RPJPN) 2025–2045*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Bakrie & Brothers Tbk. (BNBR). (2024). *Integrated annual report 2024*. Jakarta: PT Bakrie & Brothers Tbk.
- Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). (2023). *Rencana induk riset nasional 2025–2045*. Jakarta: Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2021). *The triple helix: University–industry–government innovation in action*. London: Routledge.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). *Sustainable bioenergy development: Integrating agriculture, energy, and environment*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Indonesia.go.id. (2025). *Menuju Net Zero Emission 2060*. Diakses 10 Oktober 2025 dari <https://indonesia.go.id>
- Institute for Essential Services Reform (IESR). (2023). *Indonesia energy transition outlook 2023*. Jakarta: IESR.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World energy outlook 2023*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World energy employment report*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Batteries and Secure Energy Transitions*. Paris: IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Clean energy transitions in emerging economies*. Paris: OECD/IEA.
- International Organization for Standardization (ISO). (2020). *ISO 14040: Life cycle assessment—Principles and framework*. Geneva: ISO.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable energy innovation outlook*. Abu Dhabi: IRENA.

- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable energy prospects for Indonesia*. Abu Dhabi: IRENA Publications.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable energy transition in Southeast Asia*. Abu Dhabi: IRENA Publications.
- JETP Secretariat Indonesia. (2024). *Just energy transition partnership: Comprehensive investment and policy plan*. Jakarta: JETP Secretariat Indonesia.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2024). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2024). *Statistik energi baru terbarukan Indonesia 2024*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia (Kemnaker). (2024). *Outlook tenaga kerja hijau Indonesia 2030*. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023). *Enhanced nationally determined contribution (NDC) Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- National Academy of Engineering. (2022). *Ethics and responsibility in engineering practice*. Washington, D.C.: NAE Press.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2023). *Sustainable energy access and rural biogas systems in Indonesia*. Jakarta: UNDP Indonesia.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2024). *Energy transition for sustainable development: Lessons from Asia*. Bangkok: UNDP Regional Bureau for Asia and the Pacific.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2024). *Green skills and workforce transition in Indonesia*. Jakarta: UNDP Indonesia.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Sustainable buildings and climate initiative report*. Geneva: UNEP.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Circular economy and clean energy transitions*. Nairobi: UNEP.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2023). *Education for sustainable development and green skills*. Paris: UNESCO Publishing.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2023). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. Paris: UNESCO Publishing.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2023). *Education for sustainable development report*. Paris: UNESCO Publishing.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2023). *Industrial Energy Efficiency and Decarbonization: Global status report 2023*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- World Bank. (2024). *Education strategy 2030: Learning for green growth*. Washington, D.C.: World Bank Group.
- World Bank. (2024). *Green growth and energy transition report*. Washington, D.C.: World Bank Group.



Jika seluruh elemen bangsa bergerak seirama, maka cita-cita Indonesia Emas 2045 bukan hanya menjadi simbol kemajuan ekonomi, tetapi juga tonggak sejarah ketika Indonesia berdiri sebagai bangsa pelopor yang menyalakan harapan hijau bagi dunia.

