Analisis Skenario Kebijakan dan Dinamika Renewable Energy Certificate (REC) di Indonesia melalui Pendekatan System Dynamics

Program DRI Dosen Muda

Ketua Peneliti: Ir. Dzikri Firmansyah Hakam, S.T., Pg.Dip., M.Sc., Ph.D., CFP®[1]
Anggota Peneliti: Dr. Ir. Retno Gumilang Dewi, M.Env.Eng.Sc[2] · Atika Irawan, S.Mn., M.Sc., Ph.D (c)[1] · Hao Wang, Ph.D[3]
[1] SBM ITB · [2] FTI ITB · [3] Monash University

Latar Belakang & Konteks Penelitian

Indonesia menargetkan penurunan emisi gas rumah kaca 29% pada 2030 (hingga 41% dengan dukungan internasional), sementara batu bara masih menyumbang lebih dari 60% pembangkitan listrik nasional.

Renewable Energy Certificate (REC) diterapkan sejak 2020 dan diperdagangkan melalui ICDX sejak 2024. REC memungkinkan pembeli membuktikan klaim penggunaan listrik terbarukan dan memperkuat kinerja ESG, sekaligus memberi potensi pendapatan tambahan bagi pembangkit energi terbarukan. Potensi permintaan REC di Indonesia diperkirakan mencapai 5 TWh.

Persoalan utama: permintaan, pasokan, harga sertifikat, dan keputusan investasi saling memengaruhi dari waktu ke waktu. Harga dan keuntungan REC mendorong investasi pembangkit, tambahan pembangkitan menambah pasokan sertifikat, lalu pasokan yang lebih besar kembali menekan harga.

Kajian REC di Indonesia masih terbatas dan umumnya berfokus pada proyeksi permintaan. Pengaruh perubahan kebijakan terhadap harga, volume perdagangan, dan ekspansi kapasitas belum banyak dianalisis.

Mengapa ***System Dynamics***: pendekatan ini dipilih untuk menelaah hubungan umpan balik dan jeda waktu dalam pasar REC Indonesia, sehingga dampak kebijakan jangka panjang dapat dibandingkan secara konsisten.

Kata kunci: Renewable Energy Certificate · System Dynamics · Simulasi kebijakan · Pasar energi terbarukan · Indonesia

Tujuan & Kerangka Penelitian

Penelitian ini memiliki dua tujuan utama:

- **Membangun model pasar REC Indonesia** yang menghubungkan kebijakan, permintaan, pasokan, pembentukan harga, dan investasi pembangkitan.
- **Membandingkan skenario kebijakan** untuk menilai bagaimana perubahan permintaan, subsidi, dan reinvestasi keuntungan REC memengaruhi dinamika pasar serta ekspansi kapasitas energi terbarukan.

Kerangka penelitian (Gambar 2, kiri) menghubungkan instrumen kebijakan, dinamika pasar REC, dan investasi energi terbarukan. Faktor sisi permintaan, dukungan fiskal, dan reinvestasi pendapatan REC bersama-sama memengaruhi harga REC, volume perdagangan, dan ekspansi kapasitas.

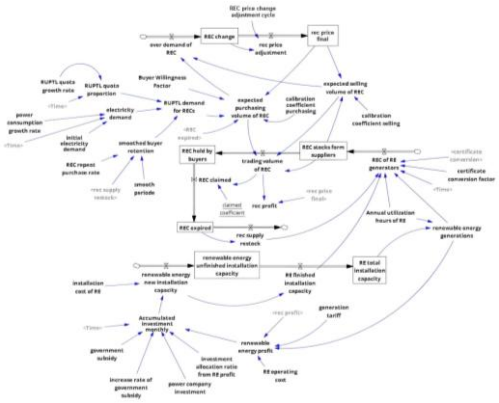
Permintaan REC dibentuk oleh kuota kebijakan dalam RUPTL dan permintaan sukarela korporasi yang berkaitan dengan komitmen ESG serta pelaporan keberlanjutan.

Tahapan pemodelan mengikuti alur *System Dynamics*: analisis faktor, pengembangan model, validasi model, simulasi, dan penilaian alternatif kebijakan.

Metode & Pelaksanaan Penelitian

Model dibangun dengan pendekatan *System Dynamics* menggunakan **Vensim PLE** dengan horizon simulasi **2025–2035** (simulasi bulanan). Data dihimpun dari publikasi ilmiah, basis data energi, laporan industri, dan dokumen kebijakan.

Causal Loop Diagram (CLD) memetakan umpan balik penguat dan penyeimbang. CLD kemudian diterjemahkan menjadi *Stock and Flow Diagram* (SFD) sebagai struktur model kuantitatif (Gambar 1).

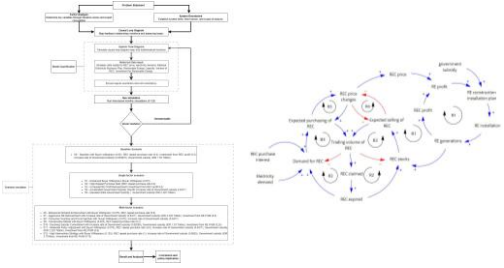


Gambar 1. Stock and Flow Diagram pasar REC di Indonesia. *Struktur model kuantitatif pasar REC yang dikembangkan menggunakan Vensim.*

Desain simulasi:

- **S0:** skenario dasar *business as usual*.
- **S1–S5:** lima skenario satu faktor yang menguji kemauan pembeli, pembelian berulang, reinvestasi keuntungan REC, pertumbuhan subsidi, dan subsidi awal.
- **S6–S12:** tujuh skenario multifaktor untuk menilai kombinasi instrumen kebijakan.

Validasi. FGD direncanakan sebagai bagian dari validasi model, melalui diskusi kelompok terarah dengan perwakilan pemangku kepentingan utama sektor ketenagalistrikan.



Gambar 2. Kiri Kerangka penelitian: *kerangka analisis yang menghubungkan instrumen kebijakan, dinamika pasar REC, dan investasi energi terbarukan.* ***Kanan Causal Loop Diagram (CLD) REC di Indonesia:*** *struktur umpan balik penguat dan penyeimbang dalam pasar REC Indonesia.*

Capaian Pemodelan & Rancangan Evaluasi Skenario

CLD telah memetakan hubungan umpan balik antara permintaan, ketersediaan sertifikat, pembentukan harga, dan ekspansi kapasitas:

- **R1 Ekspansi kapasitas:** keuntungan REC mendorong instalasi pembangkit baru yang menambah penerbitan REC.
- **B1 Kontrol pasar dan inventori:** stok REC yang bertambah menaikkan ekspektasi penjualan dan menahan harga.
- **B2–B3 Mekanisme jual-beli:** volume perdagangan bulanan mengurangi stok dan permintaan periode berikutnya.
- **R2–R3 Siklus sertifikat:** REC yang tidak diklaim hingga akhir tahun kepatuhan kedaluwarsa dan memengaruhi siklus berikutnya.
- **R4–R5 Respons harga:** selisih permintaan dan ekspektasi penjualan menggerakkan harga, keuntungan, investasi, dan minat beli.

SFD menerjemahkan hubungan tersebut ke dalam model kuantitatif pasar REC dengan lima subsistem: permintaan listrik dan kuota REC; perdagangan dan penyesuaian harga REC; klaim dan kedaluwarsa sertifikat; pembangkitan dan investasi instalasi energi terbarukan; serta intervensi kebijakan.

13 skenario (S0–S12)

menjadi cakupan rancangan evaluasi kebijakan.

Indikator evaluasi untuk membandingkan skenario:

- Harga REC
- Volume perdagangan
- Akumulasi keuntungan
- Pertumbuhan kapasitas terpasang energi terbarukan

Keempat indikator merupakan variabel evaluasi dalam rancangan simulasi, bukan hasil simulasi. Hasil perbandingan antarskenario disajikan setelah model tervalidasi.

Luaran & Tindak Lanjut Penelitian

Luaran terdokumentasi:

- Kerangka penelitian
- CLD pasar REC Indonesia
- SFD sebagai model kuantitatif di Vensim PLE
- Rancangan 13 skenario kebijakan (S0–S12)

Perangkat ini memungkinkan alternatif kebijakan, seperti penguatan permintaan, subsidi, dan reinvestasi keuntungan REC, dibandingkan dengan indikator yang sama pada horizon 2025–2035.

Validasi model melalui FGD dengan pemangku kepentingan ketenagalistrikan dan pendalaman perbandingan skenario. Hasilnya menjadi dasar rekomendasi kebijakan dan publikasi ilmiah.