

PERENCANAAN INFRASTRUKTUR DASAR UNTUK MENDUKUNG LINGKUNGAN DAN PARIWISATA BERKELANJUTAN DISTRIK WAISAI RAJA AMPAT

Winda Hanifah^{1*}, Agus Rahayu², Stirena Rossy Tamariska³

¹ Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Syiah Kuala, Jl. Teuku Nyak Arief No.441 Kopelma Darussalam, Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

² PT Studio Cilaki Empat Lima, Development Consultant, Jl. Budi Sari Raya No. 12-B Hegarmanah, Cidadap, Bandung, Indonesia

³ Arsitektur, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Jl. Terusan Ryacudu Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan, Indonesia

* Corresponding e-mail : winda.hanifah@usk.ac.id

DOI : 10.35472/jppk.v6i2.2978

ABSTRACT

Population growth and rising tourist arrivals in Waisai District, Raja Ampat Regency, are likely to increase pressure on basic infrastructure and environmental carrying capacity. This study analyzes projected population and tourist growth through 2041 and identifies the basic infrastructure needs required to support environmental sustainability and sustainable tourism. Using a quantitative-descriptive approach, population was projected with the arithmetic method, while tourist arrivals were projected using linear trend and growth-scenario approaches. Results show the total service population (residents and tourists) will grow from 26,067 in 2022 to 60,551 by 2041. Clean water demand is projected to rise from 33.9 L/s to 85.4 L/s, with raw water demand reaching approximately 94.0 L/s. Greywater generation is expected to reach 5,195,597 L/day, blackwater 38,437 L/day, and fecal sludge management needs approximately 30.7 m³/day. Municipal solid waste generation is projected to increase from 22,958 kg/day to 53,330 kg/day, remaining dominated by residential sources but with growing contributions from tourism. These findings indicate that water supply, sanitation, and solid waste infrastructure should be developed in a phased, projection-based manner to accommodate population and tourism growth, thereby preserving environmental carrying capacity and supporting Raja Ampat's long-term sustainability as a world-class ecotourism destination.

Keywords: sustainable tourism, basic infrastructure, Raja Ampat

A. PENDAHULUAN

Destinasi pulau di seluruh dunia, termasuk Raja Ampat, memiliki ketergantungan yang signifikan pada sektor pariwisata sebagai sumber pendapatan utama (Graci & Dodds, 2010; Podhorodecka, 2018). Keindahan alam yang seringkali menjadi daya tarik utama pariwisata di pulau-pulau tersebut, juga sangat rentan terhadap tekanan eksploitasi berlebihan yang dapat muncul dari aktivitas pariwisata itu sendiri (Hampton & Jeyacheya, 2020). Konsep pariwisata berkelanjutan, sebagaimana didefinisikan oleh UNEP & WTO (2005), menekankan pentingnya mempertimbangkan dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan saat ini dan masa depan, serta memenuhi kebutuhan pengunjung, industri, lingkungan, dan masyarakat lokal. Pencapaian keberlanjutan jangka panjang memerlukan keseimbangan yang cermat antara ketiga dimensi tersebut.

Data populasi Raja Ampat menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Pada Sensus 2010, jumlah penduduk tercatat 42.508 jiwa, meningkat menjadi 64.141 jiwa pada Sensus 2020. Pada tahun 2024 menurut BPS Raja Ampat menunjukkan populasi mencapai 70.061 jiwa. Kota Waisai, sebagai ibu kota Raja

Ampat, juga mengalami peningkatan populasi yang serupa. Jumlah penduduk Kota Waisai tercatat 21.797 jiwa pada Sensus 2020, meningkat menjadi 22.541 jiwa pada tahun 2021, dan diperkirakan mencapai 23.100 jiwa pada pertengahan 2024. Raja Ampat sebagai salah satu destinasi pariwisata premium di Indonesia, mengalami lonjakan wisatawan mencapai 33.277 kunjungan pada 2024 dan menargetkan 45.000 pada 2025. Namun, kapasitas lingkungan hanya mendukung sekitar 21.000 wisatawan per tahun, dengan batas fisik harian sekitar 7.675 kunjungan (Tjilen *et al.*, 2022). Kesenjangan antara target dan daya dukung ini menimbulkan risiko serius terhadap kelestarian lingkungan, sehingga dibutuhkan manajemen pariwisata yang lebih hati-hati dan berkelanjutan.

Pulau-pulau kecil dan terpencil, menghadapi tantangan besar dalam mengamankan pasokan dan ketahanan air bersih, dimana masih sangat bergantung pada impor air dari daratan menggunakan kapal tanker, yang tidak hanya mahal tetapi juga berkontribusi pada polusi (Kourtis *et al.*, 2019). Pengelolaan air limbah yang efektif juga merupakan hal penting untuk kesehatan dan lingkungan. Limbah diklasifikasikan sebagai *greywater* (dari mandi dan mencuci, mudah didaur ulang) dan *blackwater* (dari toilet dan dapur, memerlukan pengolahan khusus) (Sha *et al.*, 2024). Permasalahan lain dimana ekosistem pulau yang rentan dan lonjakan sampah musiman akibat wisatawan sering melebihi kapasitas pengelolaan sampah lokal, kondisi ini dapat menyebabkan polusi lingkungan dari limbah padat (Lukman *et al.*, 2022). Raja Ampat berpotensi menghadapi krisis air bersih, pengelolaan limbah yang tidak optimal, dan kelebihan beban sampah musiman akibat lonjakan wisatawan yang dapat memperparah kerentanan ekosistem pulau.

Pembangunan infrastruktur yang tidak terencana dengan baik atau berlebihan dapat menyebabkan degradasi lingkungan yang serius (Judijanto *et al.*, 2024). Dampak negatif ini mencakup kerusakan habitat alami, timbulnya masalah pengelolaan limbah yang tidak terkendali, kelangkaan air bersih (Arbulú *et al.*, 2024), peningkatan polusi cahaya dan suara, serta bahkan invasi spesies non-asli yang mengganggu ekosistem lokal. Raja Ampat, yang diakui secara global sebagai destinasi ekowisata kelas dunia (Hanifah & Al-Fath, 2024) dan telah ditetapkan sebagai UNESCO Global Geopark, menghadapi tantangan yang kompleks dalam menyeimbangkan pertumbuhan pariwisata dengan upaya pelestarian lingkungan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat lokal.

Beberapa penelitian terdahulu terkait pariwisata di wilayah kepulauan, menurut Junaid *et al.* (2020) seharusnya pariwisata bisa membantu wilayah kepulauan tersebut menjaga kelangsungan hidup alamnya, terlebih jika memang alam tersebut yang menjadi daya tariknya. Konsep pariwisata berkelanjutan dikenalkan sebagai suatu aspirasi yang bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif dan memaksimalkan dampak positif dari aktivitas pariwisata (Pan *et al.*, 2018; Tiang, 2024). Dampak positif yang diupayakan termasuk penciptaan lapangan kerja, pelestarian dan interpretasi warisan budaya, pelestarian satwa liar, serta restorasi lanskap (Gupta *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2006). Penelitian lain oleh Sufa *et al.* (2024), menyatakan bahwa infrastruktur memegang peran yang sangat penting dalam pengembangan pariwisata berkelanjutan dan secara langsung memengaruhi tingkat kepuasan wisatawan. Keberadaan infrastruktur yang memadai, seperti akomodasi yang terawat, fasilitas komunikasi yang handal, layanan darurat yang responsif (Sugiana

et al., 2022), serta sistem pengelolaan limbah dan penyediaan air minum bersih yang efisien (Wani, 2024), dapat secara signifikan meningkatkan citra destinasi dan membangun loyalitas wisatawan. Selain itu, menurut Graci & Dodds (2010) juga menegaskan bahwa pengelolaan pariwisata pulau memerlukan partisipasi aktif masyarakat lokal, kepemimpinan politik yang kuat, serta inovasi dalam bentuk kemitraan multi-pemangku kepentingan untuk mengurangi potensi dampak negatif pariwisata terhadap lingkungan dan sosial budaya.

Beberapa studi memperlakukan tekanan penduduk lokal dan tekanan kunjungan wisatawan sebagai dua variabel yang terpisah, atau bahkan hanya berfokus pada salah satunya, padahal perencanaan infrastruktur yang efektif harus memperhitungkan proyeksi pertumbuhan penduduk lokal ini di samping proyeksi kunjungan wisatawan untuk mencegah defisit kapasitas yang dapat berujung pada degradasi lingkungan (Hasna & Sutopo, 2025; Mappasomba *et al.*, 2024). Di sisi lain, kajian infrastruktur dasar kepulauan kecil (air bersih, pengelolaan air limbah, dan persampahan) belum banyak yang menempatkan kasusnya secara spesifik pada konteks Waisai. Distrik Waisai, Kabupaten Raja Ampat berdasarkan Peraturan Bupati Raja Ampat No 22 Tahun 2022 Tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Kawasan Perkotaan Waisai 2022-2024 merupakan sebagai pusat pelayanan pemerintahan, pusat perdagangan dan jasa, serta sebagai simpul transportasi, yang kemudian diperkuat melalui Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2023 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Strategis Nasional Kawasan Konservasi Keanekaragaman Hayati Raja Ampat, dimana Waisai juga ditetapkan sebagai pusat pelayanan pariwisata. Waisai memiliki peran ganda sebagai pusat pelayanan pemerintahan, perdagangan-jasa, dan transportasi sekaligus sebagai pusat pelayanan pariwisata, sebagaimana ditetapkan dalam dua produk hukum tata ruang yang berbeda tingkatan (Peraturan Bupati dan Peraturan Presiden), sehingga penataan infrastrukturnya perlu mengakomodasi kedua fungsi tersebut secara terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menggabungkan dinamika pertumbuhan penduduk lokal dan pertumbuhan kunjungan wisatawan secara bersamaan sebagai basis proyeksi kebutuhan infrastruktur dasar (air bersih, pengelolaan air limbah, dan persampahan) di kawasan dengan fungsi ganda seperti Waisai, Raja Ampat.

B. METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan tujuan untuk menganalisis proyeksi penduduk dan tingkat kunjungan wisatawan, serta mengidentifikasi kebutuhan infrastruktur permukiman yang mendukung lingkungan dan pariwisata berkelanjutan di Distrik Waisai, Kabupaten Raja Ampat. Lokasi penelitian difokuskan pada wilayah administrasi Distrik Waisai yang terdiri dari Kelurahan Waisai, Sapordanco, Bonkawir, dan Warmasen.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan terkait kondisi infrastruktur permukiman dan wawancara dengan instansi teknis, seperti Bappeda, Dinas Perumahan Rakyat, Permukiman, dan Pertamanan, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Pariwisata, dan

PDAM Kab. Raja Ampat. Data sekunder meliputi data jumlah penduduk per kelurahan dan data kunjungan wisatawan periode 2016–2020 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil, serta Dinas Pariwisata. Pemilihan periode 2016–2020 didasarkan pada keterbatasan ketersediaan data, di mana data kunjungan wisatawan yang terdokumentasi secara lengkap dan konsisten hanya tersedia pada periode tersebut.

Analisis proyeksi penduduk dilakukan menggunakan metode aritmatika (Persamaan 1 dan Persamaan 2) sebagai pendekatan tren *extrapolation* yang banyak digunakan dalam proyeksi wilayah skala kecil ketika data historis tersedia secara terbatas (Aryal, 2020; Lomax *et al.*, 2022; Santosa *et al.*, 2025). Pemilihan metode ini didasarkan pada keterbatasan data penduduk yang terdokumentasi secara konsisten pada tingkat kelurahan serta tujuan penelitian untuk mengestimasi kebutuhan infrastruktur dasar berdasarkan kecenderungan historis, bukan untuk menghasilkan prediksi demografi yang presisi.

Sementara itu, proyeksi tingkat kunjungan wisatawan dianalisis dengan pendekatan tren linier dan skenario pertumbuhan. Hasil proyeksi ini menjadi dasar dalam menghitung beban kebutuhan penyediaan infrastruktur di Waisai, Raja Ampat, khususnya air bersih, pengelolaan limbah, dan persampahan berdasarkan acuan umum yang sering digunakan di Indonesia, termasuk kriteria Ditjen Cipta Karya, SNI, dan dokumen lainnya.

$$P_n = P_0 + Ka (T_n - T_0) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Ka = \frac{P_a - P_1}{T_2 - T_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n ;
 P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar
 T_n = tahun ke n ;
 T_0 = tahun dasar;
 K_a = konstanta aritmatik;

P_1 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke I
 P_2 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir;
 T_1 = tahun ke I yang diketahui;
 T_2 = tahun akhir yang diketahui.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Proyeksi Penduduk dan Tingkat Kunjungan Wisata

Pada Pertumbuhan penduduk dan dinamika pariwisata menjadi dua faktor utama yang memengaruhi kebutuhan terhadap infrastruktur dasar permukiman dan daya dukung lingkungan (Desriani *et al.*, 2015). Oleh karena itu, analisis ini penting untuk memahami tren demografis dan pergerakan wisatawan yang akan berdampak langsung pada kapasitas kawasan dalam mengakomodasi perkembangan aktivitas sosial dan ekonomi. Data jumlah penduduk pada setiap kelurahan di Distrik Waisai yang digunakan dalam analisis ini mencakup lima tahun terakhir, yaitu dari tahun 2016 hingga 2020. Berdasarkan Tabel 1, secara umum, Distrik Waisai menunjukkan tren peningkatan jumlah penduduk yang cukup signifikan. Jumlah penduduk di Distrik Waisai meningkat dari 8.242 jiwa pada tahun 2016 menjadi 22.277 jiwa pada tahun 2020. Peningkatan tajam terlihat pada Kelurahan Waisai yang melonjak dari 2.828 jiwa pada tahun 2018 menjadi 12.726 jiwa pada tahun 2019, kemudian naik lagi menjadi 13.400 jiwa pada tahun 2020. Pola yang sama juga terlihat

pada kelurahan lainnya seperti Bonkawir dan Warmasen, yang mengalami lonjakan populasi mulai tahun 2019.

Tabel 1. Perkembangan Jumlah Penduduk Distrik Waisai Tahun 2016—2020

Kelurahan	Jumlah Penduduk				
	2016	2017	2018	2019	2020
Waisai	2.846	2.915	2.828	12.726	13.400
Sapordanco	3.753	3.845	3.729	3.063	4.460
Bonkawir	901	923	895	1.595	2.113
Warmasen	742	760	737	1.425	2.304
Distrik Waisai	8.242	8.443	8.189	18.809	22.277

Sumber: BPS dan Dukcapil Kab. Raja Ampat Tahun 2021

Kondisi ini sejalan dengan peran Distrik Waisai sebagai ibu kota Kabupaten Raja Ampat, pusat pemerintahan, perdagangan, jasa, dan simpul transportasi, sekaligus sebagai pusat pelayanan pariwisata dalam Kawasan Strategis Pariwisata Daerah (KSPD) dan Peraturan Bupati Raja Ampat No 22 Tahun 2022 Tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Kawasan Perkotaan Waisai 2022-2024. Waisai ditetapkan sebagai zona intensif yang diarahkan untuk pengembangan fasilitas pemerintahan dan pariwisata, sehingga pertumbuhan aktivitas ekonomi, pembangunan infrastruktur, dan peningkatan mobilitas penduduk cenderung terkonsentrasi di wilayah ini. Dinamika tersebut menjadikan Waisai sebagai pusat pertumbuhan yang sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas pariwisata.

Tabel 2. Estimasi Target Pariwisata Per Hari Berdasarkan Daya Dukung Aktual

Jenis Pariwisata	Lokasi	Daya Dukung Aktual 80%	Daya Dukung Aktual 90%
Selam	Selat Dampier, Sektor Gam (15)	789	887
	Misool Timur Selatan (11)	543	611
Snorkeling	Selat Dampier, Sektor Gam (8)	190	213
	Misool Timur Selatan (9)	205	230
	Danau Lenmakana (1)	30	33
	Danau Kwarapop (1)	14	15
Kayaking	Selat Dampier (8)	733	824
	Misool Timur Selatan (7)	292	329
Wisata Pantai	Area Dampier dan Misool (10)	1.477	1.661
Berenang	Area Dampier dan Misool (15)	1.505	1.693
Memberi Makan Ikan	Area Dampier dan Misool (5)	180	203
Hiking/Trekking	Wayag, Piaynemo, Harfat-Dafunlon, Dafalen (4)	60	68
Bird Watching	Saporken, Sawinggrai (3)	48	54
Wisata Air Terjun	Waringkabom, Batanta (1)	25	28
Wisata Sejarah, Budaya	Tomolol, Sunmalelen, Lenmakana, Langkasil (7)	51	58

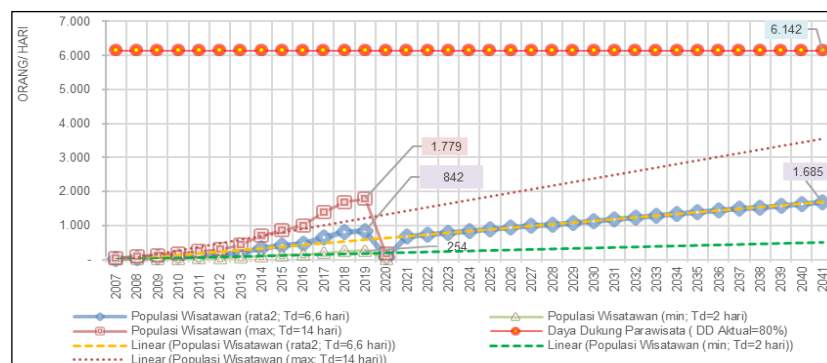
Sumber: Nikijuluw *et al.* (2017)

Kebutuhan infrastruktur permukiman di wilayah Raja Ampat tidak hanya ditentukan oleh pertambahan penduduk secara alamiah, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh besarnya beban layanan yang harus disediakan untuk memenuhi kebutuhan wisatawan. Berdasarkan buku Daya Dukung Pariwisata Berkelanjutan Raja Ampat oleh (Nikijuluw *et al.*, 2017),

diketahui bahwa kapasitas daya dukung wilayah ini terhadap aktivitas pariwisata mencakup 10 jenis kegiatan utama yang menjadi kekuatan sektor wisata di Raja Ampat, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2. Temuan tersebut menjadi dasar dalam penyusunan asumsi dan proyeksi kebutuhan infrastruktur dalam mengukur kebutuhan penyediaan infrastruktur di Waisai, Raja Ampat, khususnya air bersih, pengelolaan limbah, dan persampahan.

Pariwisata berkelanjutan sangat berkaitan dengan pemahaman dan pengelolaan daya dukung pariwisata, yaitu batas maksimum jumlah wisatawan yang dapat diterima suatu destinasi tanpa menimbulkan degradasi lingkungan, sosial, atau budaya yang signifikan (Adrianto *et al.*, 2021). Konsep ini menjadi landasan penting dalam merancang kebijakan dan infrastruktur pariwisata yang bertanggung jawab agar manfaat ekonomi tidak mengorbankan keberlanjutan sumber daya alam dan kualitas hidup masyarakat lokal (Ćulibrk *et al.*, 2025). Untuk itu, berbagai jenis daya dukung harus dipertimbangkan secara holistik, seperti daya dukung ekologis, daya dukung fisik, daya dukung sosial, serta daya dukung psikologis (Santos & Brilha, 2023).

Analisis kebutuhan infrastruktur dalam penelitian ini turut mempertimbangkan jumlah populasi wisatawan dengan menggunakan estimasi target kunjungan harian berdasarkan daya dukung actual seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Mengacu pada dokumen RIPARDA Kabupaten Raja Ampat 2014-2034 dan kajian daya dukung tersebut, diketahui bahwa rata-rata lama tinggal wisatawan di Raja Ampat mencapai 6,6 hari. Dengan asumsi ini, maka populasi wisatawan harian yang diproyeksikan hingga tahun 2041 adalah sebesar 1.685 orang. Adapun kapasitas maksimal daya dukung pariwisata harian diperkirakan sebesar 6.142 wisatawan, atau sekitar 80% dari total populasi wisatawan harian yang dapat ditampung secara berkelanjutan. Dari data tersebut diasumsikan wisatawan akan tinggal di kawasan Distrik Waisai selama 2 hari dan sisanya di lokasi remote tujuan wisata (tersebar di luar Distrik Waisai).



Sumber : Penulis (2024)

Gambar 1. Intensitas Pariwisata Serta Tren Perkembangannya terhadap Daya Dukung Aktual Parawisata Kab. Raja Ampat

Tabel 3 menyajikan proyeksi jumlah penduduk Distrik Waisai dan jumlah wisatawan di Kota Waisai (dengan lama tinggal 2 hingga 3 hari) hingga tahun 2041. Jumlah penduduk diproyeksikan meningkat signifikan dari 25.337 jiwa pada tahun 2022 menjadi 54.409 jiwa pada tahun 2041, sementara jumlah wisatawan juga menunjukkan tren kenaikan dari 730

orang menjadi 6.142 orang pada periode yang sama. Apabila kedua komponen tersebut digabungkan, total penduduk layanan (penduduk tetap dan wisatawan) meningkat dari 26.067 jiwa pada tahun 2022 menjadi 60.551 jiwa pada tahun 2041. Peningkatan jumlah penduduk yang cukup pesat beriringan dengan pertumbuhan wisatawan yang stabil ini mencerminkan adanya dinamika sosial dan potensi ekonomi di wilayah tersebut, khususnya pada sektor pariwisata yang berpeluang terus berkembang apabila didukung oleh perencanaan dan infrastruktur yang memadai. Hasil proyeksi gabungan jumlah penduduk dan wisatawan ini selanjutnya menjadi angka patokan (*baseline*) dalam menghitung kebutuhan infrastruktur dasar pada setiap tahapan tahun perencanaan di Distrik Waisai.

Tabel 3. Proyeksi Beban Kebutuhan Infrastruktur Permukiman untuk Mendukung Lingkungan dan Pariwisata Berkelanjutan Distrik Waisai 2022–2041

Tahun	Proyeksi Penduduk Distrik Waisai [a]	Proyeksi Jumlah Wisatawan di Kota Waisai (Td=2 s/d 3 hari) [b]	Jumlah [a]+[b]
2022	25.337	730	26.067
2023	26.867	1.015	27.882
2024	28.397	1.300	29.697
2025	29.928	1.585	31.513
2026	31.458	1.870	33.328
2031	39.108	3.294	42.402
2036	46.759	4.718	51.477
2041	54.409	6.142	60.551

Sumber: Penulis (2024)

2. Kebutuhan Infrastruktur Permukiman untuk Mendukung Lingkungan dan Pariwisata Berkelanjutan

2.1 Kebutuhan infrastruktur air bersih

Komponen jumlah penduduk dan wisatawan sebagai baseline dihitung secara terpisah dengan unit konsumsi masing-masing, domestik berdasarkan standar kebutuhan per kapita penduduk dan pariwisata berdasarkan standar kebutuhan per wisatawan per hari, sehingga hasil proyeksi kebutuhan air bersih berikut mencerminkan akumulasi tekanan dari kedua populasi tersebut secara proporsional. Hasil perhitungan pada Tabel 4, proyeksi kebutuhan air bersih menunjukkan bahwa total kebutuhan air di Distrik Waisai meningkat secara signifikan dari 2.926.181 L/hari (33,9 L/dt) pada tahun 2022 menjadi 7.380.258 L/hari (85,4 L/dt) pada tahun 2041. Secara komposisi, kebutuhan sambungan rumah (SR) tetap menjadi komponen dominan dalam struktur kebutuhan air bersih, dengan kontribusi sekitar 60–65% dari total kebutuhan di seluruh tahun proyeksi, meningkat dari 1.892.348 L/hari pada 2022 menjadi 4.428.812 L/hari pada 2041. Sementara kebutuhan air untuk pariwisata meningkat dari 87.659 L/hari (2022) menjadi 737.040 L/hari (2041). Angka tersebut mengindikasikan bahwa meskipun secara absolut kebutuhan domestik masih mendominasi, sektor pariwisata merupakan komponen dengan pertumbuhan tercepat yang berpotensi memberikan tekanan tambahan signifikan terhadap sistem penyediaan air bersih di masa mendatang, sehingga tidak dapat diabaikan dalam perencanaan kapasitas jangka panjang.

Komponen kebocoran domestik (ditetapkan 20% dari kebutuhan SR) turut meningkat proporsional dari 378.470 L/hari menjadi 885.762 L/hari, yang menunjukkan bahwa aspek efisiensi jaringan distribusi tetap menjadi tantangan yang harus diperhitungkan dalam

desain sistem, mengingat volume air yang hilang akibat kebocoran pada tahun 2041 saja setara dengan hampir 12% dari total kebutuhan air bersih pada tahun tersebut. Dari sisi perencanaan kapasitas produksi, penerapan faktor jam puncak (*peak hour factor*) sebesar 1,5 terhadap kebutuhan rata-rata (Q_r) menghasilkan debit puncak yang meningkat dari 50,8 L/dt (2022) menjadi 128,1 L/dt (2041). Sementara itu, kebutuhan air baku (Q_s intake), yang telah memperhitungkan faktor kehilangan air pada proses produksi, diproyeksikan meningkat dari 37,3 L/dt menjadi 94,0 L/dt pada periode yang sama.

Tabel 4. Proyeksi Kebutuhan Penyediaan Air Bersih Distrik Waisai 2022–2041

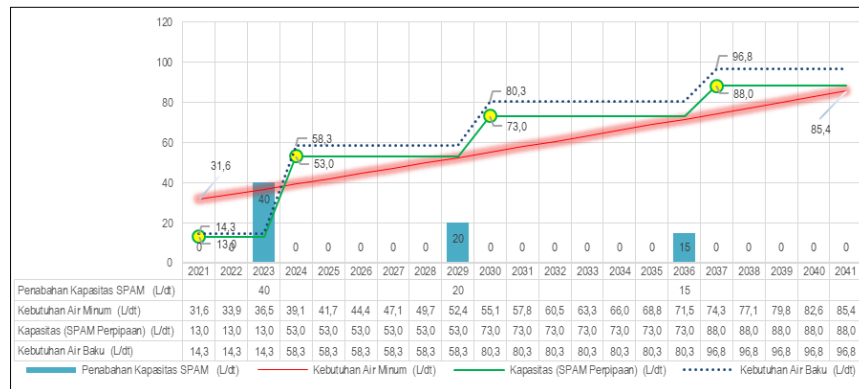
Rincian Parameter Perencanaan	Satuan	2022	2023	2026	2031	2036	2041
		1	2	5	10	15	20
Jumlah Penduduk	(org)	25.337	26.867	31.458	39.108	46.759	54.409
Populasi Wisatawan (rata2; Td=6,6 hari)	(org)	730	1.015	1.870	3.294	4.718	6.142
Kebutuhan SR=80%	(L/hari)	1.892.348	2.019.918	2.407.402	3.067.150	3.741.683	4.428.812
Kebutuhan sosial, perkantoran dll.	(L/hari)	567.704	605.975	722.221	920.145	1.122.505	1.328.644
Kebutuhan Parawisata	(L/hari)	87.659	121.837	224.371	395.261	566.150	737.040
Kebocoran (20%) domestik	(L/hari)	378.470	403.984	481.480	613.430	748.337	885.762
Kebutuhan Total	(L/hari)	2.926.181	3.151.714	3.835.474	4.995.986	6.178.675	7.380.258
Kebutuhan Total	(L/dt)	33,9	36,5	44,4	57,8	71,5	85,4
Debit puncak (k $Q_p=1,5Q_r$)	(L/dt)	50,8	54,7	66,6	86,7	107,3	128,1
Kebutuhan Air Baku (Q_s intake)	(L/dt)	37,3	40,1	48,8	63,6	78,7	94,0

Sumber: Penulis (2024)

Ketersediaan air baku diprediksi mulai tidak mencukupi pada tahun 2030, sehingga dibutuhkan alternatif sumber air dalam jangka pendek. Saat ini, sistem SPAM terdiri dari jaringan perpipaan terbatas dan sumber non-perpipaan seperti sumur gali, sumur bor, dan mata air, yang masih menjadi andalan masyarakat dan pelaku usaha pariwisata dalam memenuhi kebutuhan air bersih sehari-hari. Dengan kondisi penyediaan air bersih eksisting melalui SPAM perpipaan sebesar 13,0 L/dt yang terdistribusi dalam 700 SR, diperkirakan cakupan saat ini baru sekitar 41% dari kebutuhan, di mana idealnya pada tahun 2021 tersedia kapasitas terpasang sebesar 31,6 L/dt untuk memenuhi kebutuhan air minum saat itu. Dengan proyeksi kebutuhan air minum yang terus meningkat hingga mencapai 85,4 L/dt pada tahun perencanaan 2041, serta kebutuhan air baku (Q_s intake) yang diproyeksikan mencapai 96,8 L/dt pada periode yang sama, maka diusulkan skenario pemenuhan air minum melalui pengembangan SPAM perpipaan sebagaimana diuraikan dalam grafik pada Gambar 2.

Penambahan kapasitas SPAM perpipaan direncanakan secara bertahap, yaitu pada tahun 2023 sebesar 40 L/dt, tahun 2029 sebesar 20 L/dt, dan tahun 2036 sebesar 15 L/dt, yang selanjutnya dipertahankan pada level tersebut hingga akhir tahun perencanaan 2041. Dengan skenario ini, kapasitas SPAM perpipaan pada tahun 2041 mencapai 88,0 L/dt, sedikit di atas proyeksi kebutuhan air minum sebesar 85,4 L/dt, sehingga secara umum kapasitas terpasang masih mampu memenuhi kebutuhan air minum sepanjang periode perencanaan. Namun demikian, apabila dibandingkan terhadap kebutuhan air baku (Q_s intake) yang mencapai 96,8 L/dt pada periode 2036–2041, kapasitas SPAM perpipaan

sebesar 88,0 L/dt masih menyisakan kesenjangan (*gap*) sekitar 8,8 L/dt. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun kapasitas distribusi air minum secara nominal masih mencukupi kebutuhan konsumsi akhir, ketersediaan sumber air baku perlu mendapat perhatian danantisipasi lanjutan, baik melalui optimalisasi sumber eksisting, diversifikasi sumber air baku baru, maupun efisiensi tingkat kehilangan air guna menjamin keandalan pasokan air bersih di Waisai hingga akhir periode perencanaan tahun 2041.



Sumber: Penulis (2024)

Gambar 2. Kebutuhan Pemenuhan Air Minum melalui SPAM Perpipaan di Distrik Waisai

2.2 Kebutuhan infrastruktur pengolahan air limbah

Proyeksi buangan air limbah domestik dihitung berdasarkan besaran penggunaan air bersih domestik, dengan asumsi bahwa 80% dari air bersih yang dikonsumsi akan kembali menjadi air limbah (*return factor*), sedangkan sisanya diperhitungkan hilang melalui penguapan, penyerapan, dan pemakaian yang tidak menghasilkan buangan langsung (seperti penyiraman tanaman) (Wardhani *et al.*, 2023).

Berdasarkan Tabel 5, secara komposisi, sumber air limbah permukiman tetap menjadi kontributor dominan terhadap total beban air limbah, meningkat dari 1.513.878 L/hari pada 2022 menjadi 3.543.050 L/hari pada 2041. Sumber air limbah non-permukiman (kegiatan sosial, perkantoran, dan komersial) berkontribusi relatif stabil, meningkat dari 454.163 L/hari menjadi 1.062.915 L/hari pada periode yang sama. Sementara debit air limbah dari aktivitas pariwisata meningkat dari 70.127 L/hari (2022) menjadi 589.632 L/hari (2041). Kontribusi sektor pariwisata terhadap total beban air limbah turut meningkat signifikan, dari hanya sekitar 3,4% pada tahun 2022 menjadi hampir 11,4% pada tahun 2041. Tren ini menegaskan bahwa sektor pariwisata merupakan komponen dengan pertumbuhan beban tercepat. Secara keseluruhan, jumlah timbulan air limbah *grey water* di Distrik Waisai pada akhir tahun proyeksi (2041) diperkirakan mencapai 5.195.597 L/hari, setara dengan 5.196 m³/hari atau sekitar 60,1 liter/detik. Angka ini menjadi dasar utama dalam merencanakan kapasitas sistem pengolahan air limbah domestik terpusat maupun setempat (*on-site/off-site*) di Waisai, guna mengantisipasi lonjakan beban air limbah dari pertumbuhan penduduk dan aktivitas pariwisata sekaligus mencegah pencemaran lingkungan yang dapat mengancam keberlanjutan ekosistem perairan Raja Ampat sebagai kawasan konservasi keanekaragaman hayati nasional.

Selanjutnya, proyeksi kebutuhan penanganan *black water* di Distrik Waisai pada Tabel 6 menunjukkan peningkatan total debit dari 16.834 L/hari pada tahun 2022 menjadi 38.437 L/hari pada tahun 2041. Air limbah rumah tangga tetap menjadi kontributor dominan dengan proporsi sekitar 70–75% dari total debit, sementara air limbah pariwisata, meski persinya masih kecil (2–8%) tumbuh paling agresif.

Tabel 5. Proyeksi Kebutuhan Penanganan Air Limbah (*Grey Water*) Distrik 2022–2041

PERINCIAN	Satuan	2022	2023	2026	2031	2036	2041
		1	2	5	10	15	20
Jumlah Penduduk	(org)	25.337	26.867	31.458	39.108	46.759	54.409
Jumlah Wisatawan	(org)	730	1.015	1.870	3.294	4.718	6.142
Sumber Air Limbah Permukiman	(L/ hari)	1.513.878	1.615.934	1.925.922	2.453.720	2.993.347	3.543.050
Sumber Air Limbah Non Permukiman	(L/ hari)	454.163	484.780	577.776	736.116	898.004	1.062.915
Sumber Air Limbah Parawisata	(L/ hari)	70.127	97.470	179.497	316.208	452.920	589.632
Jumlah debit air Limbah	(L/ hari)	2.038.169	2.198.185	2.683.195	3.506.045	4.344.271	5.195.597

Sumber: Penulis (2024)

Tabel 6. Proyeksi Kebutuhan Penanganan Air Limbah (*Black Water*) Distrik Waisai 2022–2041

PERINCIAN	Satuan	2022	2023	2026	2031	2036	2041
		1	2	5	10	15	20
Jumlah Penduduk	(org)	25.337	26.867	31.458	39.108	46.759	54.409
Pop Wisatawan (DD aktual=80%)	(org)	730	1.015	1.870	3.294	4.718	6.142
Air Limbah Rumah Tangga	(L/hari)	12.669	13.434	15.729	19.554	23.379	27.205
Air Limbah Non Rumah Tangga	(L/hari)	3.801	4.030	4.719	5.866	7.014	8.161
Air Limbah Parawisata	(L/hari)	365	508	935	1.647	2.359	3.071
Jumlah debit air Limbah (<i>black water</i>)	(L/hari)	16.834	17.971	21.382	27.067	32.752	38.437
BABS 2020 = 75,75%; TS Layak $\approx$ 18,45%	%	25,3%	32,1%	52,6%	80,0%	80,0%	80,0%
Timbulan Lumpur Tinja (Tangki Layak)	M3/hari)	4,3	5,8	11,3	21,7	26,2	30,7

Sumber: Penulis (2024)

Aspek penting dalam proyeksi ini adalah tingkat cakupan tangki septik layak, yang diasumsikan meningkat bertahap dari kondisi eksisting 25,3% (2022), merujuk data (BABS (Buang Air Besar Sembarangan) tahun 2020 sebesar 75,75% dan cakupan tangki septik layak sebesar 18,45%) hingga mencapai target 80% pada tahun 2031 dan dipertahankan hingga 2041, sejalan dengan target akses sanitasi aman nasional (*universal access*). Volume lumpur tinja yang perlu dikelola melalui Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) diproyeksikan meningkat signifikan dari hanya 4,3 m³/hari (2022) menjadi 30,7 m³/hari (2041). Peningkatan tajam ini mencerminkan dua faktor yang bekerja secara simultan yaitu pertumbuhan penduduk dan perbaikan cakupan sanitasi layak (dari 25,3% menjadi 80%) selama periode proyeksi.

Skenario operasional IPLT dirancang untuk mengakomodasi dua sumber lumpur tinja: (1) buangan dari KK yang belum memiliki akses sanitasi layak, yang perlu segera ditangani untuk mempercepat pencapaian target akses sanitasi aman; dan (2) hasil penyedotan berkala dari KK yang sudah memiliki tangki septik layak, melalui skema Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (L2T2). Penyedotan tangki septik dilakukan menggunakan truk tinja. Berdasarkan perhitungan, kebutuhan truk pada tahun 2041 adalah 8 unit berkapasitas 4 m³ dengan frekuensi 2 ritasi per hari. Dengan skema ini, kapasitas IPLT dan armada truk tinja

dirancang mampu melayani kebutuhan pengelolaan lumpur tinja secara menyeluruh hingga akhir periode perencanaan (2041), sekaligus mencegah pencemaran terhadap ekosistem perairan Raja Ampat sebagai kawasan konservasi keanekaragaman hayati nasional.

2.3 Kebutuhan infrastruktur persampahan

Volume timbulan sampah di kawasan Distrik Waisai di hitung dalam kg/hari menggunakan dengan asumsi unit timbulan yang bersumber dari SNI 04-19993-03, Pengelolaan Sampah Terpadu, Damanhuri, 2019 serta berbagai sumber. Hasil proyeksi kebutuhan penanganan persampahan berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa total timbulan sampah di Distrik Waisai meningkat secara signifikan dari 22.958 kg/hari pada tahun 2022 menjadi 53.330 kg/hari pada tahun 2041. Secara komposisi, sampah dari sumber permukiman tetap menjadi kontributor dominan dengan proporsi konsisten sekitar 71–72% dari total timbulan di sepanjang periode proyeksi, meningkat dari 16.422 kg/hari (2022) menjadi 38.147 kg/hari (2041). Sementara itu, sumber sampah non-permukiman berkontribusi sekitar 28–29% dari total timbulan, meningkat dari 6.536 kg/hari menjadi 15.183 kg/hari pada periode yang sama.

Tabel 7. Proyeksi Kebutuhan Penyediaan Persampahan Distrik Waisai 2022–2041

Proyeksi Kebutuhan Penanganan Persampahan	Satuan	2022	2023	2026	2031	2036	2041
Jumlah Penduduk	(org)	25337	26867	31458	39108	46759	54409
Jumlah Wisatawan	(org)	730	1015	1870	3294	4718	6142
1) Sumber Sampah Permukiman	(kg/hari)	16422	17566	20997	26713	32431	38147
2) Sumber Non Permukiman	(kg/hari)	6536	6991	8357	10632	12907	15183
a) Pasar	(kg/hari)	1494	1598	1911	2431	2951	3471
b) Hotel	(kg/hari)	903	966	1155	1469	1784	2098
c) Kantor	(kg/hari)	838	896	1071	1362	1654	1946
d) Rumah sakit dan faskes	(kg/hari)	1051	1124	1344	1710	2076	2441
e) Pelabuhan dan bandara	(kg/hari)	460	492	588	748	908	1068
f) Tempat Ibadah dan Sosial	(kg/hari)	723	773	924	1175	1427	1678
g) Taman, Jalan dan pantai	(kg/hari)	1067	1142	1365	1736	2108	2480
Total timbulan sampah	(kg/hari)	22958	24557	29353	37345	45338	53330

Sumber: Penulis (2024)

Secara keseluruhan, hasil proyeksi ini menegaskan bahwa peningkatan volume timbulan sampah di Waisai hingga mencapai lebih dari 53 ton per hari pada tahun 2041 didorong oleh kombinasi pertumbuhan penduduk sebagai basis utama timbulan sampah permukiman, serta perkembangan aktivitas non-permukiman, khususnya sektor pariwisata (hotel, pelabuhan, dan kawasan wisata pantai), yang tumbuh lebih pesat secara proporsional. Kondisi ini menuntut perencanaan sistem pengelolaan persampahan yang komprehensif, mencakup pengurangan di sumber (3R), penyediaan TPS 3R, serta kapasitas pengangkutan menuju TPA yang memadai, guna mengantisipasi lonjakan beban sampah sekaligus menjaga kelestarian lingkungan Raja Ampat sebagai kawasan konservasi keanekaragaman hayati nasional.

3. Dimensi Keruangan Pengembangan Infrastruktur Permukiman

Menurut Baloch *et al.* (2023) pembangunan infrastruktur pariwisata itu sendiri, terkadang dapat secara langsung merusak lingkungan sekitar jika tidak direncanakan

dengan baik. Tanpa perhitungan dan pengawasan terhadap aspek-aspek ini, pembangunan pariwisata rentan menyebabkan tekanan multidimensi yang justru merusak daya tarik destinasi itu sendiri. Siklus umpan balik negatif dimana sektor pariwisata dapat secara bertahap kehilangan pilarnya yang paling penting, yaitu alamnya. Kerentanan ini semakin diperparah oleh karakteristik geografis pulau, seperti ukuran yang kecil dan ketergantungan pada transportasi laut dan udara (MacFeely *et al.*, 2021). Hasil proyeksi kebutuhan infrastruktur dasar hingga tahun 2041 perlu ditinjau dari aspek keruangan untuk memastikan bahwa pengembangan yang diusulkan sejalan dengan arahan pemanfaatan ruang di Distrik Waisai.

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2023 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Strategis Nasional Kawasan Konservasi Keanekaragaman Hayati Raja Ampat, sebagian besar wilayah Kabupaten Raja Ampat memang didominasi oleh kawasan lindung dan kawasan konservasi yang memiliki fungsi perlindungan keanekaragaman hayati. Kondisi tersebut menyebabkan pengembangan infrastruktur tidak dapat dilakukan secara merata di seluruh wilayah kabupaten, tetapi harus diarahkan pada kawasan yang telah ditetapkan sebagai kawasan budidaya dan kawasan perkotaan. Distrik Waisai merupakan kawasan yang secara legal diarahkan sebagai pusat pemerintahan Kabupaten Raja Ampat, pusat perdagangan dan jasa, simpul transportasi, serta pusat pelayanan pariwisata. Dengan demikian, pengembangan infrastruktur air bersih, sanitasi, dan persampahan yang diproyeksikan dalam penelitian ini telah sesuai dengan arahan tata ruang dan tidak diarahkan pada kawasan konservasi yang memiliki fungsi perlindungan lingkungan. Dari aspek ketersediaan lahan, struktur permukiman eksisting di Distrik Waisai masih didominasi oleh kawasan dengan kepadatan rendah hingga sedang. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas pengembangan kawasan permukiman masih relatif tersedia melalui optimalisasi ruang terbangun dan pengembangan kawasan budidaya yang telah dialokasikan dalam RDTR. Oleh karena itu, peningkatan kebutuhan infrastruktur dasar akibat pertumbuhan penduduk dan wisatawan hingga tahun 2041 masih dapat diakomodasi tanpa memerlukan ekspansi pembangunan ke kawasan lindung. Pendekatan ini penting untuk menjaga keseimbangan antara pemenuhan kebutuhan pelayanan dasar dan perlindungan ekosistem Raja Ampat sebagai kawasan konservasi dan destinasi ekowisata dunia.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk dan kunjungan wisatawan di Waisai, Kabupaten Raja Ampat, akan terus meningkat secara signifikan hingga tahun 2041, dengan kontribusi sektor pariwisata terhadap total beban layanan yang tumbuh jauh lebih cepat dibandingkan pertumbuhan penduduk domestik. Tren ini memberikan tekanan nyata terhadap seluruh sistem penyediaan infrastruktur permukiman dasar seperti air bersih, pengolahan air limbah, dan persampahan. Skenario pengembangan SPAM perpipaan secara bertahap pada dasarnya mampu mengimbangi kebutuhan air minum, namun tetap menyisakan kesenjangan terhadap kebutuhan air baku pada akhir periode perencanaan sehingga optimalisasi dan diversifikasi sumber air baku tetap diperlukan. Pada

sektor air limbah, kapasitas IPLT beserta armada truk tinja yang direncanakan secara umum masih mampu mengakomodasi kebutuhan hingga akhir periode proyeksi, dengan catatan perlunya optimalisasi fungsi IPLT yang saat ini belum berjalan maksimal. Sementara itu, timbulan sampah diproyeksikan tumbuh lebih dari dua kali lipat, dengan kontribusi sumber non-permukiman, khususnya pariwisata yang semakin dominan. Temuan ini menegaskan bahwa pertumbuhan penduduk dan pariwisata di Waisai perlu diimbangi dengan pengembangan infrastruktur permukiman yang adaptif dan berbasis proyeksi, baik melalui perluasan kapasitas SPAM, optimalisasi IPLT, maupun pengembangan fasilitas TPS 3R dan armada pengangkutan sampah, secara bertahap agar tidak terjadi defisit kapasitas yang memicu degradasi lingkungan. Sinergi antara pemerintah daerah, pengelola destinasi, dan masyarakat lokal menjadi kunci untuk mewujudkan pembangunan infrastruktur yang tidak hanya memenuhi kebutuhan dasar penduduk, tetapi juga menopang Raja Ampat sebagai destinasi ekowisata kelas dunia yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adrianto, L., Kurniawan, F., Romadhon, A., Bengen, D. G., Sjafrie, N. D. M., Damar, A., & Kleinertz, S. (2021). Assessing social-ecological system carrying capacity for urban small island tourism: The case of Tidung Islands, Jakarta Capital Province, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105844>
- [2] Arbulú, I., Rey-Maqueira, J., & Sastre, F. (2024). The impact of TOURISM and seasonality on different types of municipal solid waste (MSW) generation: The case of Ibiza. *Heliyon*, 10(13). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33894>
- [3] Aryal, G. R. (2020). Methods of Population Estimation and Projection. *Journal of Population and Development*, 54–61.
- [4] Baloch, Q. B., Shah, S. N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar, S., & Khan, A. U. (2023). Impact of tourism development upon environmental sustainability: a suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917–5930. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>
- [5] Ćulibrk, A., Dimitrakopoulos, P. G., Kokkoris, G. D., Eleftheriadou, M., & Tzoraki, O. (2025). A holistic approach to assessing visitor numbers on protected Natura 2000 beaches: The case of Western Peloponnese, Greece. *Environmental Impact Assessment Review*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.107824>
- [6] Damanhuri, Enri. (2019). *Pengelolaan sampah terpadu*. ITB Press.
- [7] Desriani, W. D., Widyahantari, R., Suhaeni, H., Samyahardja, P., & Yodhakersa, W. (2015). Pengkajian Penyediaan Sarana dan Prasarana Permukiman berdasarkan Daya Dukung Pulau Gilyang. *Jurnal Permukiman*, 10(2), 68–77.
- [8] Graci, S., & Dodds, R. (2010). *Sustainable Tourism in Island Destinations*. Taylor & Francis.
- [9] Gupta, A., Zhu, H., Bhammar, H., Earley, E., Filipski, M., Narain, U., Spencer, P., Whitney, E., & Taylor, J. E. (2023). Economic impact of nature-based tourism. *PLoS ONE*, 18(4 April). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282912>

- [10] Hampton, M. P., & Jeyacheya, J. (2020). Tourism-Dependent Small Islands, Inclusive Growth, and the Blue Economy. In *One Earth* (Vol. 2, Number 1, pp. 8–10). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.017>
- [11] Hanifah, W., & Al-Fath, R. (2024). Dampak Ekonomi dan Sosial dari Pembangunan Infrastruktur di Destinasi Pariwisata Kelas Dunia di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Arsitektur Dan Perencanaan*, 8(4), 50–67.
- [12] Hasna, D. H., & Sutopo, Y. K. D. (2025). Arahan Perencanaan Infrastruktur Kawasan Ekowisata Mangrove Lantebung Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. *Jurnal Nasional Pariwisata*, 15(1), 79–91.
- [13] Judijanto, L., Adiwijaya, S., & Marjan, M. (2024). Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Komunikasi dan Navigasi terhadap Degradasi Lingkungan di Sekitar IKN Article Info ABSTRAK. In *Jurnal Geosains West Science* (Vol. 2, Number 03).
- [14] Junaid, I., Mansyur, & Ulang, A. (2020). Implementasi Pariwisata Berkelanjutan di Pulau Maratua, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. *Jurnal Pariwisata Terapan*, (2), 110–123.
- [15] Kourtis, I. M., Kotsifakis, K. G., Feloni, E. G., & Baltas, E. A. (2019). Sustainable water resources management in small greek islands under changing climate. *Water*, 11(8), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w11081694>
- [16] Li, W., Zhang, Q., Liu, C., & Xue, Q. (2006). Tourism's Impacts on Natural Resources: A Positive Case from China. *Environmental Management*, 38(4), 572–579.
- [17] Lomax, N., Smith, A. P., Archer, L., Ford, A., & Virgo, J. (2022). An Open-Source Model for Projecting Small Area Demographic and Land-Use Change. *Geographical Analysis*, 54(3), 599–622. <https://doi.org/10.1111/gean.12320>
- [18] Lukman, K. M., Uchiyama, Y., Quevedo, J. M. D., & Kohsaka, R. (2022). Tourism impacts on small island ecosystems: public perceptions from Karimunjawa Island, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 26(3).
- [19] MacFeely, S., Peltola, A., Barnat, N., Hoffmeister, O., & Hopp, D. (2021). Constructing a criteria-based classification for small island developing states: An investigation. *Journal of Marine and Island Cultures*, 10(1), 155–195.
- [20] Mappasomba, Z., Nasrullah, N., Awaluddin, I., & Hakim, D. H. (2024). *Perencanaan Pariwisata Dinamika, Strategi dan Manajemen Keberlanjutan Desa Wisata Geopark* (Cetakan 1). PT. Penerbit Qriset Indonesia.
- [21] Nikijuluw, V. P. H., Papilaya, R. L., & Boli, P. (2017). *Daya Dukung Pariwisata Berkelanjutan Raja Ampat* (Cetakan I). Conservation International Indonesia.
- [22] Pan, S. Y., Gao, M., Kim, H., Shah, K. J., Pei, S. L., & Chiang, P. C. (2018). Advances and challenges in sustainable tourism toward a green economy. In *Science of the Total Environment* (Vol. 635, pp. 452–469). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.134>
- [23] Peraturan Bupati Raja Ampat No 22 Tahun 2022 Tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Kawasan Perkotaan Waisai 2022-2024, Pub. L. Nomor 22 tahun 2022 tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Kawasan Perkotaan Waisai Tahun 2022-2042.

- [24] Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2023 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Strategis Nasional Kawasan Konservasi Keanekaragaman Hayati Raja Ampat.
- [25] Podhorodecka, K. (2018). Tourism economies and islands' resilience to the global financial crisis. *Island Studies Journal*, 13(2), 163–184. <https://doi.org/10.24043/isj.43>
- [26] Santos, P. L. A., & Brilha, J. (2023). A Review on Tourism Carrying Capacity Assessment and a Proposal for Its Application on Geological Sites. *Geoheritage*, 15(47), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00810-3>
- [27] Santosa, Y. T., Maulida, D. W., Sukowati, B. A., & Mahmudah, M. H. (2025). Comparative analysis of first-order linear differential equations and arithmetic methods in projecting Surakarta City's population. *Journal Focus Action of Research Mathematic (Factor M)*, 8(1), 35–51. https://doi.org/10.30762/f_m.v8i1.5026
- [28] Sha, C., Shen, S., Zhang, J., Zhou, C., Lu, X., & Zhang, H. (2024). A Review of Strategies and Technologies for Sustainable Decentralized Wastewater Treatment. *Water*, 16(20), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w16203003>
- [29] Sufa, S. A., Setiawati, D., Afiat, M. N., & Rijal, S. (2024). The Influence of Tourism Infrastructure and Online Promotion Of Tourist Visit Intention (Study on the Island of Bali with Tourist Satisfaction as an Intervening Variable). *International Journal of Business, Law, and Education*, 5(2), 2024. <https://ijble.com/index.php/journal/index>
- [30] Sugiyama, A. G., Oktavia, H. C., & Karlina, M. (2022). The Effect of Tourism Infrastructure Asset Quality on Tourist Satisfaction: A Case on Forest Tourism in Tasikmalaya Regency. *International Journal of Applied Sciences in Tourism and Events*, 6(1), 65–71. <https://doi.org/10.31940/ijaste.v6i1.65-71>
- [31] Tiang, F. (2024). Sustainable Tourism: A Path to Responsible Travel. *Journal of Tourism and Hospitality*, 13(4), 1–2. <https://doi.org/10.35248/2167-0269.24.13.558>
- [32] Tjilen, A. P., Sahetapy, W., Tambaip, B., & Betaubun, M. (2022). Ecotourism Development Policy, Supporting Capacity and Development of Sustainable Tourism Facilities and Infrastructure in Raja Ampat Regency, West Papua Province. *International Journal of Science and Society*, 4(3), 13–25.
- [33] UNEP, & WTO. (2005). Making Tourism More Sustainable - A Guide for Policy Makers. In *Making Tourism More Sustainable - A Guide for Policy Makers (English version)*. United Nations Environment Programme and World Tourism Organization. <https://doi.org/10.18111/9789284408214>
- [34] Wani, G. (2024). Stakeholder Perspectives on Tourism Infrastructure Development in Kashmir Valley. *International Journal of Hospitality & Tourism Management*, 8(2), 39–51. <https://doi.org/10.11648/j.ijhtm.20240802.13>
- [35] Wardhani, E., Azhura Alsadilla, S., Mangopo, G. T., Nadira, A., Nastiti, P., Fatin, K., Kurnia, G. G., & Ayuni, D. N. (2023). Penentuan Timbulan Air Limbah dan Unit Instalasi Pengolahan AirLimbah di central Business District Kota Harapan Indah Kota Bekasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 7(1), 1–10.