

Prediksi Lahan Deforestasi Dan Reforestasi Hutan Kalimantan Timur Dengan Metode Rantai Markov

Arif Hasan Nawawi^{1*}, Evangs Mailoa¹

¹Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia.

Artikel Info

Kata Kunci:

Deforestasi;
Rantai Markov;
Reforestasi.

Keywords:

Deforestation;
Markov Chain;
Reforestation.

Riwayat Artikel:

Submitted: 24 Juni 2023
Accepted: 23 Januari 2024
Published: 16 Februari 2024

Abstrak: Deforestasi dan reforestasi merupakan dua fenomena penting dalam perubahan penggunaan lahan yang memiliki dampak terhadap keberlanjutan lingkungan. Saat ini di daerah Kalimantan Timur terjadi deforestasi hutan yang di mana lahan itu akan dijadikan ibu kota baru di Indonesia. Terjadinya deforestasi hutan terus menerus dikhawatirkan kedepannya akan memperburuk kualitas lingkungan dan berkurangnya lahan. Pembuat kebijakan harus memahami implikasi kebijakan mereka terhadap deforestasi dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga keberlanjutan sumber daya hutan. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memprediksi lahan deforestasi dan reforestasi hutan Kalimantan Timur dengan menggunakan metode rantai Markov, yang memungkinkan pemodelan transisi antara keadaan deforestasi dan non-deforestasi berdasarkan data historis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas lahan deforestasi dan reforestasi kawasan Kalimantan Timur pada 10 tahun kedepan mencapai 2,749.1 luas lahan deforestasi dan 3,420.84 hektar luas lahan reforestasi. Harapan dari penelitian ini dapat membantu dalam perencanaan pengelolaan sumber daya hutan dan pengembangan langkah-langkah pencegahan deforestasi yang lebih efektif.

Abstract: Deforestation and reforestation are two important phenomena in land use change that have impact for environmental sustainability. Currently, there is deforestation in the East Kalimantan area where the land will be made the new capital city of Indonesia. It is feared that continuous deforestation will worsen the quality of the environment and reduce land in the future. Policymakers must understand the impact of their policies on deforestation and take appropriate steps to maintain the sustainability of forest resources. Therefore a study was conducted that aimed to predict deforestation and forest reforestation in East Kalimantan using the Markov chain method, which enables modeling the transition between deforestation and non-deforestation states based on historical data. The results showed that the area of deforestation and reforestation in East Kalimantan in the next 10 years will reach 2,749.1 hectares of deforestation and 3,420.84 hectares of reforestation land. The hope is that this research can assist in the planning of forest resource management and the development of more effective deforestation prevention measures.

Corresponding Author:

Arif Hasan Nawawi
Email: arifhasansan@gmail.com

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang mempunyai hutan tropis yang luas, akan tetapi kawasan hutan di Indonesia setiap tahunnya mengalami kebakaran. Pada tahun 1982-1983 sekitar 3,2 juta hektar hutan terbakar di wilayah Provinsi Kalimantan Timur. Penyebab terjadinya kebakaran salah satunya adalah adanya deforestasi kawasan hutan yang sangat besar. Pada tahun 2018 Provinsi Kalimantan Timur menjadi penyumbang tertinggi deforestasi hutan dengan angka 157 ha/tahun (Novita & Vonnisa, 2021).

Deforestasi adalah kondisi luas hutan yang mengalami penurunan yang disebabkan oleh konvensi lahan untuk infrastruktur, permukiman, pertanian, pertambangan, dan perkebunan. Kerusakan hutan di Indonesia terus mengalami kenaikan setiap tahunnya. Kerusakan hutan dapat mempengaruhi perubahan iklim, karena berkurangnya lahan hutan adalah salah satu penyebab meningkatnya gas rumah kaca terutama karbon dioksida sebagai sumber emisi. Sekitar 80% sumber emisi disebabkan oleh pembakaran hutan (Wahyuni & Suranto, 2021).

Perpindahan ibu kota baru dari Jakarta ke daerah Kalimantan Timur menimbulkan kekhawatiran pada pemerhati lingkungan. Kepala *Greenpeace* Indonesia Leonard Simanjuntak mengatakan memiliki beberapa kekhawatiran terkait keputusan ini, karena akan menyebabkan konversi hutan dan lahan untuk pembangunan kota, yang tentunya akan berdampak pada lingkungan (Leonard Simanjuntak, 2018). Berkaca dari Jakarta, polusi udara tidak hanya berasal dari sektor kendaraan tetapi juga berasal dari banyaknya PLTU batu bara yang ada di sekeliling Jakarta. Kondisi itu sangat memungkinkan terjadi di Kalimantan Timur dikarenakan ada perusahaan-perusahaan raksasa batu bara yang beroperasi di daerah tersebut (Yanuar, 2019).

Jumlah penduduk yang terus bertambah, juga menjadi salah satu pendorong masyarakat memanfaatkan lahan hutan untuk dijadikan tempat pemukiman. Lahan mengalami alih fungsi perlu dikurangi agar mempertahankan tutupan lahan (Mustafa & Marsoyo, 2020). Wilayah hutan harus dijaga agar tidak terus berkurang dan rusak. Beberapa solusi untuk mengatasi akar masalah deforestasi dan mengurangi dampak negatifnya itu diperlukan kegiatan penghijauan kembali atau reforestasi dan adanya kesadaran manusia agar tidak menebang pohon di hutan terus menerus (Asrin et al., 2019).

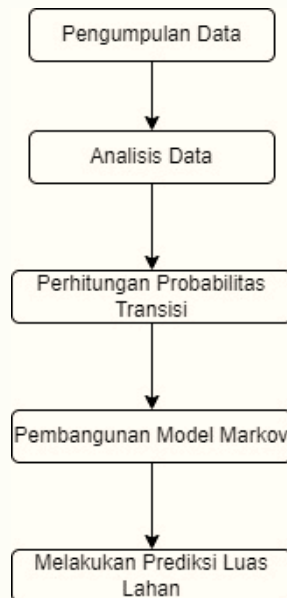
Penelitian ini menggunakan metode Rantai Markov yang dapat digunakan untuk mencari suatu probabilitas keadaan atau kejadian dimasa mendatang. Dalam metode rantai Markov ini dicari nilai state transisi, yang dimana peluang keadaan dimasa mendatang tergantung pada keadaan saat ini (Nurhamiddin & Sulisa, 2019). Selain itu, Rantai Markov merupakan metode statistika suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada variabel masa lampau guna memprediksi sifat-sifat di masa yang akan datang (Ermawati et al., 2019). Dilakukannya prediksi dalam penelitian ini adalah guna untuk membantu kita menghadapi ketidak pastian dan mengambil tindakan yang lebih baik berdasarkan perkiraan yang masuk akal tentang apa yang akan terjadi di masa depan.

Pada penelitian (Ihsan et al., 2018) bahwa kelebihan dari penggunaan metode Markov dibandingkan dengan metode data *mining* lainnya yaitu mudah digunakan dan dalam penerapannya untuk memprediksi suatu keadaan akan mudah dilakukan. Data yang digunakan dalam metode Markov juga tidak bergantung pada waktu yang ketat dalam *dataset*. Pada Penelitian (Asra et al., 2020) tentang prediksi perubahan lahan di sub-DAS. Pada penelitian ini, penguji menggunakan data primer berupa hasil *groundcheck* dilapangan dan data sekunder yang melibatkan analisis probabilitas transisi antara kategori lahan yang berbeda. Artikel ini menggambarkan penggunaan metode rantai Markov untuk memodelkan dan memprediksi pola perubahan lahan tahun 1996-2016 dan prediksi penggunaan lahan Sub-DAS tahun 2036. Pada Penelitian (Sugandhi et al., 2022) membahas tentang prediksi perubahan tutupan lahan untuk daerah Kecamatan Sirimau, Kota Ambon. Metode *Cellular Automata-Markov Chain* digunakan untuk membuat prediksi tersebut. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode rantai Markov berguna dalam memodelkan dan menganalisis perubahan keadaan dari suatu sistem dalam waktu diskrit. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa bertambahnya penduduk dan kebutuhan lahan terbangun mengakibatkan bertambahnya permukiman lahan terbuka.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang ada, maka dapat disimpulkan bahwa metode rantai Markov merupakan metode yang banyak digunakan memprediksi keadaan dimasa mendatang berdasarkan keadaan saat ini. Metode rantai Markov juga membutuhkan informasi tentang probabilitas transisi dan tidak memerlukan data histori yang lengkap atau rinci. Maka dari itu, metode yang digunakan dalam artikel ini adalah metode rantai Markov untuk membuat prediksi luas lahan deforestasi dan reforestasi pada kawasan hutan Kalimantan Timur. Dari penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan data primer berupa hasil *groundcheck* dan data sekunder. Sedangkan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dari data Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Deforestasi Indonesia tahun 2016-2020. Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada prediksi lahan deforestasi dan reforestasi hutan Kalimantan Timur dalam jangka waktu 10 tahun kedepan. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat membantu para pembuat kebijakan untuk memahami implikasi kebijakan mereka terhadap deforestasi dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga keberlanjutan sumber daya hutan.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan berikut tahapan yang perlu dilakukan dalam pembuatan artikel ilmiah ini:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahapan pertama pada penelitian ini adalah pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dalam pengumpulan data. Data yang diambil dari (Adnin et al., 2021; Adnin Damarraya, Meniy Ratnasari, 2019; Adnin Damarraya, Meniy Ratnasari, 2020; Damarraya et al., 2018) adalah data luas lahan deforestasi dan reforestasi kawasan hutan Kalimantan Timur pada tahun 2016-2020. Dalam pengumpulan data ini dilakukan tahapan *preprocessing* untuk menghilangkan data yang tidak terpakai.

Tahapan kedua adalah melakukan analisis data yang merupakan tahapan pencarian data variabel yang akan dimodelkan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu luas lahan deforestasi dan luas lahan reforestasi hutan Kalimantan Timur.

Tahapan ketiga adalah melakukan perhitungan probabilitas transisi. Pada tahapan ini menghitung probabilitas transisi dari satu perubahan lahan deforestasi ke lahan reforestasi berdasarkan data historis. Probabilitas transisi $P_{ij}^{(n)}$ merupakan peluang bersyarat suatu sistem yang dimana pada state i akan berada di state j setelah mengalami transisi (Masuku et al., 2018).

$$P_{ij}^{(n)} = X_n = j | X_0 = i, i, j \in \{0,1,2, \dots\}$$

Tahapan keempat adalah pembangunan model Markov. Tahapan ini merupakan tahapan pembangunan matriks transisi berdasarkan probabilitas transisi yang telah dihitung sebelumnya. Proses Markovian dimodelkan menggunakan probabilitas transisi P_{ij} yang dimana probabilitas perpindahan dari *state* i ke *state* j . Model perubahan kondisi pada penyusunan metrik probabilitas transisi dilambangkan dengan P . (Sazali et al., 2019).

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Tahapan terakhir adalah melakukan prediksi luas lahan. Tahapan terakhir ini merupakan tahapan untuk membuat prediksi dengan cara mengalikan matriks transisi dan kondisi awal untuk memperoleh hasil prediksi luas lahan deforestasi dan reforestasi pada periode waktu selanjutnya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (Nurjana et al., 2018):

$$K_{t(j)} = P \times K_{t(j-1)}$$

dimana :

$$K_{t(j)} = \text{Peluang kejadian pada } t(j)$$

$$P = \text{Probabilitas Transisional}$$

$$t(j) = \text{Waktu ke-}j$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ialah luas lahan deforestasi dan reforestasi kawasan hutan Kalimantan Timur pada tahun 2016-2020 (Adnin et al., 2021; Adnin Damarraya, Meniy Ratnasari, 2019; Adnin Damarraya, Meniy Ratnasari, 2020; Damarraya et al., 2018). Data yang didapatkan dari buku yang dikeluarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Deforestasi Indonesia tahun 2016-2020. Data dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 1. Data Luas Lahan Deforestasi dan Reforestasi per Provinsi Indonesia.

Tahun	Wilayah	Luas Lahan (ha)	
		Deforestasi	Reforestasi
2016-2017	Kalimantan Timur	106930	39120
2016-2017	Jawa Timur	0	0
2016-2017	Aceh	15515	-
2016-2017	Jawa tengah	0	0
2016-2017	Riau	6982	4600
2017-2018	Papua	78800	5800
2017-2018	Kalimantan Timur	44700	10100
2017-2018	Riau	43700	4800
2017-2018	Kalimantan Barat	42300	0,5
2017-2018	Sulawesi Tenggara	30800	1800
2017-2018	Kalimantan Tengah	24600	1200
2018-2019	Riau	142000	4000
2018-2019	Gorontalo	0	0,2

Tahun	Wilayah	Luas Lahan (ha)	
		Deforestasi	Reforestasi
2018-2019	Kalimantan Timur	54800	0
2018-2019	Sulawesi Barat	0	0,9
2018-2019	Kalimantan Barat	26200	0,4
2019-2020	Kalimantan Barat	16330	0,05
2019-2020	NTB	13010	0,04
2019-2020	NTT	8290	0,17
2019-2020	Kalimantan Selatan	7550	0,05
2019-2020	Kalimantan Tengah	6910	0,01
2019-2020	Kalimantan Timur	6170	0
2019-2020	Sumatera Selatan	0,92	2520
2019-2020	Gorontalo	1070	0,75

Data pada Tabel 1 diatas adalah hasil data *preprocessing* dan disajikan dalam bentuk tabel, yang dimana data asli yang berupa kalimat dan grafik. Dalam proses *preprocessing*, terdapat beberapa tahapan seperti: data yang diambil adalah data deforestasi netto dan reforestasi netto per Provinsi, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rata-rata nilai reforestasi dikarenakan data yang disajikan berupa data reforestasi dari keseluruhan setiap pulau. Karena penelitian ini hanya berfokus pada Provinsi Kalimantan Timur, dari seluruh data yang didapatkan diambil data luas lahan deforestasi dan reforestasi kawasan hutan Kalimantan Timur.

Tabel 2. Data Histori Luas Deforestasi dan Reforestasi Tahun 2016-2020(ha).

Tahun	Deforestasi	Reforestasi
2016-2017	106,930	39,120
2017-2018	44,700	10,100
2018-2019	54,800	0
2019-2020	6,170	0

Berdasarkan Tabel 1, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari probabilitas transisi dari satu perubahan lahan deforestasi(D) ke lahan reforestasi(R). Dari data historis yang didapat, dihitung perubahan lahan antara keadaan-keadaan tersebut.

Tahun 1 ke tahun 2:

$$P(D \rightarrow D) = (44,700 + 106,930) / 248,460 = \mathbf{0,610}$$

$$P(D \rightarrow R) = (106,930 - 10,100) / 248,460 = \mathbf{0,390}$$

$$P(R \rightarrow D) = (39,120 - 44,700) / 43,640 = \mathbf{-0.128}$$

$$P(R \rightarrow R) = (39,120 + 10,100) / 43,640 = \mathbf{1.128}$$

Tahun 2 ke tahun 3:

$$P(D \rightarrow D) = (44,700 + 54,800) / 144,200 = \mathbf{0.690}$$

$$P(D \rightarrow R) = (44,700 - 0) / 144,200 = \mathbf{0.310}$$

$$P(R \rightarrow D) = (10,100 - 54,800) / -34,600 = \mathbf{1.292}$$

$$P(R \rightarrow R) = (0 + 10,100) / -34,600 = \mathbf{-0.292}$$

Tahun 3 ke tahun 4:

$$P(D \rightarrow D) = (54,800 + 6,170) / 115,770 = \mathbf{0.527}$$

$$P(D \rightarrow R) = (54,800 - 0) / 115,770 = \mathbf{0.473}$$

$$P(R \rightarrow D) = (0 - 6,170) / -6,170 = \mathbf{1}$$

$$P(R \rightarrow R) = (0 + 0) / -6,170 = \mathbf{0}$$

Tabel 3. Probabilitas Transisi Dari Perubahan Lahan Deforestasi ke Lahan Reforestasi

	2016-2017& 2017-2018		2017-2018& 2018-2019		2018-2019 & 2019-2020	
	Deforestasi	Reforestasi	Deforestasi	Reforestasi	Deforestasi	Reforestasi
Deforestasi	0,610	0,390	0,690	0,310	0,527	0,473
Reforestasi	-0,128	1,128	1,292	-0,292	1	0

Data probabilitas transisi luas lahan deforestasi dan reforestasi diatas, dilakukan perhitungan matriks 2x2 untuk mendapatkan matriks transisi. Berdasarkan data Tabel 2 didapatkan matriks transisi sebagai berikut.

$$P = \begin{bmatrix} 0,610 & 0,390 \\ -0,128 & 1,128 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,690 & 0,310 \\ 1,292 & -0,292 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,925 & 0,075 \\ 1,369 & -0,369 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,527 & 0,473 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix}$$

Matriks transisi yang diperoleh sebelumnya berguna untuk mencari peluang kejadian ke n dengan cara mengalikan dengan data historis akhir pada Tabel 1. Secara matematis dapat ditulis:

$$K_n = P \times K_{n-1}$$

dimana:

K_n : peluang kejadian ke n

P : probabilitas transisi

K_{n-1} : peluang kejadian ke $n - 1$

$$K_1 = [6,170 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 3,467.54 \quad 2,702.46$$

$$K_2 = [3,467.54 \quad 2,702.46] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,900.02 \quad 3,269.98$$

$$K_3 = [2,900.02 \quad 3,269.98] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,780.84 \quad 3,389.16$$

$$K_4 = [2,780.84 \quad 3,389.16] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,755.82 \quad 3,414.18$$

$$K_5 = [2,755.82 \quad 3,414.18] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,750.56 \quad 3,419.44$$

$$K_6 = [2,750.56 \quad 3,419.44] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.46 \quad 3,420.54$$

$$K_7 = [2,749.46 \quad 3,420.54] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.23 \quad 3,420.77$$

$$K_8 = [2,749.23 \ 3,420.77] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.18 \quad 3,420.82$$

$$K_9 = [2,749.18 \ 3,420.82] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.17 \quad 3,420.83$$

$$K_{10} = [2,749.17 \ 3,420.83] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.17 \quad 3,420.83$$

$$K_{11} = [2,749.17 \ 3,420.83] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.16 \quad 3,420.84$$

$$K_{12} = [2,749.16 \ 3,420.84] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.16 \quad 3,420.84$$

$$K_{13} = [2,749.16 \ 3,420.84] \cdot \begin{bmatrix} 0,562 & 0,438 \\ 0,325 & 0,648 \end{bmatrix} = 2,749.16 \quad 3,420.84$$

Tabel 4. Prediksi Luas Lahan Deforestasi dan Reforestasi Kawasan Kalimantan Timur 10 Tahun Kedepan.

Tahun	Luas Lahan (ha)	
	Deforestasi	Reforestasi
2024	2,755.82	3,414.18
2025	2,750.56	3,419.44
2026	2,749.46	3,420.54
2027	2,749.23	3,420.77
2028	2,749.18	3,420.82
2029	2,749.16	3,420.84
2030	2,749.16	3,420.84
2031	2,749.16	3,420.84
2032	2,749.16	3,420.84
2033	2,749.16	3,420.84

KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan dengan menggunakan metode rantai Markov untuk menghitung prediksi luas lahan deforestasi dan reforestasi kawasan hutan Kalimantan Timur 10 tahun kedepan, didapatkan nilai 2,749.16 hektar untuk luas lahan deforestasi dan 3,420.84 hektar untuk luas lahan reforestasi. Dari perhitungan tersebut juga di dapatkan nilai kondisi *steady state* yang dimana setelah melalui beberapa periode, nilai matriks peluang akan selalu tetap (Gugutu et al., 2022). Nilai *steady state* didapatkan pada tahun 2029 dengan angka deforestasi sebesar 2,749.16 hektar dan angka reforestasi sebesar 3,420.84 hektar. Metode rantai Markov dapat digunakan untuk memprediksi luas lahan deforestasi dan reforestasi di kawasan Kalimantan Timur. Hasil prediksi dapat memberikan pandangan yang lebih jelas tentang dinamika lingkungan di kawasan tersebut dan memberikan informasi yang berguna untuk pengambil keputusan. Namun, perlu diingat bahwa hasil prediksi memiliki tingkat ketidak pastian dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimodelkan dalam metode ini. Saran untuk

peneliti selanjutnya, sebaiknya perluas data historis untuk meningkatkan akurasi dan mempertimbangkan faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi deforestasi dan reforestasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan Model CA-Markov Untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Di Sub-DAS Bila Tahun 2036. *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v5i1.630>
- Asrin, B., Setiawan, H., Affandi, L. H., Syafruddin, Gunayasa, I. B. K., & K. W., M. K. (2019). PGSD Untuk Negeri: Reboisasi, Dukung Pengembangan Kampung Hijau Berbagi Tanpa Saling Menggurui. 2(2), 249-255. <https://doi.org/10.29303/jppm.v2i2.1139>
- Damaraya, A., Ratnasari, M., & Rhama, D. F. P. (2018). *Deforestasi Indonesia Tahun 2016-2017* (W. Mursud & L. Elisabeth Sente (eds.)). Didukung oleh : Sitasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Ermawati, Sauddin, A., & Bakri, N. J. (2019). Analisis Persaingan Industri Televisi Berbayar Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus: Pt. Indonusa Telemedia (Transvision) Versus Televisi Berbayar Lainnya Di Kota Makassar Tahun 2017). *Jurnal MSA (Matematika Dan Statistika Serta Aplikasinya)*, 7(1), 18-27. <https://doi.org/10.24252/msa.v7i1.8165>
- Gugutu, M., Hatidja, D., & Langi, Y. A. R. (2022). Analisis Rantai Markov untuk Mengetahui Peluang Perpindahan Merek Kartu Seluler Pra Bayar GSM (Studi Kasus Mahasiswa Fakultas Pertanian Unsrat Manado). *Jurnal MIPA*, 2(1), 23-28. <https://doi.org/10.35799/jm.2.1.2013.746>
- Ihsan, H., Sanusi, W., & Hasriani, H. (2019). Peramalan Pola Curah Hujan Di Kota Makassar Menggunakan Model Rantai Markov. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), 19-30.
- Masuku, F. N., Langi, Y. A. R., & Mongi, C. (2018). Analisis Rantai Markov Untuk Memprediksi Perpindahan Konsumen Maskapai Penerbangan Rute Manado-Jakarta Analysis of Markov Chain To Predict Consumer Movement of Airline Route Manado-Jakarta. *Ilmiah Sains*, 18(2), 75-79. <https://doi.org/10.35799/jis.18.2.2018.20495>
- Mustafa, F., & Marsoyo, A. (2020). Tipologi Peran Stakeholder dalam Mendukung Reforestasi di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Planoeearth*, 5(1), 35-44. <https://doi.org/10.31764/jpe.v5i1.1653>
- Novita, S. E., & Vonnisa, M. (2021). Pemodelan Spasial Kerentanan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Timur. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 232-238. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.232-238.2021>
- Nurhamiddin, F., & Sulisa, F. M. (2019). Peramalan Cuaca Menggunakan Metode Rantai Markov. *Jurnal Biosainstek*, 2(01), 16-22. <https://doi.org/10.52046/biosainstek.v2i01.312>
- Nurjana, S., Paendong, M. S., & Langi, Y. A. R. (2018). Penerapan Rantai Markov Dalam Pemilihan Minat Masuk Siswa SMA Ke Universitas Di Indonesia Application of Markov Chain Interest Sign In Elections High School Students To University In Indonesia. *JdC*, 5(1), 50-56. <https://doi.org/10.35799/dc.5.1.2016.12733>
- Sazali, A., Setiadji, B. H., & Haryadi, B. (2019). Aplikasi Model Rantai Markov Dalam Pengelolaan Jalan di Kabupaten Bangka Barat. *Rekayasa*, 12(2), 141-150. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v12i2.5907>
- Sugandhi, N., Supriatna, S., Kusratmoko, E., & Rakuasa, H. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Celular Automata- Markov Chain. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 9(2), 104-118. <https://doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880>

- Wahyuni, H., & Suranto. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148-162. <https://doi.org/10.14710/jiip.v6i1.10083>
- Yanuar, Y. (2019). *Jokowi Pindahkan Ibukota ke Kaltim, Ini Kekhawatiran Greenpeace*. Tempo.Co. <https://tekno.tempo.co/read/1241492/jokowi-pindahkan-ibukota-ke-kaltim-ini-kekhawatiran-greenpeace>