

MODEL SISTEM DINAMIK KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI IKN: ANALISIS PENGARUH PERTUMBUHAN PENDUDUK DAN DEFORESTASI

Mirda Prisma Wijayanto¹, Zulfa Siti Zakia²

^{1,2} Program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno no. 61, Purwokerto, Indonesia, 53122
Email: mirda.foundation@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketersediaan air bersih serta estimasi waktu terjadinya krisis air bersih di Ibu Kota Nusantara (IKN) dengan mempertimbangkan pengaruh pertumbuhan penduduk dan deforestasi. Sebagai langkah pertama, kami membentuk model matematika berupa seperangkat persamaan diferensial orde satu untuk tiga variabel penelitian yaitu kuantitas air bersih $A(t)$, populasi penduduk $P(t)$, serta luas lahan $L(t)$. Selanjutnya kami menentukan solusi analitik dari model tersebut. Berikutnya, kami melakukan simulasi hasil penelitian dengan berbagai variasi nilai parameter. Parameter kontrol dalam penelitian ini adalah curah hujan akibat perubahan iklim secara alami. Sedangkan parameter bebas meliputi laju pertumbuhan penduduk, laju konsumsi air bersih, serta laju deforestasi. Berdasarkan analisis hasil penelitian didapatkan bahwa untuk laju deforestasi yang tetap kuantitas air bersih semakin menurun seiring meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air bersih. Untuk laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air bersih yang tetap, kuantitas air bersih semakin menurun seiring meningkatnya laju deforestasi. Berdasarkan model kami, didapatkan skenario terbaik yaitu ketika laju pertumbuhan penduduk 1,25% per tahun, laju konsumsi air bersih 50 m³ per orang/tahun, dan laju deforestasi 2% per tahun. Pada kondisi ini, didapatkan nilai estimasi waktu terjadinya krisis air yaitu $t_{maks} = 434,7$ (tahun), terhitung sejak awal mulainya pembangunan IKN. Sedangkan skenario terburuk yaitu ketika laju pertumbuhan penduduk 3% per tahun, laju konsumsi air bersih 60 m³ per orang/tahun, dan laju deforestasi 2% per tahun. Pada kondisi ini, didapatkan nilai $t_{maks} = 203,6$ (tahun).

Kata kunci: Perubahan iklim, krisis air bersih, IKN, pertumbuhan penduduk, deforestasi.

[1] PENDAHULUAN

Air merupakan bahan alam yang penting untuk manusia, hewan dan tumbuhan serta sebagai sumber energi [1]. Cadangan air bersih dapat bersumber dari air hujan, air tanah, dan air permukaan (bendungan dan sungai). Air bersih yang digunakan setiap waktu tentu akan mengalami penurunan baik kualitas maupun kuantitas seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kegiatan industri yang ada disuatu daerah [2]. Selain itu, beberapa aktivitas manusia juga memengaruhi kuantitas air bersih, misalnya aktivitas rumah tangga [3]. Oleh karena itu, air beserta sumber-sumbernya harus dilindungi dan dijaga kelestariannya, agar pemanfaatannya dapat dipakai untuk kepentingan dan kesejahteraan rakyat.

Pada 26 Agustus 2019, dilansir oleh Reuters [4], Presiden Republik Indonesia telah mengumumkan rencana pemindahan pusat pemerintahan ke Ibu Kota Nusantara (IKN) yang terletak di Kalimantan Timur. Rencana tersebut memberikan beberapa dampak lingkungan misalnya perubahan kuantitas atau ketersediaan air bersih di Provinsi Kalimantan Timur. Rencana pemindahan Ibu Kota akan berpotensi meningkatkan laju pertumbuhan penduduk. Secara tidak langsung, peningkatan laju pertumbuhan

penduduk akan berdampak pada peningkatan laju konsumsi air bersih. Kondisi tersebut menyebabkan kuantitas atau ketersediaan air bersih di IKN akan mengalami penurunan.

Kuantitas air bersih juga dapat menurun akibat meningkatnya laju deforestasi. Laju deforestasi akan meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan industri akibat permintaan barang dan jasa. Meningkatnya laju deforestasi akan menyebabkan penurunan muka tanah dan pencemaran air yang secara tidak langsung juga menyebabkan terjadinya penurunan kuantitas air bersih.

Salah satu upaya dalam menganalisis ketersediaan air bersih adalah dengan membuat suatu model matematika [5-11]. Sebagai kebaruan penelitian, dalam penelitian ini kami mengembangkan model matematis untuk menganalisis ketersediaan air bersih serta estimasi waktu terjadinya air bersih di IKN dengan mempertimbangkan variabel dinamik berupa pertumbuhan penduduk dan deforestasi. Parameter kontrol dalam penelitian ini adalah curah hujan akibat perubahan iklim secara alami. Sedangkan parameter bebas yang mempengaruhi perubahan kuantitas air bersih diantaranya adalah laju pertumbuhan penduduk, laju konsumsi air bersih, serta laju deforestasi. Tujuan

utama dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang bagaimana variabel dan parameter tersebut saling berinteraksi dan mempengaruhi ketersediaan air bersih di IKN. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan literasi ilmiah bagi pembaca maupun para pengambil kebijakan dalam menentukan metode manajemen yang efektif dan efisien guna menjaga keberlanjutan sumber daya air bersih dalam menghadapi perubahan yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan deforestasi, khususnya di IKN.

[2] **PEMBENTUKAN MODEL**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian teoritis dalam bidang fisika sistem kompleks. Sistem yang ditinjau yaitu ketersediaan air bersih dengan pengaruh variabel dinamik berupa pertumbuhan penduduk dan deforestasi. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan matematika. Data penelitian berupa data laju pertumbuhan penduduk, laju konsumsi air bersih, serta laju deforestasi yang diambil dari Badan Pusat Statistik untuk Provinsi Kalimantan Timur [12-14]. Adapun variabel dan parameter penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar variabel penelitian

No.	Variabel	Notasi	Satuan
1.	Kuantitas air bersih pada waktu t	$A(t)$	Liter
2.	Jumlah penduduk pada waktu t	$P(t)$	Orang
3.	Luas lahan pada waktu t	$L(t)$	m^2

Tabel 2. Daftar parameter penelitian

No.	Parameter	Notasi	Satuan
1.	Laju pertumbuhan penduduk	μ	%/tahun
2.	Curah hujan	α	m/tahun
3.	Laju konsumsi air bersih	β	liter/(orang×hari)
4.	Laju deforestasi lahan untuk industry	γ	%/tahun

Mekanisme perubahan variabel penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Perubahan Kuantitas Air Bersih (A)
 - a. Kuantitas air bersih dapat bertambah secara alami dari resapan air hujan dengan curah hujan α pada lahan seluas L .
 - b. Kuantitas air bersih dapat berkurang jika dikonsumsi oleh penduduk dengan laju βP .
Dengan demikian diperoleh laju perubahan kuantitas air bersih (A) sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = \alpha L - \beta P \tag{1}$$

2. Perubahan Populasi Penduduk (P)
Populasi penduduk akan berubah dengan adanya laju pertumbuhan yang didefinisikan oleh μP . Dengan demikian diperoleh laju perubahan populasi penduduk (P) sebagai berikut:

$$\frac{dP}{dt} = \mu P \tag{2}$$

3. Perubahan Luas Lahan (L)
Lahan sebagai daerah resapan air bersih dapat berkurang akibat deforestasi dengan laju γL . Dengan demikian diperoleh laju perubahan konsentrasi lahan (L) sebagai berikut:

$$\frac{dL}{dt} = -\gamma L \tag{3}$$

[3] **HASIL DAN PEMBAHASAN**

3.1 **Solusi Analitik Model**

Sebagai langkah pertama, kami menghitung solusi analitik persamaan (1) – (3). Dari persamaan (3) didapatkan

$$\int_{L_0}^{L(t)} \frac{dL}{L} = - \int_0^t \gamma dt$$

$$L(t) = L_0 e^{-\gamma t} \tag{4}$$

dimana $L(t)$ mendeskripsikan fungsi konsentrasi lahan setiap waktu dan L_0 merupakan konsentrasi awal lahan resapan air bersih sebelum adanya pembukaan lahan yang mengakibatkan deforestasi.

Selanjutnya dari persamaan (2), didapatkan

$$\int_{P_0}^{P(t)} \frac{dP}{P} = \int_0^t \mu P$$

$$P(t) = P_0 e^{\mu P} \tag{5}$$

dimana $P(t)$ mendeskripsikan fungsi perubahan penduduk setiap waktu dan P_0 merupakan jumlah penduduk awal sebelum Pembangunan IKN.

Substitusi persamaan (4) dan (5) kedalam persamaan (1) sehingga didapatkan

$$\int_{A_0}^{A(t)} dA = \int_0^t \alpha L_0 e^{-\gamma t} dt - \int_0^t \beta P_0 e^{\mu t} dt$$

$$A(t) = A_0 - \frac{\alpha L_0}{\gamma} (e^{-\gamma t} - 1) - \frac{\beta P_0}{\mu} (e^{\mu t} - 1) \tag{6}$$

dimana $A(t)$ mendeskripsikan fungsi kuantitas air bersih setiap waktu dan A_0 merupakan kuantitas air bersih awal sebelum adanya pembangunan IKN.

3.2 **Analisis Parameter Penelitian**

Parameter penelitian terbagi menjadi parameter kontrol yang meliputi curah hujan alami α , serta parameter bebas yang meliputi laju pertumbuhan penduduk μ , laju konsumsi air bersih β , dan laju deforestasi γ . Nilai awal dan nilai parameter kontrol, didapatkan dari kondisi geografis dan demografi penduduk IKN yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara. Menurut Badan Pusat Statistik, data jumlah total penduduk Provinsi Kalimantan Timur sebelum Pembangunan IKN (tahun 2020) adalah 11.307.219 orang. Dengan demikian, dapat dipilih nilai $P_0 = 11.307.219$.

Menurut kajian Daya Dukung dan Daya Tampung Eko Region Kalimantan [15], sebagian besar luasan Pulau Kalimantan memiliki peran penyedia air bersih kategori tinggi dan sangat tinggi mencapai 38 juta hektar. Potensi yang sama juga dimiliki Kalimantan Timur. Bentang alam Kalimantan Timur dialiri oleh 31 daerah aliran sungai (DAS) dan mempunyai luasan tutupan hutan tertinggi se-Kalimantan yaitu mencapai 5,2 juta hektar. Lebih lanjut, menurut kajian Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [15] sekitar 9,2 juta hektar lahan di Kalimantan Timur masuk dalam klasifikasi penyedia air bersih tinggi. Dengan demikian, didapatkan nilai parameter $L_0 = 9,2 \times 10^6$ ha.

IKN memiliki tiga sumber cadangan air bersih yaitu air hujan, air tanah, dan air permukaan (bendungan dan sungai). Dikutip dari Rosalina dkk [15], lokasi IKN memiliki jenis iklim tropis yang kaya akan hujan. Dalam setahun, persentase turunnya air hujan mencapai 40,8% dengan total curah hujan tahunan sebanyak 2.223 mm. Dengan demikian didapatkan nilai parameter $\alpha = 2.223$ mm/tahun. Selain air hujan, cadangan air bersih dapat berasal dari air tanah yang tersimpan dalam sistem akuifer dengan cadangan air bersih mencapai 77,92 miliar m³/tahun. Dengan demikian didapatkan nilai $A_0 = 7,792 \times 10^{10}$ m³.

Berdasarkan deskripsi diatas, didapatkan nilai awal dan parameter kontrol penelitian sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai awal dan parameter kontrol penelitian

No.	Variabel	Nilai
1.	P_0	11.307.219 orang
2.	A_0	$7,792 \times 10^{10}$ m ³
3.	L_0	$9,2 \times 10^{10}$ m ²
4.	A	2,223 m/tahun

Variabel bebas penelitian meliputi laju deforestasi (γ), laju pertumbuhan penduduk (μ), dan laju penggunaan air bersih (β). Deforestasi didefinisikan sebagai kegiatan konversi lahan hutan ke non-hutan yang dilakukan secara langsung oleh aktivitas manusia [16]. Deforestasi dapat menyebabkan penurunan muka bersih, yang juga berdampak pada penurunan kuantitas air bersih. Menurut Daryono dkk [17], laju deforestasi dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{Total Deforestasi (Ha/tahun)} = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1}, \tag{7}$$

dimana persentase laju deforestasi tahunan dapat dihitung sebagai berikut

$$\gamma(\%/tahun) = \frac{(A_1 - A_2)/(t_1 - t_2)}{A_1} \times 100\%, \tag{8}$$

dimana A_1 dan A_2 masing – masing mendeskripsikan luas hutan tahun pertama (t_1) dan tahun kedua (t_2).

Pertumbuhan penduduk berkaitan dengan jumlah imigrasi, emigrasi, kelahiran, dan kematian penduduk. Persentase laju pertumbuhan penduduk Provinsi Kalimantan Timur dapat dihitung sebagai berikut:

$$\mu(\%/tahun) = \frac{(P_2 - P_1)/(t_2 - t_1)}{P_1} \times 100\%, \tag{9}$$

dimana P_1 dan P_2 masing – masing mendeskripsikan jumlah penduduk tahun pertama (t_1) dan tahun kedua (t_2). Berdasarkan data BPS tahun 2019-2024, didapatkan bahwa rata-rata laju pertumbuhan penduduk Provinsi Kalimantan Timur adalah 1,28%. Lebih lanjut, berdasarkan data BPS juga dapat dilihat bahwa laju pertumbuhan penduduk setiap tahun mengalami peningkatan. Kenaikan jumlah penduduk, tentunya berbanding lurus dengan laju konsumsi air bersih. Dalam penelitian terdahulu oleh South dkk [13], disebutkan bahwa laju konsumsi air bersih menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah 135,7 liter/orang/hari atau 49,5305 m³/orang/tahun. Dengan meningkatnya jumlah penduduk setiap tahun, maka laju konsumsi air bersih setiap tahun juga akan meningkat. Hal tersebut menyebabkan ketersediaan sumber air bersih akan menurun.

3.3 Analisis Ketersediaan Air Bersih

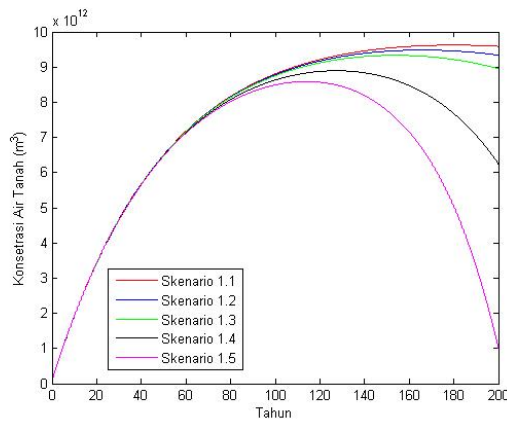
Pada pembahasan berikut akan dianalisis kuantitas air bersih $A(t)$ serta waktu maksimum ketersediaan air bersih yang mendeskripsikan batas waktu maksimum dimana air bersih akan habis yaitu t_{maks} dengan menggunakan berbagai skenario variasi variabel bebas. Sebagai batasan, kami akan menghitung kuantitas air bersih selama 500 tahun mendatang, terhitung sejak awal mulainya pembangunan IKN. Untuk menghitung t_{maks} , digunakan persamaan (6) dengan mengambil nilai $A(t) = 0$. Perhitungan nilai $A(t)$ dan t_{maks} dilakukan menggunakan MATLAB.

1. **Skenario 1:** Laju pertumbuhan penduduk dan konsumsi air bersih meningkat, sedangkan laju deforestasi tetap.

Tabel 4. Data hasil penelitian untuk skenario 1

Skenario	μ	β	γ	$A(t)$ ($\times 10^{12} \text{ m}^3$)	t_{maks} (tahun)
1.1	1,25	52	2	8,8027	431,5
1.2	1,50	54	2	8,7781	369,2
1.3	1,75	56	2	8,7478	323,1
1.4	2,5	58	2	8,6265	238,7
1.5	3	60	2	8,4882	203,6

Selanjutnya dilakukan plot simulasi nilai kuantitas air bersih yang bersumber dari air tanah setiap waktu untuk skenario 1.1 – 1.5. Hasil plot simulasi dapat ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Plot simulasi skenario 1.

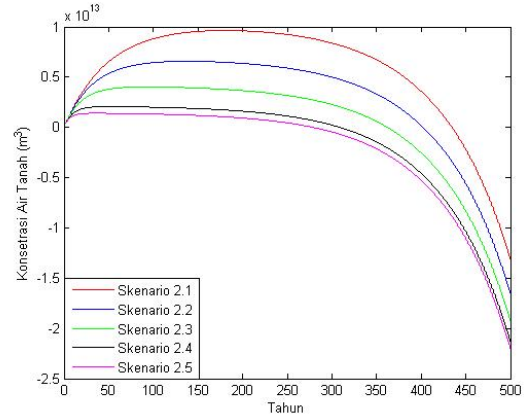
Berdasarkan Gambar 1, kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 120 tahun mendatang. Hal tersebut menandakan ketersediaan air bersih masih dapat mencukupi kebutuhan penduduk. Setelahnya, ketersediaan air bersih mulai menurun secara eksponensial dan akan habis pada tahun ke-431,5. Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa skenario terburuk adalah ketika laju pertumbuhan penduduk 3% per tahun, laju konsumsi air bersih 60 m³ per orang/tahun dan laju deforestasi 2% per tahun maka air bersih akan habis pada 203,6 tahun mendatang. Berdasarkan model kami dapat disimpulkan bahwa untuk laju deforestasi yang tetap kuantitas air bersih semakin menurun seiring meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air bersih.

2. **Skenario 2:** Laju pertumbuhan penduduk dan konsumsi air bersih tetap, sedangkan laju deforestasi meningkat.

Tabel 5. Data hasil penelitian untuk skenario 2

Skenario	μ	β	γ	$A(t)$ ($\times 10^{12} \text{ m}^3$)	t_{maks}
2.1	1,25	50	2	8,8072	434,7
2.2	1,25	50	3	6,4431	402,7
2.3	1,25	50	5	4,0280	362,8
2.4	1,25	50	10	2,0104	309,6
2.5	1,25	50	15	1,3287	279,5

Selanjutnya dilakukan plot simulasi nilai kuantitas air bersih yang bersumber dari air tanah setiap waktu untuk skenario 2.1 – 2.5. Hasil plot simulasi dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Plot simulasi skenario 2.

Berdasarkan Gambar 2, untuk skenario 2.1 dapat dilihat bahwa kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 100 tahun mendatang, kemudian menurun secara eksponensial dan habis pada tahun ke-434,7. Hal tersebut menandakan ketersediaan air bersih hanya mampu mencukupi kebutuhan penduduk hingga 434,7 tahun mendatang. Untuk skenario 2.2 dapat dilihat bahwa kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 50 tahun mendatang, kemudian menurun secara eksponensial dan habis pada tahun ke 402,7. Untuk skenario 2.3 dapat dilihat bahwa kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 50 tahun mendatang, kemudian menurun secara eksponensial dan habis pada tahun ke 362,8. Untuk skenario 2.4 dapat dilihat bahwa kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 50 tahun mendatang, kemudian menurun secara eksponensial dan habis pada tahun ke 309,6. Untuk skenario 2.5 dapat dilihat bahwa kuantitas air bersih di IKN akan meningkat hingga 50 tahun mendatang, kemudian menurun secara eksponensial dan habis pada tahun ke 279,5. Berdasarkan model kami dapat disimpulkan bahwa untuk laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air bersih yang tetap, kuantitas air bersih semakin menurun seiring meningkatnya laju deforestasi. Skenario terburuk adalah skenario 2.5 dimana ketersediaan air bersih hanya mampu memenuhi kebutuhan penduduk selama 279,5 tahun mendatang.

[4] KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian, dapat diberikan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah seagai berikut:

1. Kuantitas air tanah $A(t)$ akibat pengaruh laju pertumbuhan penduduk α , laju konsumsi air tanah β , dan laju deforestasi γ didefinisikan oleh:

$$A(t) = A_0 - \frac{\alpha L_0}{\gamma} (e^{-\gamma t} - 1) - \frac{\beta P_0}{\mu} (e^{\mu t} - 1)$$

dimana A_0 merupakan kuantitas air tanah awal, L_0 merupakan luas lahan awal dan P_0 merupakan jumlah penduduk awal sebelum adanya Pembangunan IKN.

2. Untuk laju deforestasi yang tetap kuantitas air tanah semakin menurun seiring meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air tanah.
3. Untuk laju pertumbuhan penduduk dan laju konsumsi air tanah yang tetap, kuantitas air tanah semakin menurun seiring meningkatnya laju deforestasi.
4. Berdasarkan model kami, didapatkan skenario terbaik yaitu ketika laju pertumbuhan penduduk 1,25% per tahun, laju konsumsi air tanah 50 m³ per orang/tahun, dan laju deforestasi 2% per tahun. Pada kondisi ini, didapatkan nilai $t_{maks} = 434,7$, terhitung sejak awal mulainya pembangunan IKN. Sedangkan skenario terburuk yaitu ketika laju pertumbuhan penduduk 3% per tahun, laju konsumsi air tanah 60 m³ per orang/tahun, dan laju deforestasi 2% per tahun. Pada kondisi ini, didapatkan nilai $t_{maks} = 203,6$.

[5] SUMBER PUSTAKA

- [1] Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press
- [2] Kodoatie dan Roestam, S., 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [3] Effendi, H., 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius
- [4] Agustinus, B.D.C. (2019). *World News*. Diambil pada tanggal 2 Agustus 2024 dari <https://www.reuters.com/article/usindonesia-politics-capital/indonesianpresident-unveils-site-of-new-capital-onborneo-island-idUSKCN1VG0FC/>
- [5] Nacem, K., dkk. (2023). "A Literature Review on System Dynamics Modeling for Sustainable Management of Water Supply and Demand". *Sustainability*, 15 (8), 6826.
- [6] Phan, T.D., Bertone, E., and Stewart, R.A. (2021). "Critical review of system dynamics modelling applications for water resources planning and management". *Clean. Environ. Syst.* 2, 100031.
- [7] Bavandpour, A.Y., Nozari, H., Ahmad, S. (2021). "System Dynamics Approach for Water Resources Systems Analysis". In: *Bozorg-Haddad, O. (eds) Essential Tools for Water Resources Analysis, Planning, and Management*. Springer Water. Springer, Singapore.
- [8] Arroyo, M.E.C., and Austria, P.F.M. (2021). "Dynamic water system modeling: a systematic review". *Water Practice and Technology*, 16 (3): 744–755.
- [9] Qin, H., Cai, X., and Zheng, C. (2018). "Water demand predictions for megacities: System dynamics modeling and implications". *Water Policy*, 20 (1), 53–76.
- [10] Rudyanto, A., Limantara, L. M., Andawayanti, U., dan Suhartanto, E. (2018). "Model of water balance based on the system dynamics". *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9 (12), 267–276.
- [11] Primadian, D. (2016). "Pengembangan Model Sistem Dinamik terhadap Ketersediaan Air Bersih di Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur." *Journal of Industrial Engineering Management*, 1 (2).
- [12] Data Jumlah Penduduk Provinsi Kaltim. (2021). BPS. Diambil 3 Agustus 2024 dari <https://kaltim.bps.go.id/indicator/6/213/1/jumlah-penduduk-15-tahun-ke-atas-menurut-kabupaten-kota.html>
- [13] Suoth, E.A., Purwati, U.S., Andiri, Y. (2018). "Pola Konsumsi Air Pada Perumahan Teratur: Studi Kasus Konsumsi Air di Perumahan Griya Serpong Tangerang Selatan". *Ecolab*, 12 (2), 53 – 102
- [14] Angka Deforestasi Netto Indonesia Di Dalam Dan Di Luar Kawasan Hutan Tahun 2013-2020 (Ha/Th). (2019). Diambil pada 3 Agustus 2024 dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjA4MSMx/angka-deforestasi-netto-indonesia-di-dalam-dan-di-luar-kawasan-hutan-tahun-2013-2022--ha-th-.html>
- [15] Rosalina Putri, M., Budianto, Y. (2019). Krisis Air Bersih di Ibukota Baru. Diambil pada tanggal 3 Agustus 2024 dari <https://www.ekuatorial.com/2020/01/krisis-air-bersih-di-ibukota-baru/>
- [16] Böttcher, H.K., dkk. (2009). "An assessment of monitoring requirements and costs of Reduced Emissions from Deforestation and Degradation". *Carbon Balance Manag.* 4 (7).
- [17] Daryono, Siregar, Y.I., Nofrizal. (2018). "Analisis Spasial Deforestasi dan Degradasi Hutan di Suaka Margasatwa Kerumutan Provinsi Riau". *Dinamika Lingkungan Indonesia*, Vol.5, No.1.