

## Analisis Perancangan Model Kebijakan Dalam Mengurangi Emisi Karbon Sektor Energi Di Indonesia Dengan Pendekatan Sistem Dinamis

Rahsyakbar Muhammad Amin<sup>1</sup>, Dwi Sukma Donoriyanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Alamat: Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya

Korespondensi penulis: [rahsyakbarma@gmail.com](mailto:rahsyakbarma@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstract.** *In 2022, Indonesia will host the G20 Summit with one of the goals agreed upon by G20 members is to reduce carbon emissions produced by each G20 country. Therefore, a model design was made to consider the most optimal policy to overcome this. The research uses a dynamic system model, with the process of identifying and defining problems, system conceptualization, model formulation, model simulation, verification and validation of policy analysis models, and policy implementation. The most optimum result is the imposition of a tax per carbon emission on producing sources with an effectiveness of 20%.*

**Keywords:** *Carbon Emissions, Dynamic Systems, Policy analysis.*

**Abstrak.** Tahun 2022, Indonesia menjadi tuan rumah KTT G20 dengan salah satu tujuan yang disetujui oleh anggota G20 adalah menurunkan emisi karbon yang dihasilkan tiap negara G20. Maka dari itu, dibuatlah perancangan model untuk mempertimbangkan kebijakan yang paling optimum untuk mengatasi hal tersebut. Penelitian menggunakan model sistem dinamis, dengan proses identifikasi dan definisi masalah, konseptualisasi sistem, formulasi model, simulasi model, verifikasi dan validasi model analisis kebijakan, dan implementasi kebijakan. Hasil yang paling optimum adalah pengenaan pajak per emisi karbon pada sumber yang menghasilkan dengan efektivitas 20%.

**Kata kunci:** Analisa kebijakan, Emisi Karbon, Sistem Dinamis.

### LATAR BELAKANG

Tahun 2022, Indonesia untuk pertama kalinya menjadi tuan rumah penyelenggaraan Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) G20. Salah satu agenda utama yang perlu dikedepankan oleh Indonesia adalah mempromosikan ekonomi hijau dan energi terbarukan. Aspek baik untuk akselerasi pemulihan ekonomi di dalam negeri maupun penguatan atas posisi geoekonomi Indonesia di pentas global.

Cadangan energi fosil Indonesia seperti minyak bumi Indonesia akan habis sekitar sembilan tahun lagi, dengan asumsi tidak ada penemuan cadangan baru. Gas bumi diperkirakan akan habis dalam 22 tahun dengan cadangan yang ada saat ini sebesar 77,3

triliun kaki kubik. Cadangan batu bara sebesar 37,6 triliun miliar ton akan habis dalam tempo 65 tahun. Sementara, akselerasi kerusakan alam akibat eksploitasi secara masif seperti saat ini terus mengancam generasi mendatang yang kemudian semakin menjadi perhatian global dan masyarakat Indonesia. Sementara itu, Indonesia juga memiliki potensi yang besar menjadi negara powerhouse green economy dan green energy, yang telah ditetapkan dalam beberapa arah kebijakan nasional.

Pemerintah telah merancang target untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sekitar 29 persen dari emisi business as usual (BAU) pada 2030. Indonesia juga memiliki target energi baru terbarukan (EBT) 23 persen pada 2025 dalam bauran energi.

Selanjutnya, Indonesia perlu mengomunikasikan kepada dunia bahwa tentu saja semua arah kebijakan ini memerlukan proses yang konsisten. Pencapaian tidak dapat dilakukan dalam sekejap atau serta merta, namun dibutuhkan upaya yang gigih dan persisten, sekaligus adaptif terhadap keadaan sosial ekonomi yang ada. Namun demikian, harga dan teknologi energi fosil dunia saat ini lebih kompetitif, murah, dan tersedia melimpah sebagai sumber daya alam. Pada 2017, misalnya, kapasitas pembangkit tenaga listrik energi fosil Indonesia masih sebesar 85 persen, utamanya batu bara. Pada 2025 energi primer kelistrikan diproyeksikan sebesar 102,6 MTOE, porsi terbesar batu bara 59 persen, disusul EBT 27 persen dan gas 14,1 persen, meskipun pada tahun 2050 porsi batu bara diproyeksikan berkurang menjadi 52 persen.

Indonesia juga harus mendorong agar masyarakat mau bekerja sama secara sistematis dan berkelanjutan untuk meningkatkan teknologi penggunaan dan pemanfaatan energi primer yang efisien, bersih, dan terjangkau. Dari sisi kelistrikan dan penggunaan batu bara, dibutuhkan sinkronisasi dan reorientasi target bauran energi kelistrikan di Indonesia. Hal tersebut terkait dengan rencana bauran energi kelistrikan Indonesia pada rencana umum ketenagalistrikan nasional (RUKN) dan target dinamis bauran listrik rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL).

Pemerintah juga perlu memberi kepastian peraturan terkait energi terbarukan. Perubahan peraturan, konon, akan membuat pelaku industri energi terbarukan kesulitan membuat proyeksi jangka panjang, terutama terkait masalah harga kepemilikan dan skema penanggungan risiko keadaan luar biasa (*force majeure*).

Karena kepastian regulasi yang jelas adalah kebutuhan mendesak dalam rencana strategis jangka panjang, maka dibutuhkan perencanaan yang matang dan mempertimbangkan seluruh aspek dari tujuan tersebut dengan menggunakan metode sistem dinamis.

Dalam penelitian ini penulis memilih metode simulasi sistem dinamis untuk menganalisis usulan kebijakan menuju karbon netral. Metode ini dipilih karena dianggap lebih cocok karena dapat memberikan perkiraan yang lebih baik dalam jangka pendek, menengah, maupun jangka panjang. Metode sistem dinamis memiliki penggambaran yang baik sebagai alat untuk menjawab variabel yang mempengaruhi suatu sistem permasalahan (Kurniawan, 2018). Metode sistem dinamis mampu menganalisis perilaku perubahan dalam suatu sistem yang selanjutnya bisa digunakan untuk menganalisis kebijakan yang berkelanjutan.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan Pemerintah Indonesia mendapat gambaran tentang usulan kebijakan yang dapat dilakukan untuk menuju karbon netral.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **Emisi Karbon**

Emisi karbon merujuk pada jumlah gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dilepaskan ke atmosfer oleh kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri, transportasi, dan deforestasi. Emisi karbon menyebabkan efek rumah kaca, yang menyebabkan peningkatan suhu global dan perubahan iklim yang merugikan. Emisi Karbon didefinisikan sebagai pelepasan gas yang mengandung karbon ke lapisan atmosfer yang melindungi bumi. Emisi karbon yang berupa gas ialah salah satu pencemaran udara dari aktivitas manusia, yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Pelepasan gas ini terjadi karena adanya proses pembakaran terhadap karbon, baik dalam bentuk tunggal maupun senyawa. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012) Gas-gas ini dapat berbentuk CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs dan sebagainya. Emisi karbon terus meningkat dari waktu ke waktu, baik pada tingkat global, regional, nasional pada suatu negara, maupun lokal dalam suatu kawasan. Martinez (dalam Suhardi, 2015) menyatakan emisi karbon ataupun gas rumah kaca (greenhouse gas) berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi dua yaitu, gas rumah kaca alami dan gas rumah kaca industry. Gas rumah kaca alami merupakan bagian dari siklus alam yang dapat dengan

mudah dinetralsir oleh tumbuhan dan lautan. Gas rumah kaca alami menguntungkan bagi makhluk hidup karena dapat menjaga temperatur bumi tetap hangat di kisaran 6°C, sedangkan gas rumah kaca industri, berasal dari kegiatan industri yang dilakukan oleh manusia

### **Sistem Dinamis**

He dan Li (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa teori sistem dinamis (SD) didirikan oleh Jay W. Forrester di Massachusetts Institute of Technology yang merupakan sintesis dari ilmu sistem dan simulasi komputer. Ini adalah model yang didasarkan pada kausal nyata hubungan dan metode menekankan pemodelan dari berbagai perspektif sistem, integrasi, koneksi, perkembangan dan dinamika. Menurut Sapiri et al. (2017) sistem yang kompleks di dunia nyata terdiri dari elemen-elemen yang saling berhubungan dengan tingkat umpan balik (feedback) antara elemen-elemen sistem yang lain. Perilaku sistem yang kompleks biasanya timbul dari interaksi antara komponen-komponen sistem. Menurut Khotimah (2015) sistem dinamik adalah cara yang digunakan untuk memahami suatu masalah yang kompleks. metode ini berfokus pada perumusan strategi dan bagaimana strategi menentukan perikalu masalah yang dapat dimodelkan dengan sistem secara dinamis. Sistem dinamis adalah metode yang digunakan untuk mengabstraksikan suatu peristiwa di dunia nyata menjadi model yang eksplisit. Sistem dinamis dapat diterapkan pada berbagai macam masalah induk seperti strategi dan perencanaan perusahaan, kebijakan manajemen publik, kebijakan pengembangan proses bisnis, biologis dan medis, energi dan lingkungan, pengembangan teori dalam ilmu alam dan sosial, pengambilan keputusan yang dinamis, dan manajemen rantai pasok.

Tahapan dalam pendekatan sistem dinamik adalah :

1. Identifikasi dan definisi masalah
2. Konseptualisasi sistem
3. Formulasi model
4. Simulasi model
5. Verifikasi dan validasi model
6. Analisis kebijakan
7. Implementasi kebijakan

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Indonesia. Waktu penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2022 sampai data yang dibutuhkan mencukupi. Variabel terikat adalah volume total emisi karbon sektor energi, yang dipengaruhi oleh variabel lain yang banyak digunakan dengan menggunakan model sistem dinamis.

### Paired T-Test and CI: Aktual; Simulasi

#### Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Aktual	5	537258	47283	21146
Simulasi	5	472017	14317	6403

#### Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
65240	59464	26593	(-8594; 139075)

$\mu_{\text{difference}}$ : mean of (Aktual - Simulasi)

#### Test

Null hypothesis  $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$   
Alternative hypothesis  $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
2,45	0,070

### Gambar 1 Validasi Model

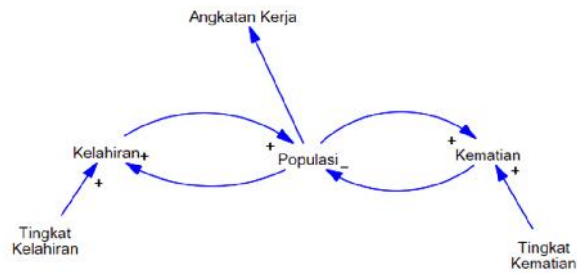
Dari Hasil validasi model menggunakan Excel sebagai uji statistiknya, dapat dilihat pada gambar validasi data yang diproses adalah simulasi volume total emisi karbon dengan nilai  $P = 0,070$  artinya jika  $P$  value  $(0,05)$  maka  $H_0$  diterima, yang artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara output nyata dan output hasil simulasi. Model dapat dinyatakan valid.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Causal Loop Diagram*

Pembuatan model kausal bertujuan untuk memahami hubungan sebab akibat antara variabel-variabel sistem yang sebelumnya telah diidentifikasi. Dalam hal ini, variabel bebas dan variabel terikat merupakan variabel yang berhubungan dan saling berkaitan dengan keadaan sebenarnya. Hubungan tersebut bisa bersifat positif (+) yang artinya, perubahan yang disebabkan oleh suatu variabel akan mengubah variabel lain secara searah, dan bisa bersifat negatif (-) yang artinya, perubahan yang disebabkan oleh suatu variabel akan mengubah variabel lainnya ke arah yang berlawanan dari tanda tersebut.

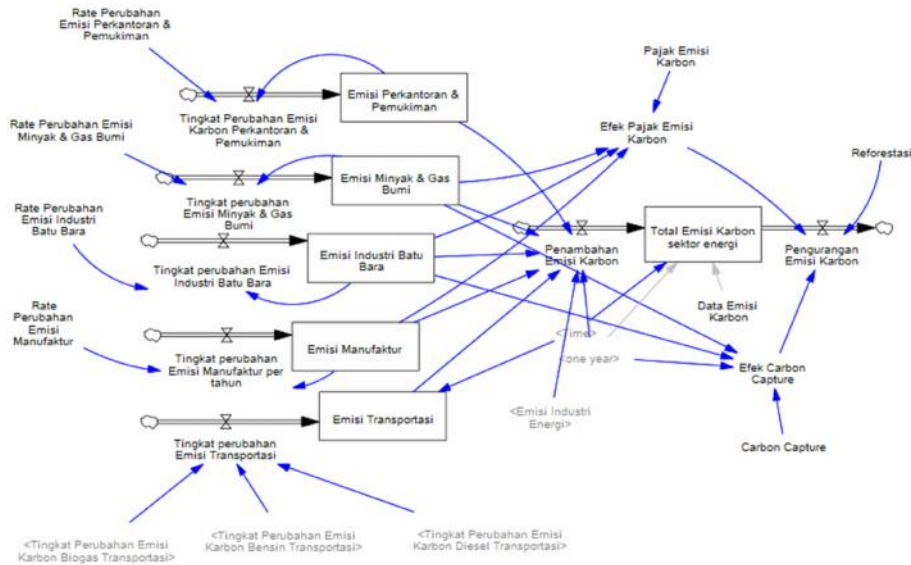




**Gambar 5 Causal Loop Diagram Populasi**

**Model Diagram Alir (Stock Flow Diagram)**

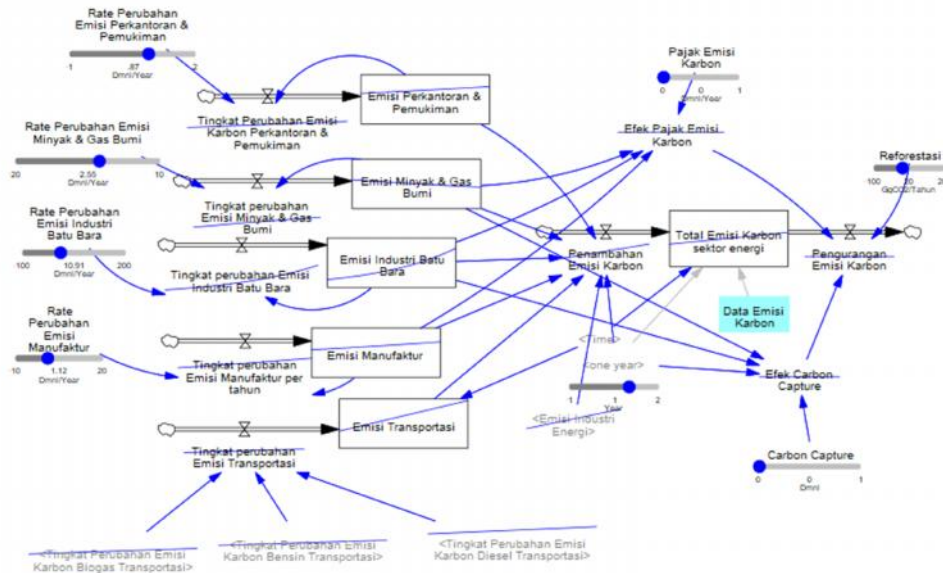
Setelah diagram sebab akibat (*causal loop diagram*) tersusun maka dilakukan pembuatan diagram alir (*stock flow diagram*) dimana diagram alir (*stock flow diagram*) menggambarkan sistem lebih detail dan kompleks karena terdapat pengaruh tiap keterkaitan antar variabel, sehingga ada variabel yang menunjukkan hasil akumulasi dalam sistem yang disebut level, serta terdapat variabel yang mempengaruhi level dan merupakan aktivitas sistem yang disebut *rate*. Pada diagram alir (*stock flow diagram*) ini digambarkan pemodelan sistem untuk mengetahui seberapa besar perubahan emisi karbon sebelum dan sesudah perubahan kebijakan dilaksanakan. Berikut ini merupakan diagram alir (*stock flow diagram*) dari pembuatan model tersebut:



**Gambar 6 Stock Flow Diagram Utama**

## Simulasi Model

Setelah pembuatan *stock flow diagram* dan memasukkan formulasi matematis maka model dapat disimulasikan. Simulasi model dibangun dengan menggunakan *software* VENSIM. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perilaku dari sistem yang telah dibuat. Simulasi ini dilakukan dengan memasukkan nilai matematis pada variabel yang telah disesuaikan dengan sistem nyata. Nilai matematis yang dijadikan input merupakan data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Pada tahun awal akan dimulainya simulasi perlu didefinisikan terlebih dahulu satuan waktu yang digunakan selama simulasi, pada simulasi ini menggunakan satuan waktu tahun (*year*) yakni dimulai tahun 2007 hingga tahun 2030.



Gambar 7 Simulasi *software* Vensim

## Analisis Skenario Kebijakan

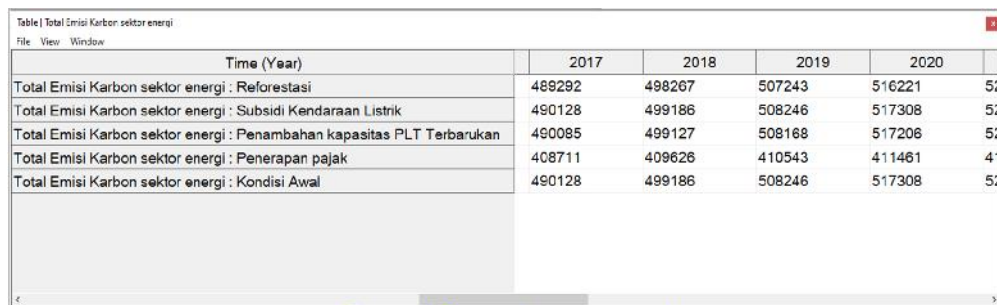
Setelah di dapatkan hasil simulasi dan dilakukan verifikasi serta validasi maka dilanjutkan dengan penyusunan desain skenario kebijakan. Penyusunan skenario kebijakan terhadap sistem pemodelan emisi karbon sektor energi ini dilakukan dengan harapan memberikan perbaikan dan usulan seperti pada tujuan dari penelitian ini yaitu adalah memberikan studi kelayakan untuk mendukung para pengambil keputusan dalam menganalisis emisi karbon sehingga dapat memprediksikan tingkat peningkatan emisi karbon dari sektor energi di Indonesia. Penyusunan skenario kebijakan ini dilakukan dengan cara mengubah nilai pada variabel yang berpengaruh terhadap efektivitas sistem.



Skenario yang disimulasikan:

- 1) Kondisi belum berubah
- 2) Pengenaan pajak pada emisi karbon
- 3) Meningkatkan kapasitas EBT
- 4) Subsidi mobil Listrik
- 5) Penanaman pohon kembali

### Hasil Simulasi



Time (Year)	2017	2018	2019	2020	
Total Emisi Karbon sektor energi : Reforestasi	489292	498267	507243	516221	52
Total Emisi Karbon sektor energi : Subsidi Kendaraan Listrik	490128	499186	508246	517308	52
Total Emisi Karbon sektor energi : Penambahan kapasitas PLT Terbarukan	490085	499127	508168	517206	52
Total Emisi Karbon sektor energi : Penerapan pajak	408711	409626	410543	411461	41
Total Emisi Karbon sektor energi : Kondisi Awal	490128	499186	508246	517308	52

**Gambar 8 Hasil Simulasi Pada Tahun 2017-2020**

Untuk hasil simulasi skenario 1 dapat dilihat pada grafik dan tabel hasil simulasi jika sebelum terjadi perubahan kebijakan tahun 2017 mencapai 490128 GgCO<sub>2</sub> terus melonjak hingga 535437 GgCO<sub>2</sub> pada tahun 2022. Tingkat emisi karbon terus naik sehingga harus dilakukan perubahan kebijakan.

Untuk hasil simulasi skenario 2 dapat dilihat pada grafik dan tabel hasil simulasi jika terjadi perubahan pada tahun 2017 mencapai 408711 GgCO<sub>2</sub> hingga 413302 GgCO<sub>2</sub> pada tahun 2022. Tingkat emisi karbon lebih rendah secara signifikan hingga 20% dari sebelum kebijakan diubah.

Untuk hasil simulasi skenario 2 hingga skenario 5 dapat dilihat pada grafik dan tabel hasil simulasi jika perubahan pada tahun 2017 hingga tahun 2022 tidak terlalu signifikan terhadap skenario 1 atau kondisi awal.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil rancangan model simulasi didapat bahwa hanya skenario penerapan pajak pada emisi karbon yang memberi dampak yang signifikan kepada volume total emisi karbon, skenario tersebut berdampak langsung terhadap emisi karbon yang dihasilkan tiap sub-sektor sehingga setiap kenaikan emisi dari tiap sub sektor, pajak emisi karbon yang dikenakan akan lebih besar. Hal ini membuat sub-sektor yang terkena pajak lebih memerhatikan keluaran emisi karbon yang dihasilkan.

Skenario meningkatkan pembangkit listrik terbarukan tidak memberikan dampak yang signifikan, hal ini karena tidak dibarengi dengan pengurangan penggunaan zat yang menghasilkan emisi karbon pada PLT non terbarukan seperti batu bara dan gas alam. Skenario 4 juga tidak memberikan dampak yang signifikan, karena subsidi kendaraan listrik hanya memindahkan emisi karbon dari menggunakan BBM ke penggunaan listrik. Seperti yang diketahui, pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan bahan bakar non-terbarukan, sehingga tetap menghasilkan emisi karbon. Skenario 5 mengurangi emisi karbon secara keseluruhan, namun efeknya baru terasa dalam jangka panjang. Maka dari itu, disarankan untuk memilih skenario 2.

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah model simulasi ini masih dapat dikembangkan dan diberikan beberapa skenario kebijakan lainnya yang lebih baik dan kompleks

**DAFTAR REFERENSI**

- Aryanto, N., Jaya, A., & Hudaya, C. (2020). *Pemodelan Energi Baru Terbarukan (Ebt) Melalui Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten Sumbawa 2017-2027*.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2018). *System Dynamics: Modelling and Simulation*. Springer. ala, Bilash Kanti. 2017. *System Dynamics Modelling and Simulation*. Springer Nature.
- Chen, Jian., Guo Zhicheng., & Tang Yin. 2019. *Research on B2C E-Commerce Business Model Based On System Dynamics*. Scientific Research Publishing: American Journal of Industrial and Business Management.
- Faradibah, A., & Suryani, E. 2019. *Pengembangan Model Simulasi Sistem Dinamik Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Operasional Transportasi*. ILKOM Jurnal Ilmiah, 67-76.
- Fortunella, April., Tama, I. P., & Eunike, Agustina. 2016. *Simulation Model Of Production System With System Dynamic To Support Production Capacity Planning*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri.
- Hesamamiri, Roozbeh., & Bourouni Atieh. 2016. *Customer Support Optimization Using System Dynamics: A Multi-Parameter Approach*. Emerald Insight. Jhingan, M.L. 2014. *Ekonomi Pembangunan Dan Perencanaan*, Jakarta : Rajagrafindo Persada.
- Khotimah, B. K. 2017. *Teori Simulasi dan Pemodelan : Konsep, Aplikasi dan Terapan*. Ponorogo: WADE GROUP.
- Sapiri, H., Zulkepli, J., Ahmad, N., Abidin, N. Z., & Hawari, N. N. 2017. *Introduction To System Dynamics Modelling And Vensim Software*. Kedah: UMM PRESS (University Utara Malaysia).
- Wehantouw, F., Karuniasa, M., Wurarah, R. N., Tuharea, A., Maharani, C., Shalilah, H., & Pambudi, P. A. (2021, March). *Low carbon energy model in West Papua*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 716, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- Yang, G. (2018, August). *Study on the System Dynamics Model of Low Carbon City Development*. In 2018 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS) (pp. 421-424). IEEE.
- Yoesgiantoro, D., & Sumiati, S. (2018). *Pemodelan Sistem Dinamis Economy-Energy Dalam Pengurangan Emisi Co2 Dan Peningkatan Pdrb Untuk Meningkatkan Ketahanan Daerah Banten*. Jurnal Kajian Stratejik Ketahanan Nasional, 1(2), 143-155.