

Model Substitusi Kebutuhan Energi Listrik Dengan PLTS Atap Pada Sektor Rumah Tangga Untuk Transisi Energi: Pendekatan Dinamika Sistem (Studi Kasus: Daerah Istimewa Yogyakarta)

Athalla Abhiyoga¹, Fadli Kasim², Kutut Suryoprato^{3*}

^{1,3} Departemen Teknik Nukir dan Teknik Fisika FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

²athallaabhiyoga@mail.ugm.ac.id

Intisari— Indonesia merencanakan untuk melakukan percepatan transisi energi pada konferensi G20. Dalam transisi energi tersebut prioritas isu yang diangkat adalah meningkatkan energi bersih dan seiring waktu untuk merealisasikan rencana tersebut dilakukan suntik mati PLTU. PLTS adalah pembangkit energi yang bersih karena rendah emisi. Pemerintah DIY dalam dokumen Rencana Umum Energi Daerahnya mendukung dan menarget penggunaan PLTS atap di sektor rumah tangganya. Oleh karena itu dilakukan estimasi potensi substitusi suplai listrik dan emisi dengan PLTS atap di DIY melalui pendekatan dinamika sistem. Pendekatan dinamika sistem dimodelkan melalui *diagram causal loop*, setelah itu, kemudian dikembangkan *diagram stock and flow* menggunakan *software* Vensim. Diagram tersebut terdiri dari persamaan matematika yang menggambarkan setiap variabel yang terlibat dalam sistem. Proses penyusunan skenario digunakan skenario parameter dan skenario struktur dalam model. Substitusi kebutuhan listrik dan emisi pembangkit pada skenario adopsi teknologi PV (*Bass Diffusion*) ditahun 2025 tersubstitusi sebesar 0,046– 0,12 % untuk energi listrik dan 0,044 – 0,11 % emisi berkurang, di tahun 2035 meningkat menjadi 0,42 - 1,13 % listrik tersubstitusi dan 0,4 -1,08 % emisi berkurang. Untuk skenario target RUED di tahun 2025 energi listrik tersubstitusi sebesar 5,1 – 12,8 % dan 4,9 - 12,3 % emisi berkurang, di tahun 2035 menurun menjadi energi listrik tersubstitusi 3,3 – 8,3 % dan 3,19 – 7,9 % emisi berkurang.

Kata kunci— Dinamika Sistem, Transisi Energi, PLTS Atap, Emisi, dan *Bass Diffusion*

Abstract— Indonesia plans to accelerate the energy transition at the G20 conference. In the energy transition, the priority issue raised was to increase clean energy and over time to realize the plan, the coal power plant was shut down. The application of PV is one of the clean energy plants because it is low in emissions. The DIY government in its Regional Energy General Plan document supports and targets the use of rooftop solar power in its household sector. Therefore, we estimate the potential substitution of electricity supply and emissions with PV rooftop in DIY through a system dynamics approach. The system dynamics approach is modeled through a causal loop diagram, after which, the model will be developed into a stock and flow diagram using Vensim software. The diagram will consist of mathematical equations that describe each variable involved in the system. The scenario development process is used to identify parameter scenarios and structure scenarios in the model. Substitution of electricity demand and plant emissions in the PV technology adoption scenario (*Bass Diffusion*) in 2025 substituted 0.046 - 0.12% for electrical energy and 0.044 - 0.11% reduced emissions, in 2035 increased to 0.42 - 1.13% substituted electricity and 0.4 -1.08% reduced emissions. For the RUED target scenario in 2025 substituted electrical energy amounted to 5.1 - 12.8% and 4.9 -12.3% reduced emissions, in 2035 decreased to substituted electrical energy 3.3 - 8.3% and 3.19 - 7.9% reduced emissions.

Keywords— System Dynamics, Energy Transision, Photovoltaic Rooftop, Emission and Bass Diffusion

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia ini PLTU batubara masih menjadi tulang punggung suplai kebutuhan energi listrik. Namun saat ini pemerintah Indonesia sedang gencarnya untuk melakukan transisi energi dari energi fosil menuju ke energi bersih, hal ini ditunjukkan pada saat konferensi G20 ditahun 2022 dimana terjadi kesepakatan internasional antar negara untuk mempercepat transisi energi [1]. Seiring dengan program

transisi energi tersebut pemerintah Indonesia merencanakan untuk menyuntik mati PLTU batubara, dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan batubara dan untuk mengganti dengan listrik EBT [2]. Dalam Peraturan Presiden No.22 Tahun 2017 ditunjukkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk menargetkan listrik EBT ditahun 2025 yang diharapkan mencapai 23 % terhadap total bauran energi primer dan pada tahun 2050 mencapai paling sedikit 31% [3].

Prioritas isu dalam program transisi energi yang dirumuskan pada konferensi G20 adalah salah satunya merancang sistem energi yang rendah emisi [1]. Emisi menjadi suatu masalah dikarenakan dampaknya yang menyebabkan perubahan iklim dan pemanasan global. Kegiatan yang menimbulkan emisi ini adalah penggunaan bahan bakar fosil seperti batubara yang dimana menghasilkan emisi gas rumah kaca terutama gas karbon dioksida [4]. Sebagai gantinya untuk menurunkan emisi dapat digunakan pembangkit yang rendah emisi. Pembangkit energi surya disebut memiliki produksi emisi yang rendah dan di Indonesia menurut rancangan KEN memiliki potensi sebesar 207,89 GW [3].

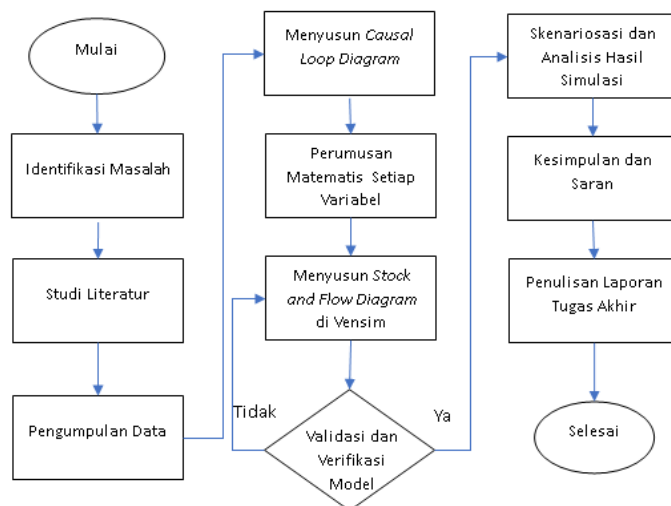
Implementasi PLTS atap menurut Peraturan Menteri ESDM No.49 Tahun 2018 dikatakan mampu untuk mendukung pencapaian target pemanfaatan energi listrik EBT ditahun 2025 hingga 2050 [5]. Contoh pemanfaatan PLTS atap untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga menurut beberapa penelitian dikatakan layak dan mungkin untuk diimplementasikan [6],[7]. Tentu pemanfaatan PLTS atap di sektor rumah tangga ini dapat dikatakan menjadi potensi untuk transisi energi dan pemenuhan target listrik EBT.

Guna mendukung Rencana Energi Nasional pemerintah DIY mengeluarkan peraturan daerah yaitu Rencana Umum Energi Daerah (RUED) dimana dalam salah satu rencana kebijakannya mendukung untuk implementasi PLTS atap di sektor rumah tangga [8]. Target dari rencana tersebut dikatakan sebagian sektor rumah tangga yaitu rumah tangga dengan kategori rumah mewah. Dikatakan juga dalam RUED hampir seluruh kebutuhan listrik di DIY disuplai oleh pembangkit Jawa, Madura, dan Bali (JAMALI) yang merupakan PLTU batubara [8]. Oleh karena itu, dengan implementasi PLTS atap di sektor rumah tangga dapat mensubstitusi atau mengganti suplai listrik non EBT tersebut sebagai bentuk realisasi rencana transisi energi.

Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan estimasi potensi substitusi untuk transisi energi suplai energi listrik di DIY dengan PLTS atap di sektor rumah tangga serta estimasi emisi gas CO₂ apabila dilakukan substitusi. Pengkajian dilakukan dengan analisis model menggunakan pendekatan dinamika sistem berbasis simulasi. Simulasi dilakukan dengan *software* Vensim

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi model melalui pendekatan dinamika sistem. Model dibuat untuk merepresentasikan sistem nyata kedalam suatu persamaan matematis guna meninjau potensi penghematan kebutuhan listrik menggunakan *photovoltaic rooftop*. Berikut gambar diagram alir yang menunjukkan prosedur penelitian.



Gambar 1.1 Tata laksana Penelitian

A. Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini merupakan bagian dari proses pemodelan sistem dinamik. Dalam identifikasi masalah memiliki tujuan, yakni mencari permasalahan yang ada di dunia nyata, yang nantinya menjadi landasan dalam permodelan simulasi sistem dinamik. Permasalahan dinamik ini dapat dinyatakan dengan melihat atau mengobservasi pola-pola perilaku yang kemudian dilakukan metode deduksi berdasarkan informasi kualitatif yang tersedia.

B. Study Literature

Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teori mengenai bagaimana permodelan sistem dinamik, yaitu berkaitan dengan *causal loop diagram* dan *stock and flow diagram* serta penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan *supply and demand* energi melalui pendekatan dinamika sistem. Sumber studi literatur ini diperoleh melalui buku, jurnal dan paper secara online, begitu juga dengan penelitian skripsi sebelumnya yang diperoleh di perpustakaan Universitas Gadjah Mada.

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari tugas akhir ini menggunakan data sekunder dalam rangka dilaksanakannya proses pemodelan, yang nantinya hasil dari pemodelan ini dapat dilakukan validasi dari data historis tersebut. Data yang dikumpulkan tersebut nantinya akan diolah untuk mendapatkan nilai parameter konstanta yang akan digunakan sebagai input simulasi. Data yang dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari data penduduk, data penduduk miskin, rerata rumah tangga, kebutuhan listrik, dan lain-lain seperti yang telah disebutkan pada Tabel 2.1 bahan penelitian.

Tabel 2. 1 Data Penelitian

Data	Tahun	Sumber
Penduduk DIY	2010 - 2022	BPS
Kebutuhan Listrik	2010 - 2021	PLN
Penduduk Miskin	2010 - 2022	BPS
Rerata Anggota Rumah Tangga	2010 - 2019	BPS
Pvout	-	Global Solar Atlas

D. Menyusun Causal Loop Diagram

Pada tahap ini, sistem yang ada di dunia nyata dimodelkan dengan diagram simpal kausal. Diagram simpal kausal ini seperti halnya yang telah dijelaskan pada dasar teori, yakni merepresentasikan hubungan sebab akibat antar variabel. Hubungan antar variabel ini jelaskan dengan polaritas tanda positif (+) dan tanda negatif (-). Dari model *Causal Loop Diagram* (CLD) dibuat berdasarkan variabel yang telah dianalisis untuk mengetahui pola perilaku hubungannya terhadap variabel lain dan bagaimana dapat membentuk suatu umpan balik (feedback).

E. Perumusan Matematis

Tahapan ini adalah langkah penting dalam proses merumuskan dan mendapatkan persamaan matematis serta turunannya untuk setiap diagram yang menggambarkan sistem dunia nyata. Di tahap ini, diagram yang dibuat dalam bentuk Causal Loop Diagram digunakan sebagai acuan untuk merumuskan persamaan matematis berdasarkan data yang telah diolah. Proses ini melibatkan kombinasi variabel-variabel yang dapat berubah, serta berbagai persamaan yang menunjukkan hubungan antara variabel-variabel tersebut, sesuai dengan struktur model yang telah dibuat pada tahap sebelumnya.

F. Menyusun Stock and Flow Diagram

Pada tahap ini, yaitu setelah dilakukan pembuatan diagram simpal kausal dan perumusan matematisnya, dibuatlah diagram stock and flow yang dimana nantinya disimulasikan untuk memperoleh hasil kuantitatif dari penelitian ini yang. Pada diagram stock and flow penelitian ini didasarkan pada CLD yang telah dibuat. Diagram stock and flow seperti yang telah dijelaskan pada dasar teori merupakan diagram yang berkonsep seperti bak mandi, dimana terdapat variabel yang bertindak sebagai stock dan variabel yang bertindak sebagai flow.

G. Validasi Dan Verifikasi

Pada tahap ini verifikasi model sistem dinamis dilakukan untuk mengetahui bahwa model yang telah dibuat tidak menimbulkan error dan model tersebut dapat menggambarkan konseptual sistem secara jelas atau tidak. Verifikasi berdasarkan dasar teori dapat dilakukan pengujian terhadap struktur yakni menggunakan uji dimensi [5].

Validasi model merupakan proses untuk menguji apakah model yang telah dibuat mampu memberikan hasil simulasi yang benar dan sesuai dengan perilaku sistem dunia nyata. Model dapat dianggap berhasil jika output simulasi yang dihasilkan sudah akurat dan sesuai dengan data historis yang telah diuji melalui behavior validity test. Pengujian behavior validity test dilakukan dengan membandingkan rata-rata hasil simulasi dengan data historis menggunakan perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) berdasarkan rumus sebagai berikut [5]:

$$MAPE = \frac{[\bar{S} - \bar{A}]}{\bar{A}}$$

Keterangan:

\bar{S} = rata-rata hasil simulasi

\bar{A} = rata-rata data historis

MAPE < 5% Sangat Tepat

5% < MAPE < 10% Cukup Tepat

MAPE > 30% Tidak Tepat

H. Penyusunan Skenario dan Analisis Hasil

Tahapan ini melibatkan penyusunan skenario untuk mendapatkan output dan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Skenario dilakukan dengan melakukan perubahan pada variabel dalam struktur model atau mengubah nilai parameter dari suatu model yang telah dibangun sebelumnya. Dengan melakukan skenario ini, hasil output yang dihasilkan akan berbeda dari model awal yang telah ada sebelumnya. Tujuan dari skenario ini adalah untuk mencari kondisi dan hasil yang ideal sesuai dengan tujuan penelitian yang ingin dicapai. Skenario dapat dibagi menjadi dua, antara lain sebagai berikut.

1. Skenario Parameter

Skenario parameter ini dapat dilakukan dengan cara mengubah nilai parameter variabel yang ada pada model diagram stock and flow.

2. Skenario Struktur

Skenario ini melibatkan perubahan pada struktur model diagram stock and flow, baik dengan mengubah struktur yang sudah ada maupun menambah struktur baru ke dalam model

Untuk dapat menjalankan model diagram *stock and flow* dan skenario yang diimplementasikan digunakan beberapa asumsi-asumsi yang mendasari dalam menyusun model ini. ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rancang Skenario Parameter

No	Asumsi
1	Kapasitas PV atap untuk tiap rumah tangga diasumsikan sama dengan kapasitas daya listrik yang terpasang di PLN, agar dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangganya [6].

2	Kondisi pasar PV di asumsikan sama dengan kondisi pasar nasional. Untuk besar potensi pasarnya adalah rumah tangga dengan daya listrik 1300 VA ke atas, karena rumah tangga 450 VA dan 900 VA dianggap tidak mampu karena masih disubsidi pemerintah [9].
3	Target kategori rumah tangga mewah diasumsikan dengan daya listrik 2200 VA ke atas dengan persentase 5 % dan konstan pertumbuhannya, yang diestimasi dari daerah lain (Semarang) karena di DIY belum dilakukan pendataan daya listrik tiap rumah tangganya [10]

I. Kesimpulan dan Saran

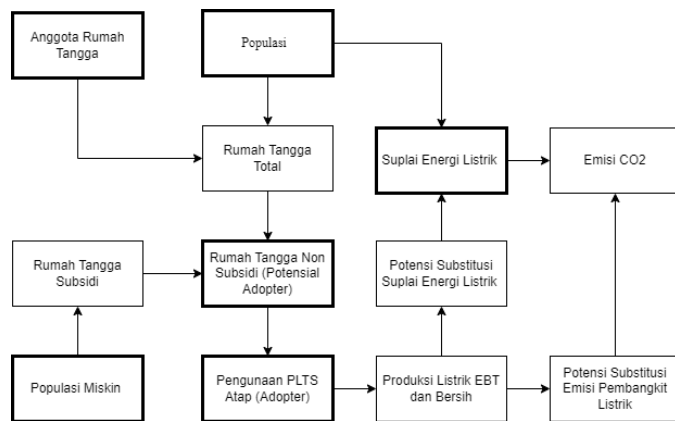
Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Kesimpulan ini bertujuan untuk memastikan apakah hasil penelitian sesuai dan telah menjawab tujuan dari penelitian tersebut. Selain itu, saran-saran juga disampaikan kepada pembaca terkait dengan kemungkinan pengembangan dan perbaikan pada penelitian akhir berikutnya. Hal ini membantu untuk memberikan panduan dan arahan bagi penelitian masa depan dalam upaya untuk meningkatkan kualitas dan relevansi temuan penelitian.

J. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Penulisan laporan tugas akhir atau skripsi ini dilakukan untuk mendokumentasikan penelitian dalam bentuk karya tulis. Dokumentasi laporan ini nantinya juga dapat dijadikan sebagai referensi bagi pembaca untuk melakukan penelitian sejenis atau pengembangan penelitian lebih lanjut.

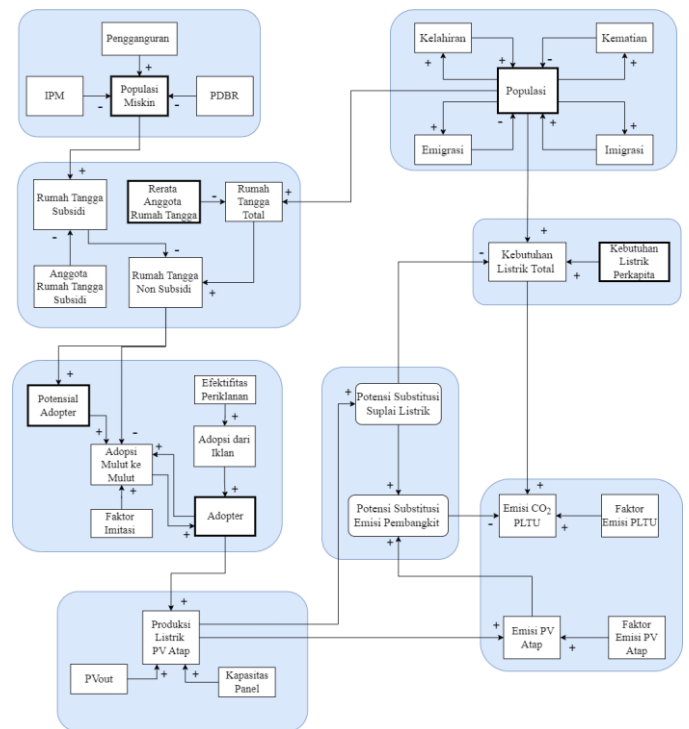
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skema Konseptual dan Causal Loop Diagram



Gambar 3.1 Skema Konseptual

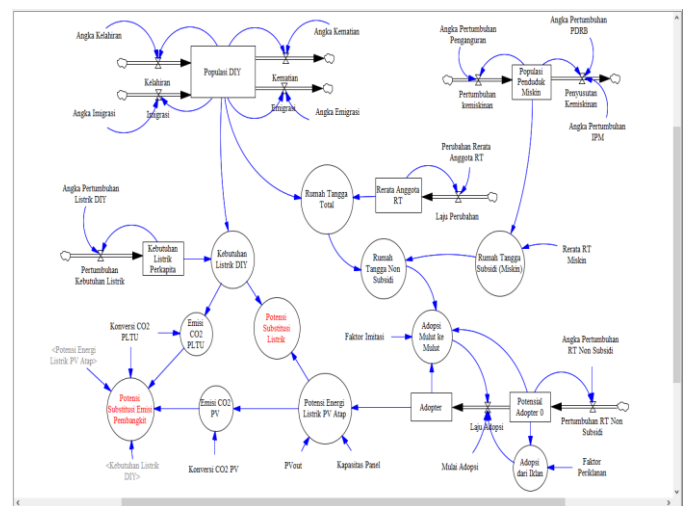
Skema konseptual dari sistem yang akan dimodelkan menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat mencapai tujuan tertentu, yang dimana variabel dan subsistem penyusun sistem saling bekerja sama mempengaruhi satu sama lain. Skema konseptual model sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.2 Diagram Causal Loop

Kemudian dilakukan pembuatan Causal Loop Diagram yang dimana menguraikan hubungan keterkaitan antarvariabel dan proses umpan baliknya. Diagram CLD ini membantu menerjemahkan atau menafsirkan model dalam bentuk hasil kualitatif. Model CLD yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut ini.

B. Stock and Flow Diagram



Gambar 3.3 Diagram Stock and Flow

C. Perumusan Matematis

Pada perumusan matematis digunakan perumusan pada submodel populasi sebagai contoh persamaan di bawah ini.

$$Pp(t_n) = Pp(t_{n-1}) + Pp(t_{n-1})(Ai + Ak) - Pp(t_{n-1})(Ae + Am)$$

Keterangan:

Pp = populasi DIY

Ai = Angka imigrasi

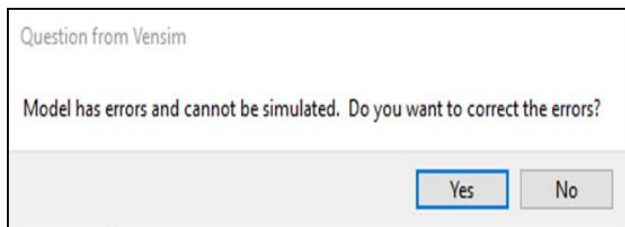
Ak = Angka kelahiran

Ae = Angka emigrasi

Am = Angka kematian

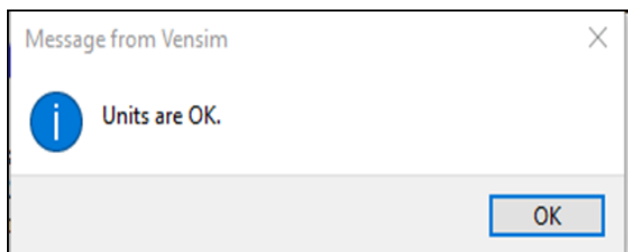
D. Verifikasi Model

Verifikasi adalah suatu proses untuk memastikan bahwa model simulasi telah benar secara konseptual. Proses verifikasi dilakukan dengan menguji Dimensi Konsistensi untuk memeriksa tingkat kesalahan, apakah model sudah dapat dijalankan dengan benar atau masih mengalami kesalahan. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti ketidaksesuaian data, model konseptual, program komputer, atau implementasi program yang tidak tepat, serta dimensi satuan yang tidak konsisten. Dengan melakukan proses verifikasi, kita dapat memastikan bahwa model simulasi telah diuji dan diverifikasi secara menyeluruh, sehingga dapat diandalkan untuk digunakan dalam analisis dan pengambilan keputusan yang akurat. Tampilan kesalahan atau error pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Peringatan Error

Sedangkan apabila dalam simulasi menggunakan Vensim ini sudah tidak memiliki kesalahan dimensinya, maka akan ditampilkan pesan seperti pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Uji dimensi berhasil

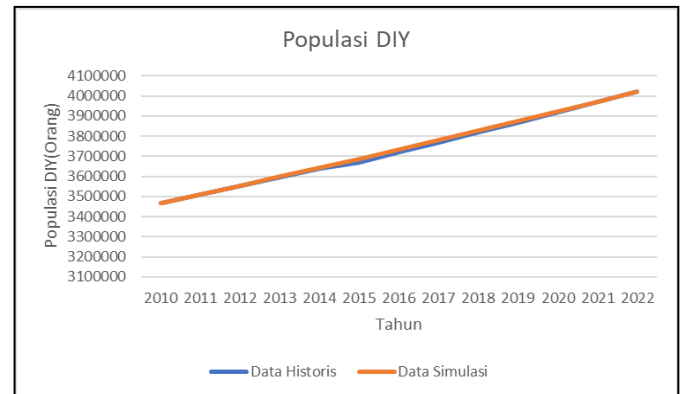
E. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memeriksa apakah keluaran dan perilaku dari model simulasi telah memberikan

representasi yang akurat dari sistem dunia nyata. Proses validasi model melibatkan perbandingan antara data historis dengan hasil data simulasi. Perbandingan antara data historis dan data hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik, dan perhitungan rata-rata Mean Absolute Percentage Error (MAPE) digunakan untuk menilai seberapa akurat hasil simulasi.

1. Penduduk DIY

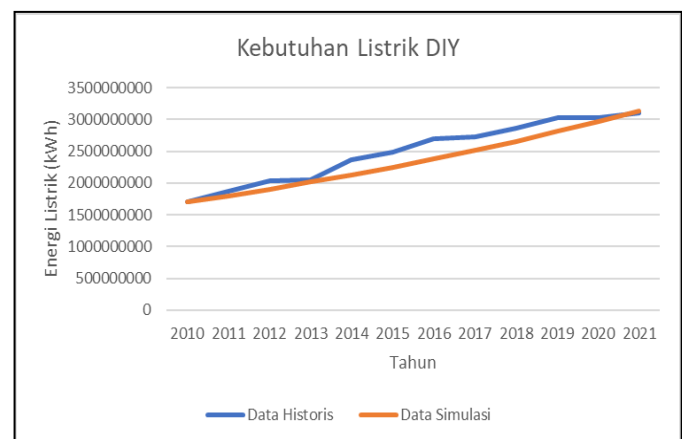
Gambar 3.6 menampilkan perbandingan antara data historis dan data hasil simulasi jumlah penduduk Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Berdasarkan perhitungan, nilai rata-rata Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah 0,15 %. Nilai MAPE yang rendah menunjukkan bahwa model simulasi telah menggambarkan jumlah penduduk DIY dengan tepat dan akurat.



Gambar 3.6 Validasi Populasi DIY

2. Kebutuhan Energi Listrik

Gambar menampilkan perbandingan antara data historis dan data hasil Kebutuhan listrik DIY. Berdasarkan perhitungan, nilai rerata MAPE adalah 5,59%. Nilai MAPE menunjukkan bahwa model simulasi telah menggambarkan kebutuhan listrik penduduk DIY dengan kriteria cukup tepat menurut standar MAPE.

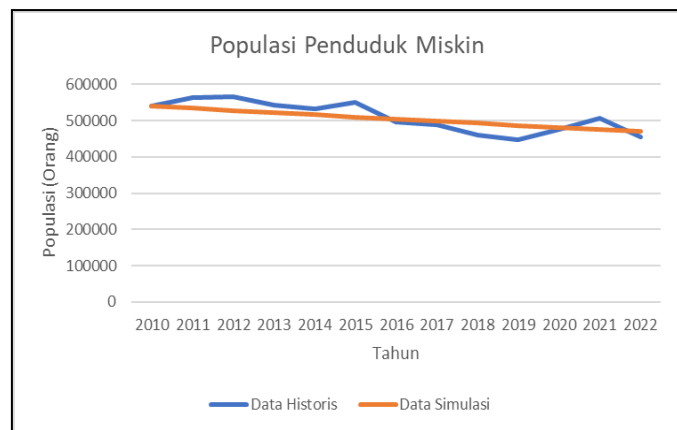


Gambar 3.7 Validasi kebutuhan listrik

3. Penduduk Miskin DIY

Gambar menampilkan perbandingan antara data historis dan data hasil Submodel populasi penduduk miskin. Berdasarkan perhitungan, nilai rerata MAPE adalah 0,93%.

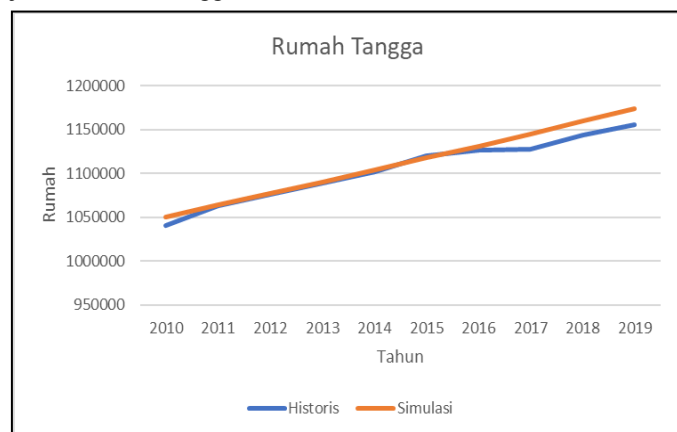
Nilai MAPE menunjukkan bahwa model simulasi telah menggambarkan jumlah penduduk miskin DIY dengan sangat tepat dan akurat.



Gambar 3.8 Validasi penduduk miskin

4. Rumah Tangga

Gambar menampilkan perbandingan antara data historis yang diasumsikan dan data hasil simulasi. Berdasarkan perhitungan, nilai rerata MAPE adalah 0,6%. Nilai MAPE menunjukkan bahwa model simulasi telah menggambarkan jumlah rumah tangga



Gambar 3.9 Validasi Rumah tangga

F. Penyusunan Skenario

Proses skenariosasi dapat dilaksanakan apabila model dasar yang telah dikonstruksi dan telah berhasil melalui tahapan validasi dan verifikasi. Skenario-skenario yang dihasilkan menjadi usulan peningkatan sistem yang selaras dengan tujuan model dinamika sistem, yaitu untuk transisi kebutuhan listrik berbasis energi baru terbarukan (EBT) PV atap berdasarkan pengguna rumah tangga.

Secara teori dalam sistem dinamik skenariosasi pada simulasi terdiri dari dua jenis, yaitu skenario parameter (parameter scenario) dan skenario struktur (structure scenario). Skenario parameter digunakan dengan mengubah nilai parameter suatu variabel yang berpengaruh pada model, sedangkan Skenario struktur digunakan dengan mengubah struktur model melalui penambahan atau pengurangan variabel pada model skenario parameter digunakan dengan

mengubah nilai parameter suatu variabel yang berpengaruh pada model.

1. Skenario Parameter

Berikut merupakan pengembangan rancangan skenario parameter yang diperoleh dari dokumen RUED dan data hasil BPS pada Tabel 3.1 di bawah ini. Data tersebut adalah prediksi dari dokumen RUED untuk pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan kebutuhan listrik perkapita.

Tabel 3. 1 Rancang Skenario Parameter

Parameter	Tahun			Satuan
	2010-2024	2025-2029	2030-2035	
Laju Pertumbuhan Penduduk	1,24	0,85	0,69	%/Tahun
Laju Pertumbuhan Kebutuhan Listrik Perkapita	4,7	6,45	6,12	%/Tahun

2. Skenario Struktur

Skenario struktur digunakan dengan mengubah struktur model melalui penambahan atau pengurangan variabel.

Tabel 3. 2 Rancang Skenario Struktur

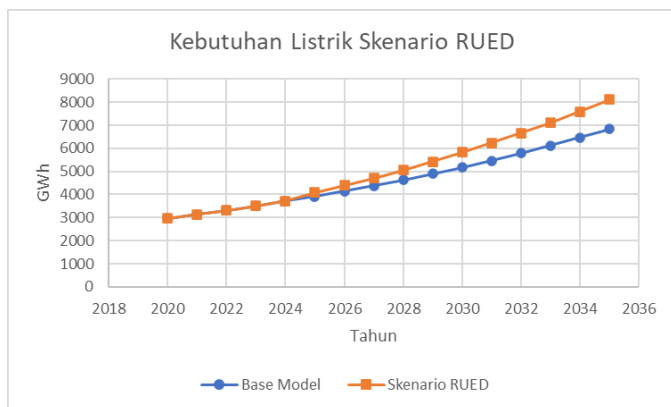
Skenario	Persentase Rumah Tangga	Kapasitas Panel per Rumah
Skenario Adopsi Teknologi PV	Adopsi berdasarkan kondisi pasar (<i>Bass Diffusion</i>)	1300 Wp
		2200 Wp
		3500 Wp
Skenario Target RUED (Rumah Mewah)	5 % [10]	2200 Wp
		3500 Wp
		5500 Wp

Pada diagram *stock and flow* skenario struktur ini ditunjukkan penambahan terkait dengan variabel yang telah dirumuskan pada tabel diatas. Berikut gambar diagram di bawah ini.

G. Analisis Hasil Skenario

1. Skenario Parameter RUED

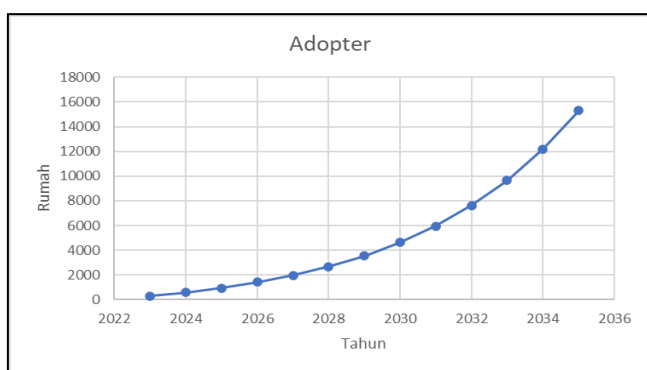
Pada Gambar 5.16 dengan menggunakan skenario atau prediksi dari RUED menghasilkan peningkatan hasil kebutuhan listrik di tahun 2035 kebutuhan dari model dasar 6.836 GWh menjadi 8.118 GWh



Gambar 3.10 Skenario Kebutuhan Listrik Parameter RUED

2. Skenario Adopsi Teknologi PV

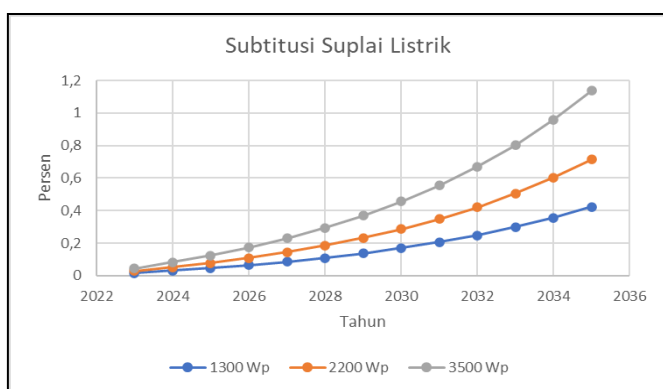
Hasil dari skenario struktur adopsi teknologi PV dengan prediksi model *bass diffusion* dihasilkan jumlah adopter dari tahun 2023 hingga 2035 ditampilkan pada Gambar 3.11.



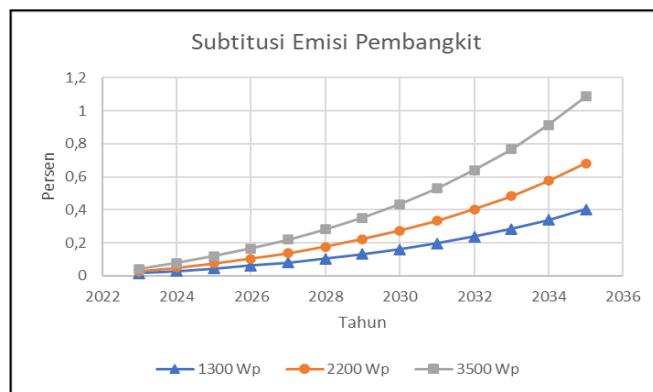
Gambar 3.11 Prediksi Jumlah Adopter

Dari hasil ini diperoleh jumlah adopter tahun 2025 sebanyak 960 adopter, kemudian ditahun 2035 menjadi 15.290 adopter.

Kemudian ditunjukkan dari skenario adopsi teknologi PV ini potensi substitusi kebutuhan listrik dan substitusi emisi pembangkit pada Gambar 3.12 dan 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.12 Potensi Substitusi Listrik



Gambar 3.13 Potensi Substitusi Pembangkit

Dari grafik tersebut dihasilkan persentase substitusinya ditampilkan pada Tabel 3.3 dan 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 3 Tabel Hasil Potensi Substitusi Listrik

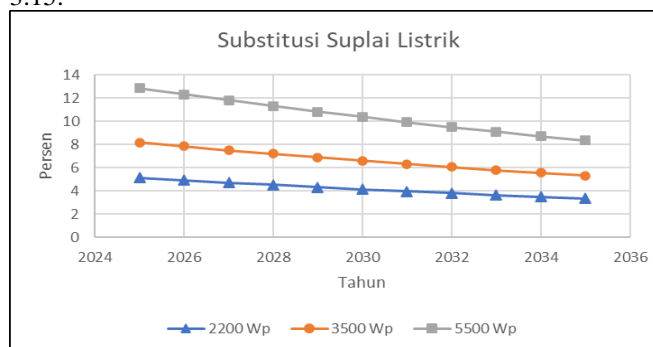
Tahun	1300 Wp	2200 Wp	3500 Wp
2025	0,046 % (1,8 GWh)	0,078% (3,06 GWh)	0,12 % (4,8 GWh)
2035	0,42 % (28 GWh)	0,71% (48 GWh)	1,13% (77 GWh)

Tabel 3. 4 Tabel Hasil Potensi Substitusi Emisi Pembangkit

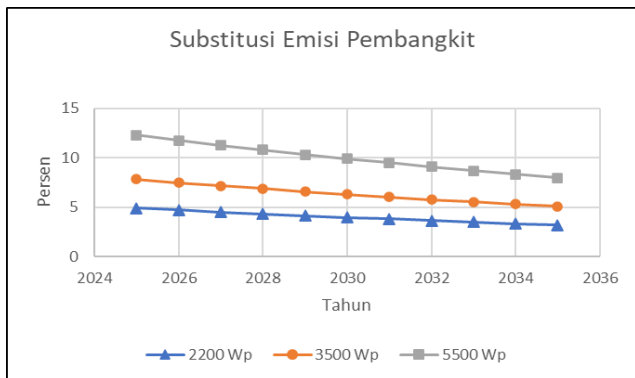
Tahun	1300 Wp	2200 Wp	3500 Wp
2025	0,044 % (1,6 Ribu Ton CO ₂)	0,074% (2,7 Ribu Ton CO ₂)	0,11 % (4,3 Ribu Ton CO ₂)
2035	0,40 % (25 Ribu Ton CO ₂)	0,68% (43 Ribu Ton CO ₂)	1,08% (69 Ribu Ton CO ₂)

3. Skenario Target RUED

Kemudian untuk skenario target RUED dihasilkan grafik seperti di bawah ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan 3.15.



Gambar 3.14 Potensi Substitusi Listrik Target



Gambar 3.14 Potensi Substitusi Listrik Target

Dari grafik tersebut dihasilkan persentase substitusinya ditampilkan pada tabel 3.5 dan 3.6 di bawah ini.

Tabel 3. 5 Tabel Hasil Potensi Substitusi Listrik

Tahun	2200 Wp	3500 Wp	5500 Wp
2025	5,1% (201 GWh)	8,19% (321 GWh)	12,8 % (504 GWh)
2035	3,3 % (228 GWh)	5,3% (363 GWh)	8,3% (571 GWh)

Tabel 3. 5 Tabel Hasil Potensi Substitusi Listrik

Tahun	2200 Wp	3500 Wp	5500 Wp
2025	4,9% (179 Ribu Ton CO ₂)	7,8% (286 Ribu Ton CO ₂)	12,3 % (449 Ribu Ton CO ₂)
2035	3,19% (203 Ribu Ton CO ₂)	5,0% (323 Ribu Ton CO ₂)	7,9% (508 Ribu Ton CO ₂)

IV. KESIMPULAN

1. Model yang dibuat pada penelitian ini terdiri dari delapan subsistem. Model telah melalui proses verifikasi yaitu uji dimensi serta proses validasi dengan hasil nilai MAPE paling tidak berada pada range 5% - 10% (Cukup tepat). Berdasarkan hasil proses verifikasi dan validasi tersebut maka model dapat dikatakan mendekati sistem nyata.
2. Skenario adopsi teknologi PV (*Bass Diffusion*) dapat mensubstitusi suplai listrik ditahun 2025 dengan range 0,046 – 0,12 % (1,8 – 4,8 GWh), potensi ini kemudian akan meningkat ditahun 2035 menjadi 0,42 – 1,13% (28 - 77 GWh). Untuk skenario target RUED diperoleh potensi substitusi suplai listrik ditahun 2025 sebesar 5,1 – 12,8% (201 – 504 GWh) dan akan menurun ditahun 2035 menjadi 3,3 – 8,3 % (228 – 571 GWh).
3. Dengan skenario adopsi teknologi baru emisi CO2 tersebut dapat berkurang ditahun 2025 dengan range 0,044 – 0,11 % (1,6 -4,3 ribu ton). Kemudian potensi ini akan meningkat ditahun 2035 menjadi 0,4 - 1,08 %. (25 - 69 ribu ton CO2). Untuk skenario target RUED diperoleh potensinya dapat mengurangi emisi CO2 ditahun 2025 dengan range 4,9 -12,3 % (179 - 449 ribu ton CO2).

Kemudian ditahun 2035 menurun menjadi 3,19 – 7,9 % (203 -508 ribu ton CO₂)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rezeki, rahmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada bapak Ir. Fadli Kasim, S.T., M.Sc., dan bapak Ir. Kutut Suryoprato, M.T., M.Sc. yang telah membimbing penulis dalam mengerjakan penelitian ini, serta teman-teman dan seluruh pihak yang telah mendukung berjalannya tugas akhir ini.

REFERENSI

- [1] “Menteri Energi G20 Harapkan Percepatan Transisi Energi Jadi Komitmen Bersama Dalam KTT,” Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <https://migas.esdm.go.id/post/read/menteri-energi-g20-harapkan-percepatan-transisi-energi-jadi-komitmen-bersama-dalam-ktt>
- [2] F. D. Muliawati, “Suntik Mati PLTU Batu Bara Pakai APBN, Menteri Buka Suara,” Oct. 20, 2023.
- [3] “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional.” Mar. 02, 2017.
- [4] R. F. S. Budi, “PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO2 PLTU BATUBARA DAN PLTN,” vol. 15, no. 1, 2013.
- [5] “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen Pt Perusahaan Listrik Negara (Persero).” Nov. 15, 2018.
- [6] H. B. Nurjaman and T. Purnama, “Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [7] J. A. Rosas-Flores, E. Zenón-Olvera, and D. M. Gálvez, “Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic systems using geographical information system,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 116, p. 109412, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109412.
- [8] “Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 6 Tahun 2020 Tentang Rencana Umum Energi Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2020 – 2050.” Aug. 03, 2020.
- [9] M. M. Hamonangan and N. Hariyanto, “Prediction of Rooftop Photovoltaic Adopters in Residential Customer,” in *2020 IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, Indonesia: IEEE, Dec. 2020, pp. 182–188. doi: 10.1109/ICSECC51444.2020.9557364.
- [10] “Jumlah Pelanggan PLN Menurut Daya Terpasang (Watt) di Kabupaten Semarang 2020-2022,” BPS. [Online]. Available: <https://semarangkab.bps.go.id/indicator/7/392/1/jumlah-pelanggan-pln-menurut-daya-terpasang-watt-di-kabupaten-semarang.html>