

PENERAPAN POLINOMIAL ORDE-N DAN MALTHUSIAN PADA STUDI KASUS KAJIAN DAYA TAMPUNG WISATAWAN

Mario Nikolaus Dalengkade¹, Masitah Yusniar², Willyam Tjape³, Fiktor Imanuel Boleu⁴, Oktosea Buka⁵

^{1,3}Program Studi Matematika, Fakultas Ilmu Alam dan Teknologi Rekayasa, Universitas Halmahera, Tobelo, Indonesia

^{2,5}Program Studi Fisika, Fakultas Ilmu Alam dan Teknologi Rekayasa, Universitas Halmahera, Tobelo, Indonesia

⁴Program Studi Kehutanan, Fakultas Ilmu Alam dan Teknologi Rekayasa, Universitas Halmahera, Tobelo, Indonesia

e-mail:mariodalengkade@gmail.com

Abstrak

Terletak di kawasan timur Indonesia, Tobelo Kabupaten Halmahera Utara terkenal dengan destinasi wisata alamnya, seperti Mamuya. Mamuya adalah pemandian air panas alami yang ramai dikunjungi wisatawan lokal. Tetapi faktanya destinasi ini belum dikelola berdasarkan ekologi. Hasil observasi lapangan memperlihatkan tumpukan limbah plastik yang berasal dari wisatawan. Analisis distribusi kunjungan wisatawan dengan menerapkan polinomial menghasilkan enam orde dan orde-6 merupakan orde terpilih. Adapun kunjungan wisatawan sepanjang tahun 2018, diwakili kurva logistik menghasilkan 737.15 wisatawan. Berbanding terbalik dengan daya dukung area destinasi wisata yang dibuktikan hasil analisisnya yakni 606.25 wisatawan per tahun. Uraian analisis tersebut menunjukkan terjadi kelebihan kunjungan wisatawan. Informasi hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengelolaan destinasi wisata pemandian air panas Mamuya.

Kata kunci: orde, wisatawan, daya dukung.

Abstract

Located in eastern Indonesia, Tobelo, North Halmahera Regency is famous for its natural tourist destinations, such as Mamuya. Mamuya is a natural hot spring that is crowded local tourists. But in fact this destination has not been managed based on ecology. The results of field observations show piles of plastic waste from tourists. Analysis of the distribution of tourist visits by applying a polynomial produces six orders and order-6 is the chosen order. As for tourist visits throughout 2018, represented by a logistics curve, resulting in 737.15 tourists. In contrast to the carrying capacity of the tourist destination area as evidenced by the results of the analysis, namely 606.25 tourists per year. The description of the analysis shows that there is an excess of tourist visits. The information from this research can be the basis for the management of Mamuya hot spring tourist destinations.

Keywords: function, tourist, carrying capacity.

PENDAHULUAN

Sektor pariwisata sangat menarik untuk dikaji, karena melingkupi berbagai aspek disiplin ilmu pengetahuan antara lain ekonomi dan lingkungan (Arrow *et al.*, 1995; Getz & Page, 2016; Ayuni & Priyana, 2019). Dari segi ekonomi, pariwisata merupakan sektor industri yang berkembang karena terjadi lonjakan wisatawan sejak 1950 sebesar 25 miliar hingga 903 miliar wisatawan tepat tahun 2007 (Ziaabadi *et al.*,

2017). Sedangkan lingkungan yakni memfokuskan pada kajian perubahan bentang alam dari berbagai aspek antara lain perubahan iklim (Dalengkade, 2019; Dalengkade, 2020a; Dalengkade, 2020b) dan daya dukung lingkungan (Simón *et al.*, 2004). Kajian yang hangat belakangan ini mengenai pariwisata yakni daya dukung lingkungan. Castellani *et al.*, 2007; Sharma, (2016) mengemukakan pariwisata yang berbasis ekologi sangat peka terhadap

perubahan lingkungan. Hal tersebut karena dampak manusia terhadap lingkungan, sehingga merupakan indikator utama mengenai kestabilan sistem lingkungan. Dan pemanfaatan lahan sebagai destinasi wisata yang tidak dikelola secara tepat, menyebabkan perubahan fungsi dasar dari ekosistem (Kostopoulou & Kyritsis, 2006; Nghi *et al.*, 2007).

Daya dukung dalam penggunaannya, dapat dijabarkan menggunakan suatu model matematika (Zacarias *et al.*, 2011; da Silva, 2002; Braithwaite *et al.*, 2012). Secara matematik daya dukung disimbolkan dengan K (May & McLean, 2007; Lgbozurike, 1981; Shaofeng, 2004) menggambarkan batasan suatu organisme dalam populasi pada suatu wilayah dengan selang waktu tertentu Del Monte-Luna *et al.*, 2004; White *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2019). Karena kebutuhan ruang oleh suatu organisme, Brown *et al.*, (2004); Carbone & Gittleman, (2002); Damuth, 1981) menyatakan kerapatan berbanding terbalik dengan ukuran suatu organisme dalam populasi. Baru-baru ini Braithwaite *et al.*, (2012) melaporkan populasi *Megaptera novaeangliae* mencapai 10% tiap tahun dan memerlukan ruang 1.7 km untuk berburu, serta daya dukung 1.187 dan 1.482 untuk setiap selang waktu tertentu di teluk *Exmouth*.

Mengingat pentingnya kajian daya dukung lingkungan pada suatu lokasi tertentu dengan populasinya yang tinggi seperti penjabaran pada paragraf dua, begitupula dengan destinasi wisata. Karena Deka & Pachau, (2019) melaporkan museum Aizawl memiliki daya dukung 210 wisatawan per hari dan jumlah wisatawan yang mengunjungi museum tersebut yakni 11.997 wisatawan. Laporan lainnya juga menyebutkan pantai yang terlatak di Praia de Faro memiliki luasan 90.000 m² dan daya dukung 3.558 wisatawan per hari dengan area yang dibutuhkan per wisatawan 5 m² (skenario 1). Untuk 10 m² (skenario 2) area yang dibutuhkan wisatawan memiliki daya dukung 1.779 wisatawan per hari. Sedangkan total pengunjung 250 wisatawan mengindikasikan kelebihan kapasitas (Zacarias *et al.*, 2011). Implikasi tak

terkontrolnya jumlah wisatawan menurut (Cole, 2004; Ardiantiono *et al.*, 2018; Jessop *et al.*, 2020; Ardhyanto & Ardiani, 2017; Navarro Jurado *et al.*, 2012) menyebabkan perubahan kondisi kimia-fisik tanah, perubahan perilaku hewan di kawasan wisata, meningkatnya kebutuhan air untuk wisatawan, dan menimbulkan masalah sampah plastik.

Pemandian air panas Mamuya ditetapkan oleh Dinas Pariwisata Halmahera Utara sebagai salah satu destinasi wisata dengan konsep ekowisata. Demi menunjang konsep tersebut pemerintah membangun infrastruktur. Tapi dalam "Perubahan Rencana Strategis tahun 2016–2021 Dinas Pariwisata Halmahera Utara tidak mengkaji mengenai ambang batas kawasan destinasi wisata pemandian air panas Mamuya sebagai parameter lingkungan (Pariwisata, 2019). Dan kenyataannya berdasarkan pemantauan lapangan, timbunan sampah plastik ditemukan pada kawasan destinasi yang dimaksud. Selain itu krusialnya pemanfaatan ambang batas merujuk pada Ruan *et al.*, (2019) berfungsi sebagai proteksi perubahan lingkungan. Karena hasil penelitian mereka yakni ambang batas menginformasikan keamanan ekologi destinasi wisata sungai Yangtze 0.621 terhitung sejak tahun 2011 hingga 2016.

Mengacu pada uraian paragraf sebelumnya, maka daya dukung merupakan suatu alat ukur pengelolaan dan monitoring destinasi pariwisata. Menyelami uraian daya dukung yang telah dijabarkan sebelumnya sehingga memunculkan pertanyaan sebagai berikut. Berapa nilai ambang batas destinasi wisata pemandian air panas Mamuya?. Fokus penelitian ini yakni menjawab pertanyaan tersebut.

METODE

Metode yang digunakan yakni deskriptif analitik dan penggunaan metode tersebut, guna menganalisis distribusi kunjungan serta penetapan ambang batas wisatawan. Data dalam penelitian ini terbagi atas dua yakni data primer dan sekunder. Data primer berupa luas area, sedangkan data sekunder berasal dari Dinas Pariwisata Halmahera Utara yaitu jumlah kunjungan tahun 2018. Prosedur dalam penelitian ini meliputi: 1)

Menentukan luas wilayah. Penentuan luas wilayah yakni pengukuran lokasi wisata dengan GPS, kemudian pengolahannya menggunakan ArcGIS; 2) Membuat kurva distribusi kunjungan guna melihat pola kunjungan wisatawan; 3) Menentukan persamaan matematika guna menganalisis kasus distribusi kunjungan wisatawan. Persamaan matematika mengacu pada Kantorovich, (2016); Demenchuk & Makarov, (2009); Cash, (2000); Garside, 1968) dan dituangkan ke dalam persamaan (1). Pemilihan persamaan (1) berdasarkan kurva distribusi kunjungan wisatawan yang menunjukkan pola tidak beraturan.

$$y = p_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2 + \dots + a_nx_0^n &= y_0 \\ a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \dots + a_nx_1^n &= y_1 \\ \dots &\dots \\ a_n + a_nx_n + a_nx_n^2 + \dots + a_nx_n^n &= y_n \end{aligned}$$

; 4) Menentukan model matematika dalam menganalisis ambang batas wisatawan pemandian air panas Mamuya. Model matematika yang digunakan dituliskan ke dalam persamaan (2) (Brauer & Castillo-Chavez, 2012; Bacaër, 2011; Dawed et al., 2014; Silva et al., 2015; Rahmani & Saraj, 2015).

$$\frac{dN}{dT} = rN \left(\frac{1 - N}{K} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana: dN/dT = Kerapatan populasi dalam selang t (waktu), r = Tingkat kenaikan populasi, N = Jumlah populasi, dan K = Daya dukung. Persamaan (2) merupakan gambaran populasi wisatawan $N(t)$. Guna melihat nilai ambang batas, maka dengan cara mendeferensialkan persamaan (2) menghasilkan solusi analitik persamaan (3).

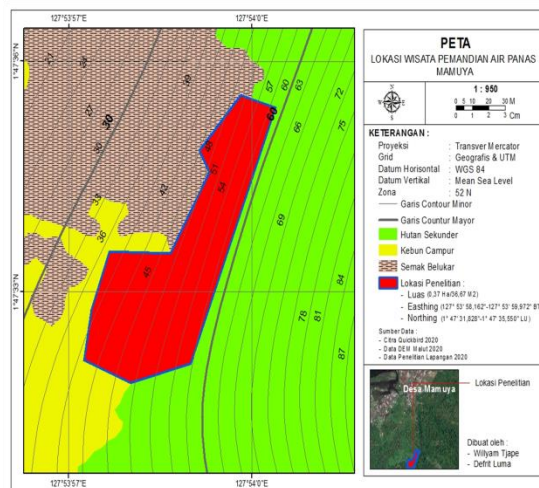
$$N = \frac{K}{1 + [(K - N_0)/N_0]e^{-rt}} \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan (3) merupakan model matematika yang diaplikasikan guna

mengetahui ambang batas wisatawan dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

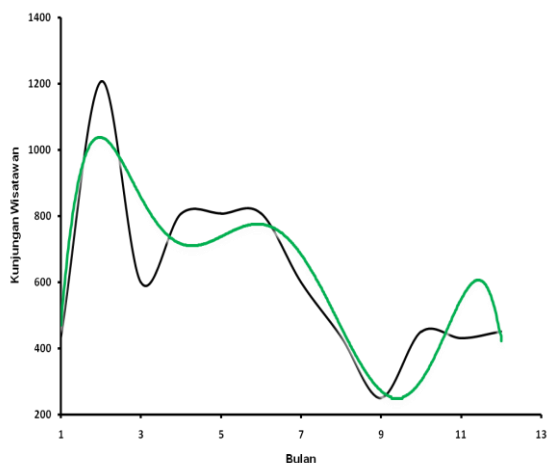
Luasan lokasi wisata pemandian air panas Mamuya dan titik koordinat, maupun deskripsi singkat mengenai batasan area dirangkum oleh Gambar 1.



Gambar 1 Peta wisata pemandian air panas mamuya.

Warna merah Gambar 1 menunjukkan lokasi wisata, dan terdapat pemandian khusus dewasa dan anak-anak, serta ditambah dengan area tempat mencuci pakaian oleh masyarakat sekitar. Lokasi tersebut selalu ramai oleh wisatawan lokal, baik yang sekedar menikmati suguhan alam maupun yang datang untuk menikmati panasnya air di lokasi wisata. Mengacu pada peninjauan secara langsung di lapangan, ditemukan sampah plastik yang berasal dari wisatawan dan masyarakat sekitar. Hasil tinjauan lapangan sejalan dengan laporan Ahmad et al., (2018) yakni resiko yang diterima lingkungan karena melonjaknya wisatawan di Cina menyebabkan polusi sampah plastik di danau. Semakin mempertegas berdasarkan kajian kerangka multivariat Tiwari et al., (2020) memaparkan pariwisata di Bhutan berkorelasi dengan polusi lingkungan. Disamping itu, uraian sampah 'plastik di kawasan destinasi wisata pemandian air panas Mamuya tidak memaparkan analisis sumbangan sampah plastik dari wisatawan dan masyarakat sekitar. Tapi hanya memberikan informasi lapangan seperti uraian sebelumnya.

Menerapkan persamaan (1) seperti yang tertuang dalam metode penelitian, analisis distribusi kunjungan wisatawan dipaparkan ke dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kurva data sekunder dan polynomial orde-6.

Tabel 1. Fungsi semata luaran analisis persamaan (1) untuk ke-5 orde lainnya

| Fungsi Semata | R ² | Orde-n |
|---|----------------|--------|
| $y = -41.71x + 887.4$ | 0.333 | 1 |
| $y = -3.188x^2 - 0.272x + 780.7$ | 0.531 | 2 |
| $y = 3.689x^3 - 75.14x^2 + 389.0x - 277.0$ | 0.562 | 3 |
| $y = -0.333x^4 + 12.34x^3 - 149.5x^2 + 625.2x + 69.24$ | 0.576 | 4 |
| $y = 0.106x^5 - 3.784x^4 + 53.18x^3 - 362.4x^2 + 1090x - 243.7$ | 0.587 | 5 |

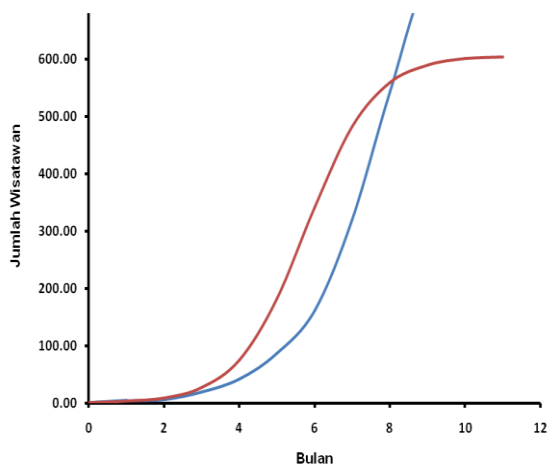
Kurva hitam (Gambar 2) merupakan data sekunder, sedangkan kurva hijau merupakan fungsi semata yang dibentuk dari persamaan $y = -0.179x^6 + 7.086x^5 - 109.0x^4 + 824x^3 - 3176x^2 + 5756x - 2832$

atau dengan kata lain merupakan polinomial orde-6 dan $R^2 = 0.793$. Sedangkan analisis orde-1 hingga orde-5 dirangkum ke dalam Tabel 1.

Menggunakan persamaan (1) Baldigara & Koic, (2015) melaporkan kedatangan wisatawan yakni $y = 8.7937x^2 - 75.988x + 1678.9$ dan $R^2 = 0.864$, sedangkan wisatawan yang menginap ialah $y = 72.953x^2 - 555.68x + 117.56$ serta $R^2 = 0.957$. Selain itu total wisatawan tahun 2003 yakni $GTA = 1539.157 + 29.53636z + 8.793706z^2$ $R^2 = 0.83$ dan pada tahun yang sama, banyaknya wisatawan yang menginap $GTN = 11048.74 + 3197636z + 72.95338z^2$ serta $R^2 = 0.947$. Fungsi semata dari penelitian mereka merupakan polinomial orde-2 dan menunjukkan terjadinya kenaikan jumlah wisatawan. Sedangkan dalam penelitian ini, orde-2 (Tabel 1) menunjukkan nilai R^2 lebih rendah dari pada penelitian mereka. Tapi untuk orde-6, nilai R^2 mendekati 1 atau 0.793 dan menunjukkan kesamaan, dimana nilai positif orde-6 memperlihatkan kenaikan wisatawan. Selain itu penurunan wisatawan diwakili oleh nilai negatif orde-6. Disamping itu deret waktu diwakili oleh Gambar 2 (kurva hijau) dan Tabel 1, tidak lain ialah urutan variabel acak x_1, x_2, \dots, x_n mengartikan x_1 menunjukkan setiap nilai di seri waktu ke-1. Sedangkan periode waktu ke-2 ialah variabel x_2 , dan seterusnya untuk setiap seri waktu (x_n). Merujuk pada Ivakhnenko, (1971) untuk kasus sistem dinamis, tahap awal pemodelan sistem tersebut dapat mengacu pada fungsi polinomial prediktif (persamaan 1) guna memaparkan sistem secara umum. Keuntungan persamaan (1) menurut dia memungkinkan menemukan persamaan optimasi. Untuk penelitian ini persamaan optimasi dapat terwakili oleh setiap orde. Luaran fungsi semata (kurva hijau dan Tabel 1) menyimpulkan transformasi struktur non-liner orde-2 sampai orde-6 menjadi sederhana dan mudah dalam interpretasi hasil analisis. Penyelidikan Nandi, (2020) yakni teknik pemodelan pada kasus deret waktu dapat menerapkan fungsi polinomial untuk deret yang dimaksud atau kata lainnya mampu menunjukkan profil data sekunder. Pernyataan sebelumnya dapat terlaksana asalkan setiap nilai koefisien polinomial

bukan menjadi perhatian khusus. Karena hasil uji simulasi data dengan dua metode berbeda menghasilkan eror yang hampir sama. Metode pertama ialah polinomial orde-3 dari fungsi $p + 1 = 4$ eror $6.6 \times 10^{-13} \pm 2.7 \times 10^{-12}$. Adapun metode ke dua autoregresi $q = 4$ menunjukkan eror $7.2 \times 10^{-10} \pm 1.6 \times 10^{-9}$. Secara umum penerapan persamaan (1) dalam penelitian ini, memberikan informasi mengenai distribusi kunjungan disetiap selang waktu tertentu.

Uraian penggunaan persamaan (2) dalam metode penelitian menghasilkan kurva logistik/kunjungan wisatawan (warna biru), sedangkan persamaan (3) merupakan representasi populasi maksimum kunjungan wisatawan dengan kata lain merupakan kurva ambang batas atau daya dukung wisatawan Gambar 3 (warna merah).



Gambar 3. Kurva persamaan (2) dan (3).

Luaran analisis yang divisualisasikan Gambar 3, berupa jumlah wisatawan selama satu tahun, yakni dengan jumlah kunjungan menyentuh angka 737.15 wisatawan. Sedangkan analisis ambang batas pada angka 606.25 wisatawan per tahun. Hasil analisis ini menjelaskan bahwa kapasitas area wisata berbanding terbalik dengan jumlah kunjungan wisatawan dalam setahun, menyebabkan terjadinya kelebihan kapasitas. Disamping itu, dengan mendistribusikan batasan ambang batas wisatawan untuk tiap bulannya dalam setahun, maka per bulan ambang batas yakni 50.52 wisatawan. Berdasarkan analisis ini, maka diperlukan perhatian yang

serius oleh pemerintah daerah dalam manajemen pengelolaan kawasan wisata pemandian air panas Mamuya. Kelebihan kapasitas merupakan wujud tidak adanya tata kelola yang berbasis ekologi. Berbeda dengan laporan Armono *et al.*, (2017) dimana ambang batas kunjungan wisatawan per hari 3.288 di Taman Nasional Baluran. Penentuan ambang batas di tanaman tersebut menunjukkan pengelolaan berbasis ekologi yang mana jumlah kunjungan wisatawan dan resiko rusaknya lingkungan dapat dikendalikan serta penentuan ambang batas tersebut yakni menggunakan persamaan (3).

Krusialnya kajian daya dukung sebagai bahan monitoring sumber daya lingkungan dari berbagai aspek. Hal ini terlampir pada laporan Widodo *et al.*, (2015) yakni Yogyakarta dengan luas area 15.535.21 Ha. Luaran analisis ambang batas pemakaian lahan oleh masyarakat terjadi pada tahun 2263 dengan total pemakaian area sebanyak 15.000 Ha. Sedangkan ketersediaan air mencapai 155.449.579 m³. Adapun analisis ambang batas dengan asumsi ketersediaan air yang statis dan memperhitungkan peningkatan populasi masyarakat, maka proyeksi ambang batas menunjukkan pada tahun 2161 dengan total pemakaian mencapai 140.000.000 m³.

Mengingat destinasi wisata pemandian air panas Mamuya berbasis ekowisata. Merujuk pada Peng *et al.*, (2018); Zhiming *et al.*, (2018) Peng *et al.*, (2018); Zhiming *et al.*, (2018) kelebihan kapasitas pada suatu kawasan merupakan akar perubahan kondisi ekosistem suatu daerah. Sedangkan pernyataan McCool & Lime, (2001); Wang *et al.*, (2019) kajian ambang batas sangat krusial penggunaannya, karena pengembangan suatu wilayah harus didasarkan atas kajian yang dimaksud. Sebagai contoh laporan Barros *et al.*, (2015) dampak aktivitas wisatawan tanpa adanya kajian ambang batas di pegunungan Andes berimbas pada perubahan penutupan lahan dan menimbulkan masalah sampah plastik. Lainnya Gurtner, 2016 melaporkan keberhasilan Indonesia dalam mempromosikan Bali sebagai destinasi wisata, berdampak positif pada pendapatan

nasional mencapai 30% tahun 2010. Sedangkan negatifnya yakni terjadi perubahan tata guna lahan karena meningkatnya wisatawan, dan berpotensi pada masalah lingkungan. Potensi tersebut menurut dia, karena pengambilan keputusan mengenai pariwisata tidak memperhatikan kajian ambang batas wisatawan dalam pengelolaan pariwisata berkelanjutan. Pihak lain Marshall & Quental, (2016); Ye *et al.*, (2020) menyebutkan degradasi suatu organisme berdasarkan ruang dan waktu sejalan dengan meningkatnya suatu aktivitas manusia yang digambarkan oleh kurva logistik. Tapi menggunakan kajian ambang batas memungkinkan penekanan laju degradasi suatu organisme. Dibuktikan melalui kajian Yajuan *et al.*, (2013) tanpa adanya penerapan ambang batas wisatawan terekam kemaman ekologi di Wuhan tahun 2004 pada fase sensitif (5,8023). Tapi setelah menerapkan ambang batas terjadi perubahan tingkat keamanan ekologi tahun 2010 yakni pada fase aman (6,459).

Menyelami uraian analisis ambang batas wisatawan dan kajian terdahulu yang telah dibahas pada pernyataan sebelumnya. Maka penentuan ambang batas suatu populasi organisme pada kawasan tertentu seperti destinasi wisata sangat penting sebagai bahan monitoring dan evaluasi, karena mampu mengendalikan populasi m sehingga mengurangi resiko perubahan bentang alam di suatu kawasan.

SIMPULAN

Memahami kembali penjabaran hasil penelitian dan komparasi dengan peneliti terdahulu. Maka penerapan polinomial mampu memberikan informasi secara umum mengenai deret waktu dan fungsi berupa nilai prediksi untuk setiap deret waktu atau perubahan tingkat kunjungan wisatawan. Sedangkan analisis kunjungan wisatawan menghasilkan kunjungan tertinggi sepanjang tahun 2018 yakni 737.15 wisatawan dan divisualisasikan oleh kurva logistik. Hasil tersebut terbalik dengan daya dukung area, karena nilai daya dukung yang dimaksud yakni 606.25 wisatawan per tahun. Kelebihan kapasitas wisatawan yang terjadi di pemandian air panas Mamuya

menimbulkan tekanan terhadap lingkungan yakni masalah limbah plastik. Hasil penelitian ini mengharuskan pihak pengelola memperhatikan keamanan ekologi kawasan destinasi wisata pemandian air panas Mamuya. Sehingga kedepannya meminimalisir perubahan bentang alam maupun hilangnya suatu keanekaragaman hayati di kawasan wisata pemandian air panas Mamuya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis kepada Dinas Pariwisata Halmahera Utara yang mana menyediakan kebutuhan penelitian berupa data kunjungan wisatawan tahun 2018. Dan kepada Defrit Luma yang telah meluangkan waktu dalam pembuatan peta lokasi wisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Draz, M., Su, L., Ozturk, I., & Rauf, A. (2018). Tourism and Environmental Pollution: Evidence from the One Belt One Road Provinces of Western China. *Sustainability*, 10(10), 3520. <https://doi.org/10.3390/su10103520>
- Ardhyanto, A., & Ardiani, N. A. (2017). Tourism Impacts of Sail Komodo to the Development of Komodo District, Indonesia. In C. Silver, L. Marques, H. Hanan, & I. Widiastuti (Eds.), *Proceedings of the 6th International Conference of Arte-Polis* (Issue October 2018, pp. 187–195). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5481-5_18
- Ardiantiono, Jessop, T. S., Purwandana, D., Ciofi, C., Jeri Imansyah, M., Panggur, M. R., & Ariefiandy, A. (2018). Effects of Human Activities on Komodo Dragons in Komodo National Park. *Biodiversity and Conservation*, 27(13), 3329–3347. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1601-3>
- Armono, H. D., Rosyid, D. M., & Nuzula, N. I. (2017). Carrying Capacity Model Applied to Coastal Ecotourism of Baluran National Park, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 79(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/79/1/012004>

- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., Jansson, B.-O., Levin, S., Mäler, K.-G., Perrings, C., & Pimentel, D. (1995). Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Ecological Economics*, 15(2), 91–95. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- Ayuni, D., & Priyana, E. B. (2019). Analysis of Mount Rinjani National Park's Carrying Capacity Using Sustainable Tourism Management Model. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(12), 3951–3957. website: <http://www.ijstr.org>
- Bacaër, N. (2011). *A Short History of Mathematical Population Dynamics* (Vol. 148). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8>
- Baldigara, T., & Koic, M. (2015). Modelling the International Tourism Demand in Croatia Using a Polynomial Regression Analysis. *Turisticko Poslovanje*, 15, 29–38. <https://doi.org/10.5937/TurPos1515029B>
- Barros, A., Monz, C., & Pickering, C. (2015). Is Tourism Damaging Ecosystems in the Andes? Current Knowledge and an Agenda for Future Research. *AMBIO*, 44(2), 82–98. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0550-7>
- Braithwaite, J. E., Meeuwig, J. J., & Jenner, K. C. S. (2012). Estimating Cetacean Carrying Capacity Based on Spacing Behaviour. *PLoS ONE*, 7(12), e51347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051347>
- Brauer, F., & Castillo-Chavez, C. (2012). *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology* (Vol. 40). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1686-9>
- Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., & West, G. B. (2004). Toward a Metabolic Theory Of Ecology. *Ecology*, 85(7), 1771–1789. <https://doi.org/10.1890/03-9000>
- Carbone, C., & Gittleman, J. L. (2002). A Common Rule for the Scaling of Carnivore Density. *Science*, 295(5563), 2273–2276. <https://doi.org/10.1126/science.1067994>
- Cash, G. G. (2000). The Permanent Polynomial. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 40(5), 1203–1206. <https://doi.org/10.1021/ci000031d>
- Castellani, V., Sala, S., & Pitea, D. (2007). A New Method for Tourism Carrying Capacity Assessment. *Ecosystems and Sustainable Development VI, I*, 365–374. <https://doi.org/10.2495/ECO070341>
- Cole, D. N. (2004). Impacts of Hiking and Camping on Soils and Vegetation: A Review. In R. Buckley (Ed.), *Environmental impacts of ecotourism* (Ecotourism, pp. 41–60). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851998107.0041>
- da Silva, C. P. (2002). Beach Carrying Capacity Assessment: How important is it? *Journal of Coastal Research*, 36, 190–197. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.190>
- Dalengkade, M. N. (2019). Pemodelan Reaksi Suhu Udara terhadap Penyinaran Cahaya Matahari dalam Hutan Bakau. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 13(2), 061–068. <https://doi.org/10.30598/barekengvol13iss2pp061-068ar732>
- Dalengkade, M. N. (2020a). Profil 24 Jam Kuat Penerangan, Suhu Udara, Kelembaban Udara di Luar dan di Dalam Hutan Mangrove. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 14(1), 047058. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss1pp047058>
- Dalengkade, M. N. (2020b). Fluktuasi Temporal Kelembaban Udara di Dalam dan Luar Ekosistem Mangrove. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 14(2), 159–166. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss2pp159-166>
- Damuth, J. (1981). Population Density and Body Size in Mammals. *Nature*,

- 290(5808), 699–700.
<https://doi.org/10.1038/290699a0>
- Dawed, M. Y., Koya, P. R., & Goshu, A. T. (2014). Mathematical Modelling of Population Growth: The Case of Logistic and Von Bertalanffy Models. *Open Journal of Modelling and Simulation*, 02(04), 113–126.
<https://doi.org/10.4236/ojmsi.2014.24013>
- Deka, G., & Pachuau, R. (2019). Carrying Capacity Analysis in Mizoram Tourism. *Senhri Journal of Multidisciplinary Studies*, 4(1), 30–37.
<https://doi.org/10.36110/sjms.2019.04.01.004>
- Del Monte-Luna, P., Brook, B. W., Zetina-Rejón, M. J., & Cruz-Escalona, V. H. (2004). The Carrying Capacity of Ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 13(6), 485–495.
<https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00131.x>
- Demenchuk, A. K., & Makarov, E. K. (2009). Explicit Polynomial Formulas for Solutions of the Matrix Equation $AX-XA=C$. *Journal of Mathematical Physics*, 50(8), 083508.
<https://doi.org/10.1063/1.3187779>
- Garside, G. R. (1968). A New Method for Solving Polynomial Equations. *The Computer Journal*, 11(1), 87–90.
<https://doi.org/10.1093/comjnl/11.1.87>
- Getz, D., & Page, S. J. (2016). Progress and Prospects for Event Tourism Research. *Tourism Management*, 52, 593–631.
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.03.007>
- Gurtner, Y. (2016). Returning to Paradise: Investigating Issues of Tourism Crisis and Disaster Recovery on the Island of Bali. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 28, 11–19.
<https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2016.04.007>
- Ivakhnenko, A. G. (1971). Polynomial Theory of Complex Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-1(4), 364–378.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1971.4308320>
- Jessop, T. S., Ariefiandy, A., Forsyth, D. M., Purwandana, D., White, C. R., Benu, Y. J., Madsen, T., Harlow, H. J., & Letnic, M. (2020). Komodo Dragons are not Ecological Analogs of Apex Mammalian Predators. *Ecology*, 101(4), 1–11.
<https://doi.org/10.1002/ecy.2970>
- Kantorovich, L. (2016). *Mathematics for Natural Scientists*. Springer New York.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2785-2>
- Kostopoulou, S., & Kyritsis, I. (2006). A Tourism Carrying Capacity Indicator for Protected Areas. *Anatolia*, 17(1), 5–24.
<https://doi.org/10.1080/13032917.2006.9687024>
- Lgbozurike, U. M. (1981). The Concept of Carrying Capacity. *Journal of Geography*, 80(4), 141–149.
<https://doi.org/10.1080/00221348108980663>
- Marshall, C. R., & Quental, T. B. (2016). The Uncertain Role of Diversity Dependence in Species Diversification and the Need to Incorporate Time-Varying Carrying Capacities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1691), 20150217.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0217>
- May, R., & McLean, A. R. (2007). Theoretical Ecology: Principles and Applications. In R. May & A. R. McLean (Eds.), *Oxford Scholarship Online: November 2020* (Third Edit, Vol. 95, Issue 1). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780199209989.001.0001>
- McCool, S. F., & Lime, D. W. (2001). Tourism Carrying Capacity: Tempting Fantasy or Useful Reality? *Journal of Sustainable Tourism*, 9(5), 372–388.
<https://doi.org/10.1080/09669580108667409>
- Nandi, A. K. (2020). Data Modeling with Polynomial Representations and Autoregressive Time-Series Representations, and Their Connections. *IEEE Access*, 8, 110412–110424.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000860>
- Navarro Jurado, E., Tejada Tejada, M., Almeida García, F., Cabello González, J., Cortés Macías, R., Delgado Peña,

- J., Fernández Gutiérrez, F., Gutiérrez Fernández, G., Luque Gallego, M., Málvarez García, G., Marcenaro Gutiérrez, O., Navas Concha, F., Ruiz de la Rúa, F., Ruiz Sinoga, J., & Solís Becerra, F. (2012). Carrying Capacity Assessment for Tourist Destinations. Methodology for the Creation of Synthetic Indicators Applied in a Coastal Area. *Tourism Management*, 33(6), 1337–1346. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.12.017>
- Nghi, T., Lan, N. T., Thai, N. D., Mai, D., & Thanh, X. (2007). Tourism Carrying Capacity Assessment for Phong Nha - Ke Bang And Dong Hoi, Quang Binh Province. *VNU Journal of Science Earth Sciences*, 23, 80–87. <http://repository.vnu.edu.vn/handle/11126/4539>
- Pariwisata, D. (2019). *Perubahan Rencana Strategis (P-RENSTRA) Tahun 2016 s/d 2021*. Dinas Pariwisata Kabupaten Halmahera Utara.
- Peng, B., Wang, Y., Elahi, E., & Wei, G. (2018). Evaluation and Prediction of the Ecological Footprint and Ecological Carrying Capacity for Yangtze River Urban Agglomeration Based on the Grey Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2543. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112543>
- Rahmani, D., & Saraj, M. (2015). The Logistic Modeling Population: Having Harvesting Factor. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 25(1), 107–115. <https://doi.org/10.2298/YJOR130515038R>
- Ruan, W., Li, Y., Zhang, S., & Liu, C.-H. (2019). Evaluation and Drive Mechanism of Tourism Ecological Security Based on the DPSIR-DEA Model. *Tourism Management*, 75(July), 609–625. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.06.021>
- Shaofeng, C. (2004). Carrying Capacity: An Overview. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 2(1), 35–40. [https://doi.org/10.10677347](https://doi.org/10.1080/10042857.2004.10677347)
- Sharma, R. (2016). Evaluating Total Carrying Capacity of Tourism Using Impact Indicators. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(2), 187–196. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2016.02.009>
- Silva, A. A. da, Silva e Meirelles, D., & Porto, E. C. (2015). Development Cycle and Carrying Capacity. *Management Research: The Journal of the Iberoamerican Academy of Management*, 13(3), 285–314. <https://doi.org/10.1108/MRJIAM-06-2014-0554>
- Simón, F. J. G., Narangajavana, Y., & Marqués, D. P. (2004). Carrying Capacity in the Tourism Industry: A Case Study of Hengistbury Head. *Tourism Management*, 25(2), 275–283. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(03\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(03)00089-X)
- Tiwari, A. K., Nasreen, S., & Iqbal, Z. (2020). Nexus Between Tourism and Environmental Pollution in South Asia: A Comparative Analysis Using Time-Varying And Non-Parametric Techniques. *Current Issues in Tourism*, 0(0), 1–25. <https://doi.org/10.1080/13683500.2020.1862070>
- Wang, Y., Peng, B., Wei, G., & Elahi, E. (2019). Comprehensive Evaluation and Spatial Difference Analysis of Regional Ecological Carrying Capacity: A Case Study of the Yangtze River Urban Agglomeration. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 3499. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183499>
- White, R. S. A., Wintle, B. A., McHugh, P. A., Booker, D. J., & McIntosh, A. R. (2017). The Scaling of Population Persistence With Carrying Capacity does not Asymptote in Populations of A Fish Experiencing Extreme Climate Variability. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1856), 20170826. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0826>
- Widodo, B., Lupyanto, R., Sulistiono, B., Harjito, D. A., Hamidin, J., Hapsari, E.,

- Yasin, M., & Ellinda, C. (2015). Analysis of Environmental Carrying Capacity for the Development of Sustainable Settlement in Yogyakarta Urban Area. *Procedia Environmental Sciences*, 28(Sustain 2014), 519–527. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.062>
- Yajuan, L., Tian, C., Jing, H., & Jing, W. (2013). Tourism Ecological Security in Wuhan. *Journal of Resources and Ecology*, 4(2), 149–156. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2013.02.007>
- Ye, F., Park, J., Wang, F., & Hu, X. (2020). Analysis of Early Warning Spatial and Temporal Differences of Tourism Carrying Capacity in China's Island Cities. *Sustainability*, 12(4), 1328. <https://doi.org/10.3390/su12041328>
- Zacarias, D. A., Williams, A. T., & Newton, A. (2011). Recreation Carrying Capacity Estimations to Support Beach Management at Praia De Faro, Portugal. *Applied Geography*, 31(3), 1075–1081. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.020>
- Zhiming, F., Tong, S., Yanzhao, Y., & Huimin, Y. (2018). The Progress of Resources and Environment Carrying Capacity: from Single-factor Carrying Capacity Research to Comprehensive Research. *Journal of Resources and Ecology*, 9(2), 125–134. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2018.02.002>
- Zhou, X.-Y., Zheng, B., & Khu, S.-T. (2019). Validation of the Hypothesis on Carrying Capacity Limits Using the Water Environment Carrying Capacity. *Science of The Total Environment*, 665, 774–784. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.146>
- Ziaabadi, M., Malakootian, M., Zare Mehrjerdi, M. R., Jalaei, S. A., & Mehrabi Boshrabadi, H. (2017). How to Use Composite Indicator and Linear Programming Model for Determine Sustainable Tourism. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0271-5>