

Evaluasi Ekowisata Berbasis Skenario dari Aspek Pemanfaatan Sumberdaya Air dengan Aplikasi Model Sistem Dinamik, di Kawasan Kampung Merabu, Kalimantan Timur

Evaluation of Ecotourism Based Scenario on Utilization of Waters Resource by System Dynamic Model Application in Merabu Village East Kalimantan

Nuzula Elfa Rahma^{*1}, FV Astrolabe Sian Prasetya², dan Yulma³

¹Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

²Program Studi Teknik Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

³Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan

*Penulis untuk korespondensi, e-mail: elfarahma@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sub-sistem dan variabel dalam pemanfaatan sumberdaya air terkait sektor ekowisata di Kampung Merabu serta menganalisis pola pemanfaatan air yang berkelanjutan dengan berbagai skenario pengembangan ekowisata. Kampung ini terletak di Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Metode yang dilakukan adalah dengan pendekatan model sistem dinamik. Untuk dapat membangun model sistem dinamik, digunakan perangkat lunak yaitu *Vensim*. Ada tiga sub-sistem utama yaitu: 1) air limbah domestik kegiatan selain dari jamban 2) air limbah domestik kegiatan jamban, 3) pemakaian air. Ketiga sub-sistem tersebut dihubungkan dengan dua badan air yang berada di kawasan Kampung Merabu yaitu sungai Lesan dan Danau Nyadeng, yang kemudian dihubungkan dengan variabel penduduk dan wisatawan. Kedua badan air ini memiliki peran pemanfaatan yang berbeda. Sungai Lesan adalah tempat berakhirnya air limbah domestik, sedang Danau Nyadeng adalah sumber air bersih penduduk. Ada empat skenario yang disimulasikan, yaitu satu *baseline* dan tiga lainnya berbasis pertumbuhan wisata (dengan periode 25 tahun). Hasilnya skenario pertumbuhan wisata tidak dapat dijadikan sebagai dasar strategi pengembangan ekowisata Merabu, karena beban pencemar air limbah domestik eksisting telah melampaui daya dukung lingkungan. Perlu diupayakan adanya sistem pengelolaan air limbah domestik setempat, sebagai bagian dari strategi pengembangan sektor ekowisata di kampung Merabu.

ABSTRACT

The study aims to identify the sub-systems and the variables linked to the water resource utilization within the context of ecotourism, in Merabu village, Berau Regency, Kelay District, East Kalimantan. Furthermore, The study also aims to determine sustainable water resource utilization under the various scenario. System dynamics modelling is the study approach, with the help of Vensim software. There are three sub-systems, which are: 1) greywater discharge 2) blackwater discharge, and 3) water consumption. The three sub-systems are linked to two water bodies in the Merabu area, which are Lesan River, and Nyadeng Lake, which later linked to two variables (village inhabitants and tourists). Both water bodies have different utility characteristics. The Lesan River is mainly the water body in which wastewater discharge ends while Nyadeng Lake has become the main freshwater source. One baseline scenario and three tourism-growth scenarios are simulated (25 years period). The result is tourism-growth scenarios is not suitable to be the basis in sustainable ecotourism development. This is due to pollutant discharge in the baseline scenario has already exceeded the carrying capacity of

water purification. The necessary strategy would be to develop communal domestic wastewater management appropriate to the Merabu socio-economy context.

Kata kunci: model sistem dinamik; Merabu; ekowisata; sumberdaya air

PENDAHULUAN

Peningkatan kesadaran akan dampak lingkungan dari kegiatan ekstraksi sumberdaya alam, industri ekowisata dianggap merupakan jawaban sebagai alternatif pemberdayaan ekonomi yang lebih berkelanjutan. Ekowisata merupakan bentuk kegiatan wisata dengan konsep destinasi lingkungan alamiah dengan harapan selain mendapatkan unsur rekreasi, pengunjung juga memperoleh pengetahuan baik terkait lingkungan itu sendiri maupun budaya setempat. Dengan konsep ini diharapkan gangguan terhadap lingkungan alam dapat lebih ditekan tanpa mengorbankan ekonomi masyarakat.

Kampung Merabu dengan keunikan alam, sejarah, dan budayanya, merupakan wilayah terdepan dalam mengembangkan ekowisata di provinsi Kalimantan Timur. Kampung Merabu masih merupakan bagian dari kawasan Semenanjung Mangkaliat yang terkenal dengan karst alamnya. Kawasan ini membentang seluas 1,8 juta ha di area perbatasan Kabupaten Kutai Timur dan Berau. Bentang alam ini menyimpan berbagai kekayaan alam dan situs cagar budaya dari zaman prasejarah. Salah satu peran pentingnya adalah jasa lingkungan penyediaan dan pengaturan air dari siklus hidrologis (Stevanović 2019). Dari sisi sumberdaya air, kampung Merabu sangat bergantung terhadap eksistensi kawasan karst ini selain untuk ketahanan pangan, juga untuk penyediaan air. Merabu terletak di tepi sungai Lesan, salah satu sungai penting di Kabupaten Berau.

Dalam kegiatannya dengan ekowisata, meski secara langsung nampak tidak memiliki dampak lingkungan yang berarti, namun apabila tidak memperhitungkan daya dukung lingkungan, ternyata juga memiliki potensi dampak yang tidak kalah merusak (Lola,

M.S. *et al*, 2017). Tercatat, sumberdaya air merupakan salah satu komponen yang paling terdampak dari kegiatan ekowisata (Leung and Marion, 2000). Ekowisata dapat memicu alih fungsi lahan, khususnya dari kawasan hutan menjadi penggunaan lahan yang lain. Hal tersebut memicu berkurangnya luas lahan yang berfungsi sebagai pengatur dan penyedia air. Beban lingkungan juga bertambah dari sisi ekstraksi air untuk memenuhi kebutuhan wisata. Hal lainnya, badan air dapat mengalami penurunan kualitas apabila terdapat aliran limbah cair maupun padat ke badan air (Hashim, *et al*, 2021).

Oleh karena itu, dalam pengelolaan ekowisata perlu dilakukan perencanaan dan evaluasi menyeluruh terhadap segala aspek ekowisata yang bersentuhan dengan keberlanjutan lingkungan, khususnya di kawasan yang bersangkutan. Salah satu instrumen yang dapat digunakan dalam perencanaan ekowisata adalah model sistem dinamik. Model sendiri dapat diartikan sebagai representasi dari realitas. Dalam konteks dampak lingkungan, model dapat dilihat sebagai seperangkat prosedur yang dijalankan untuk mensimulasikan sebuah sistem lingkungan (Pianosi, *et al*, 2016). Sedangkan sistem dinamik sendiri merujuk pada pendekatan atau metodologi yang digunakan untuk mempelajari suatu sistem kompleks berperilaku dalam satu kurun waktu tertentu (Schwaninger 2009).

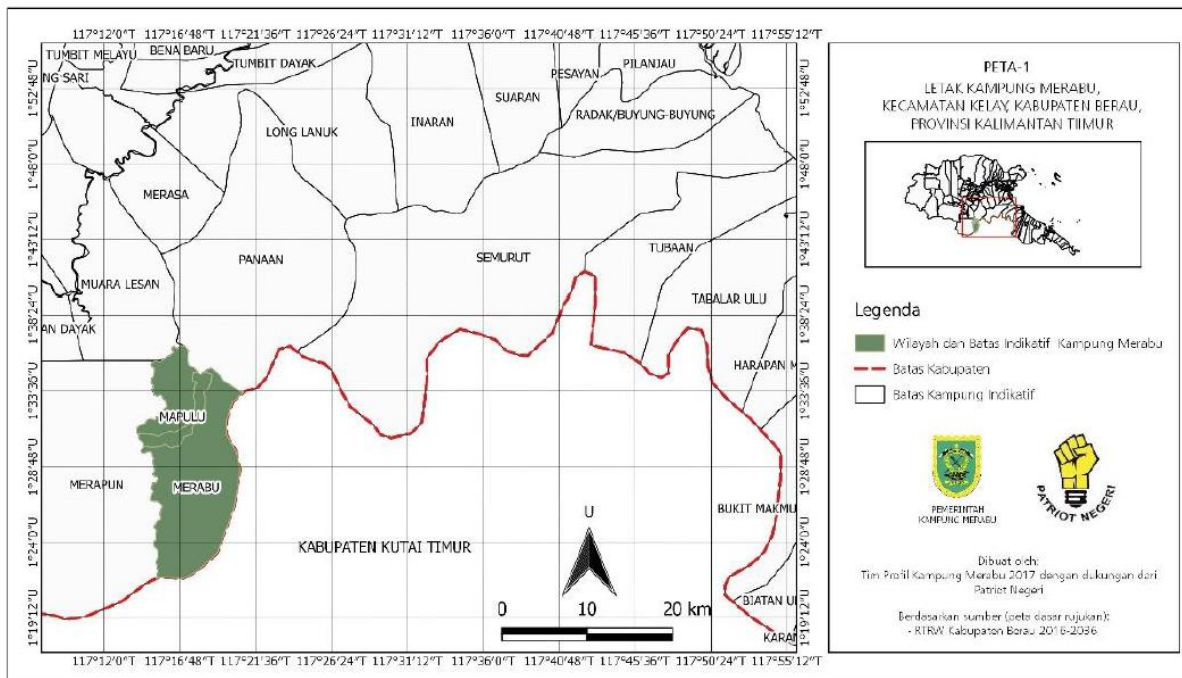
Kelebihan dari model sistem dinamik ini adalah memungkinkan pendekatan integratif yang memungkinkan pemetaan dampak lingkungan yang multi-dimensi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sub-sistem dan variabel dalam pemanfaatan sumberdaya air terkait sektor ekowisata di Kampung Merabu serta menganalisis pola pemanfaatan yang berkelanjutan dengan berbagai skenario pengembangan ekowisata.

METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kampung Merabu yang berlokasi di Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur pada tahun

2021. Secara garis besar, penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan lingkup yang lebih besar terkait pelaksanaan ekowisata di kampung Merabu, dimana pemanfaatan sumberdaya air merupakan salah satu sub-sistem yang esensial di dalamnya.



Gambar 1. Peta indikatif Kampung Merabu, Kalimantan Timur (Pemerintah Kampung Merabu, 2019)

Metode

Metode penelitian terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu: 1) Mengidentifikasi masalah, dalam tahapan ini komponen-komponen pembentuk sistem diidentifikasi dan dipetakan perilakunya dalam kerangka sistem dinamik; 2) Pengambilan data, dalam tahapan ini data yang dikumpulkan adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan wawancara dan penyebaran kuesioner untuk menangkap perilaku penggunaan sumberdaya air baik oleh masyarakat maupun wisatawan. Sedangkan data sekunder terdiri dari data kependudukan yang diperoleh dari lembaga pemerintahan kampung dan instansi terkait lainnya, data terkait pelaksanaan ekowisata yang diperoleh lembaga pengelola ekowisata,

dan data dari studi literatur; 3) Pengembangan model, dalam tahapan ini konseptualisasi sistem dinamik model dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Vensim*. Konseptualisasi merupakan gambaran yang menghubungkan sub-sistem ataupun variabel ke dalam satu diagram utuh. Karakteristik diagram ini adalah berbentuk *causal loop diagram*; 4) Pengolahan data, tahapan ini terdiri dari simulasi dan verifikasi. Untuk melakukan simulasi, penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Vensim* (Sapiri, *et al*, 2017). *Ouput* simulasi ini kemudian diverifikasi untuk melihat validitasnya. Apabila hasilnya dinilai valid, maka dilanjutkan ke tahap perumusan skenario strategi ekowisata. Setelah itu masing-masing skenario kembali disimulasikan,

dan terakhir; 4) Analisis skenario, tahapan ini dilakukan untuk menilai berbagai skenario pemanfaatan sumberdaya air terkait sektor ekowisata Merabu.

Dalam penelitian ini juga dibutuhkan nilai ambang batas terkait daya dukung lingkungan. Dalam hal ini daya dukung lingkungan meliputi 1) kapasitas lingkungan dalam menyediakan air yang diekspresikan sebagai *annual water yield* ($m^3/tahun$), dan 2) kapasitas badan air dalam menetralsir pencemaran akibat aliran limbah cair domestik. Nilai *annual water yield* diperoleh dengan menggunakan metode Turc (Konukcu, *et al*, 2006), yang memiliki serangkaian persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (1) \quad & V = h \cdot A \cdot 10 \\ (2) \quad & h = P - ET \\ (3) \quad & ET = \frac{P}{\sqrt{0.9+(P^2-L^2)}} \\ (4) \quad & L = 300 + 25T + 0.05T^3 \end{aligned}$$

Dalam hal ini, V merupakan volume air yang dapat disediakan oleh daerah resapan suatu badan air dalam setahun. A merupakan luas daerah resapan air tersebut (ha), sedangkan h merupakan tinggi *runoff* permukaan dalam lingkup daerah resapan tersebut (mm/tahun). ET merupakan nilai evapotranspirasi daerah resapan (mm/tahun), sedangkan P adalah nilai curah hujan rata-rata (mm/tahun). Terakhir L merupakan parameter korelasi yang didapat dengan memperhitungkan T yaitu temperatur udara rata-rata ($^{\circ}C$). Luasan daerah resapan air diperoleh dengan membuat deliniasi pada peta topografi wilayah badan air dengan menggunakan *Google Earth Pro*.

Ambang batas daya dukung badan air untuk menetralsir aliran limbah domestik diestimasi dengan menggunakan simulasi model QUAL2KW. Dimana acuan baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yang membagi mutu air ke dalam empat kelas yaitu:

- a. Kelas 1, Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- b. Kelas II, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- c. Kelas III, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- d. Kelas IV, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Kampung Merabu

Wilayah Kampung Merabu berlokasi di Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Dimana secara geografis, kampung ini berada pada kuadran $117^{\circ}12'0''$ dan $117^{\circ}21'36''$ Bujur Timur (BT) serta $1^{\circ}19'12''$ dan $1^{\circ}38'24''$ Lintang Selatan (LS). Wilayah Merabu berada tepat di perbatasan Kabupaten Berau dan Kutai Timur, yaitu di bagian selatan-tengah Kabupaten Berau. Di daerah perbatasan inilah Kabupaten Berau dan Kutai Timur berbagi bentang pegunungan karst Sangkulirang-Mangkaliat, dengan luasan yang diakui secara administratif seluas 1.867.767 ha (Widyaningsih 2017). Kawasan Kampung Merabu dengan luasan 22.000 ha (Pemerintah Kampung Merabu 2018) berada dalam wilayah bentang pegunungan *karst* tersebut. Dari luasan kawasan kampung tersebut, sekitar 10.800 ha merupakan kawasan yang telah

ditetapkan sebagai hutan lindung. Pemukiman Kampung Merabu sendiri berada di pinggir Sungai Lesan yang juga menjadi salah satu jalur transportasi utama bagi penduduk.

Secara demografis, jumlah penduduk kampung Merabu tercatat sebanyak 231 jiwa pada tahun 2017, atau sebanyak 55 kepala keluarga. Kampung Merabu secara historis merupakan kampung suku Dayak Lebo yang telah bermukim di kawasan sungai Lesan secara turun temurun. Catatan sejarah menunjukkan cikal bakal Kampung Merabu mulai berkembang di lokasi tersebut setidaknya sejak seabad yang lalu, atau sekitar tahun 1915. Meski saat ini suku Dayak Lebo masih menjadi etnis mayoritas, penduduk dari etnis lain juga telah menetap di kampung Merabu. Kepadatan penduduknya cukup rendah yaitu hanya sebesar 0,9 jiwa/km², dengan luas pemukiman 220 km². Kampung ini cukup ketat dalam menerima migran di luar suku Dayak Lebo yang ingin menetap. Orang luar tidak dapat memiliki properti berupa rumah dan lahan, kecuali jika orang tersebut menikah dengan penduduk Merabu. Oleh karena itu, pertumbuhan penduduk kampung ini relatif stagnan jika dibandingkan dengan daerah lain di Kalimantan Timur.

Ekowisata Kampung Merabu dirintis dari tahun 2012, dan masih tetap bertahan hingga sekarang. Tiga lokasi yang menjadi nilai jual utama ekowisata Merabu adalah Danau Nyadeng, Gua Bloyot yang terkenal dengan lukisan dinding gua dari zaman prasejarah, serta puncak Ketepu (Gambar 3). Daya tarik lokasi tersebut tentu saja didukung pula oleh bentang alam *karst*, hutan hujan tropis, dan sungai yang kondisinya sangat terjaga (*pristine*). Tercatat di tahun 2019, ada 766 wisatawan yang mengunjungi Merabu. Berdasarkan angka kunjungan tersebut, 93% adalah wisatawan domestik, dan 7% merupakan wisatawan mancanegara yang umumnya berasal dari negara-negara seperti Belanda,

Italia, Prancis, Jerman, Austria, Amerika Serikat, Australia, Switzerland, Swedia, dan Austria. Sektor ekowisata Merabu dijalankan dengan berbasis komunal, dimana masyarakat menyediakan rumah tinggal sebagai *guesthouse*, dan juga konsumsi wisatawan.

Kondisi Pemanfaatan dan Pengelolaan Sumberdaya Air di Merabu

Sumberdaya Air yang Tersedia

Ada dua sumber air yang menjadi tumpuan masyarakat, yaitu sungai Lesan dan danau Nyadeng (Gambar 2). Kedua sumber air ini berbeda dari segi kualitas air dan kemudahan akses. Sungai Lesan, dengan lokasinya yang mengalir sepanjang sisi pemukiman, sangat mudah untuk diakses. Akan tetapi kualitas fisik air sungai ini sangat tergantung kondisi cuaca. Jika cuaca dengan intensitas curah hujan tinggi, kualitas air sungai Lesan dari segi fisik terlihat lebih keruh. Sedangkan pada saat kondisi cuaca dengan intensitas curah hujan rendah, air sungai Lesan menjadi sangat jernih. Sumber air yang kedua adalah danau Nyadeng. Danau ini selain menjadi sumber air masyarakat, juga merupakan daya tarik utama yang paling banyak dikunjungi oleh wisatawan. Danau Nyadeng sebagai objek wisata memiliki aksesibilitas yang rendah. Danau Nyadeng terletak di kawasan hutan lindung Merabu, di arah timur laut kawasan pemukiman. Untuk menuju ke lokasi, pengunjung harus terlebih dahulu menyusuri sungai Lesan ke arah hulu dengan menggunakan perahu motor kecil. Jarak susur sungai ini kurang lebih 6,5 km. Kemudian dilanjutkan dengan berjalan kaki ke dalam hutan melewati jalan setapak dengan jarak kurang lebih 2 km. Danau ini memiliki luas sekitar 0,25 ha, dengan kedalaman lebih dari 50 m. Berbeda dengan sungai Lesan, kualitas air danau Nyadeng relatif tidak terpengaruh kondisi cuaca. Baik pada saat intensitas hujan tinggi maupun rendah, secara fisik air danau ini tetap terlihat jernih dan tidak berbau.



Gambar 2. Sungai Lesan (kiri) dan Danau Nyadeng (kanan)

Meski masyarakat Merabu masih mempertahankan cara hidup tradisional, namun sebagian besar telah mengadopsi gaya hidup masyarakat perkotaan. Hal ini dapat dilihat pula dari pola pemanfaatan airnya. Adanya pembangkit listrik tenaga surya yang dikelola oleh BumKam (Badan Usaha Milik Kampung) dengan kapasitas penyediaan yang melebihi kebutuhan warga, menyebabkan penggunaan alat elektronik cukup merata. Termasuk di dalamnya penggunaan mesin cuci dan pompa air listrik. Kemampuan untuk mengoperasikan pompa air listrik di Merabu, kemudian dimanfaatkan untuk membangun infrastruktur yang mampu menyalurkan air danau Nyadeng ke rumah warga. Karena kualitas air yang sangat baik, air yang disalurkan tidak melalui proses pengolahan, baik yang bersifat komunal, ataupun di masing-masing rumah tangga (misalnya dengan melakukan pemberian kaporit). Masyarakat memanfaatkan air danau ini baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk kegiatan mandi, cuci, dan jamban (MCK). Untuk memenuhi kebutuhan akomodasi wisatawan pun juga dipasok dari danau tersebut. Kemudahan akses air ke danau Nyadeng yang dimungkinkan oleh adanya listrik ini menyebabkan pemanfaatan air sungai Lesan menjadi kurang dominan. Meski demikian masih terlihat aktivitas mencuci pakaian di pinggir sungai. Masyarakat juga

masih memanfaatkan sungai Lesan untuk mandi, walaupun tujuannya sudah bergeser menjadi lebih untuk rekreasi. Masyarakat juga dilarang oleh perangkat pemerintahan kampung untuk melakukan kegiatan jamban di pinggir sungai Lesan. Meskipun begitu, apabila fasilitas penyaluran air sedang mengalami gangguan atau kerusakan, masyarakat biasanya kembali memanfaatkan sungai Lesan sebagai sumber air utama.

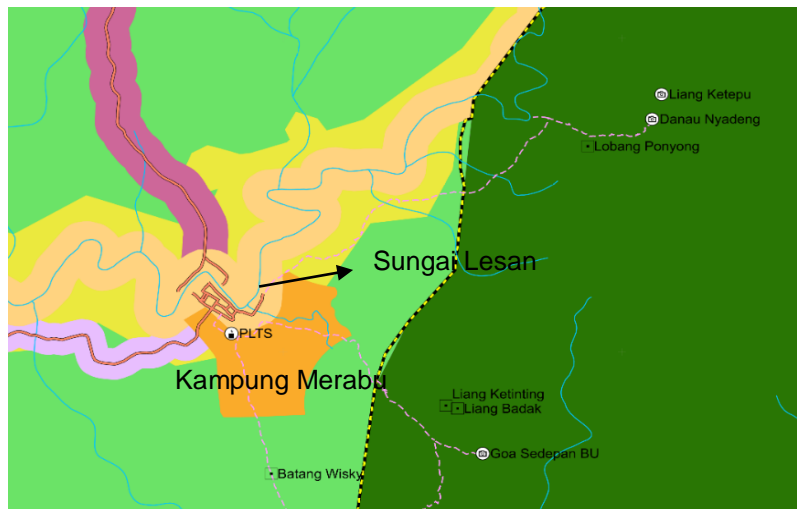
Pengelolaan Air Limbah

Pengolahan air limbah di Merabu merupakan tipe sistem setempat (*on-site*) dimana masing-masing rumah tangga telah memiliki septiktank konvensional. Inilah yang memungkinkan masyarakat untuk tidak lagi melakukan kegiatan jamban di sungai. Sehingga air jamban tidak secara langsung berakhir ke sungai. Lain halnya untuk air limbah dari aktivitas domestik lain seperti mandi dan mencuci. Belum tersedia sistem pengolahan khusus untuk itu. Terdapat saluran drainase namun jangkauannya masih parsial, hanya ada di sekitar jalur pemukiman yang berada tepat di pinggir sungai. Sehingga secara umum air limbah dari kegiatan ini sebagian merembes dan terserap tanah, serta sebagian lainnya terbuang ke sungai melalui saluran drainase.

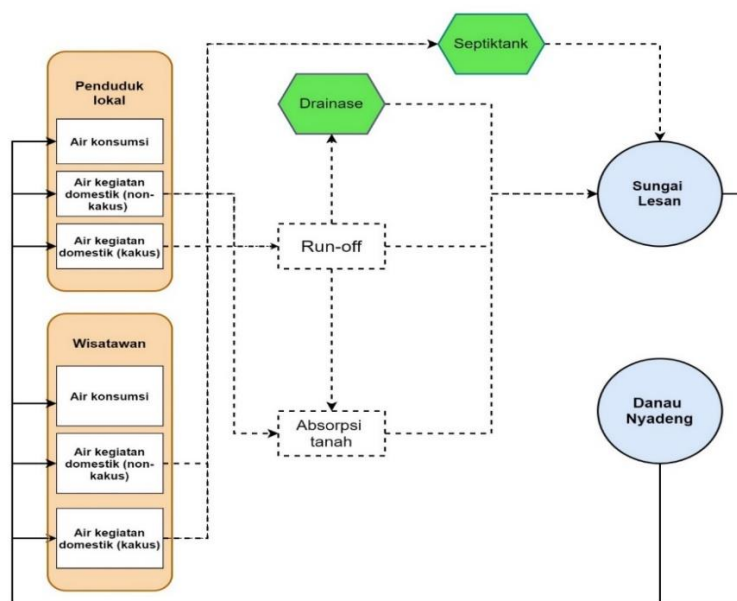
Variabel Dalam Sistem Pengelolaan Air Kampung Merabu

Dari uraian di atas, variabel dalam sistem pengelolaan air Kampung Merabu serta keterhubungannya dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 4). Dimana terdapat aliran suplai air bersih dari danau Nyadeng dan sebagian kecil sungai Lesan ke sub-sistem kebutuhan air penduduk lokal dan wisatawan. Dari sistem pemanfaatan air

ini mengalir air limbah domestik. Air limbah domestik kegiatan jamban mengalir ke septiktank. Dalam sistem ini, kemungkinan kebocoran septiktank dapat saja terjadi, sehingga ada potensi aliran ke sungai Lesan. Sedang air limbah domestik dari kegiatan lainnya, sebagian besar akan berakhir di sungai Lesan.



Gambar 3. Lokasi sumberdaya air di kawasan Kampung Merabu

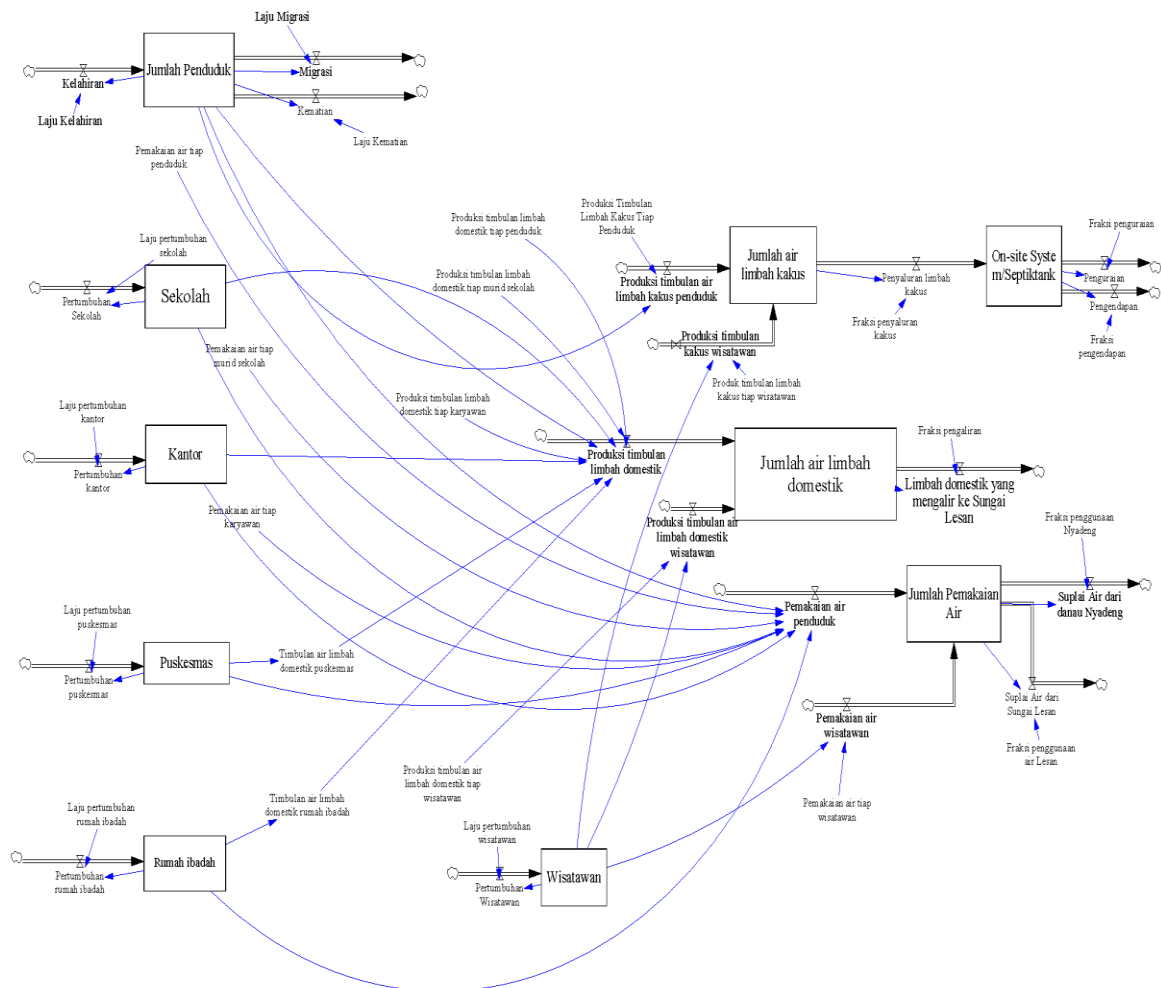


Gambar 4. Identifikasi variabel dalam sistem pemanfaatan air di Kampung Merabu (— : aliran air bersih; -----: aliran air limbah).

2) air limbah jamban, 3) pemakaian air, yang meliputi pengguna air dari sektor penduduk dan wisatawan. Hubungan antar variabel penyusun model tersebut dapat dilihat dari diagram *causal loop*, yang kemudian dilanjutkan menjadi *stock flow diagram* sebagai berikut (Gambar 5).

Pengembangan Model

Berdasarkan dari alur sistem pemanfaatan air tersebut, maka dapat dibuat model sistem dinamik sebagai berikut dengan sub-sistem yang meliputi sub-model 1) air limbah dari kegiatan domestik MCK,



Gambar 5. Diagram *stock flow* sistem pengelolaan air Kampung Merabu dengan menggunakan *Vensim*

Nilai Daya Dukung

Dengan menggunakan model QUAL2KW, kapasitas maksimal beban pencemar yang dapat ditampung oleh sungai dapat ditentukan (Pramaningsih, *et al*, 2020). Dengan pertimbangan bahwa nilai jual ekowisata Merabu adalah kondisi

lingkungan yang sangat *pristine*, maka ambang batas kualitas air yang digunakan adalah Kelas I (tabel 1). Studi ini juga berasumsi bahwa ada aliran pencemar yang masuk ke sungai Lesan lewat air tanah, sebesar 1%.

Estimasi *annual water yield* dari Danau Nyadeng dan sekitarnya dapat

dilakukan setelah terlebih dahulu menentukan luasan wilayah resapan air (Gambar 6). Definisi daerah resapan air sangat beragam. Namun dalam studi ini, daerah resapan air didefinisikan sebagai suatu area yang dikelilingi batas topografi, sehingga air hujan yang jatuh di area tersebut akan mengalir dan berakhir pada satu badan air, baik itu sungai, basin, ataupun danau (Hutapea, 2020). Daerah resapan Danau Nyadeng dibatasi oleh perbukitan *karst* yang memiliki ketinggian 150 sampai 550 mdpl. Dari batas topografi dibuat garis deliniasi yang mendefinisikan ruang daerah resapan Danau Nyadeng, yaitu 816 ha. Dengan menggunakan metode Turc, didapat *annual water yield* di area

Danau Nyadeng adalah 5.898.564 m³/tahun.

Tabel 1. Baku mutu air Kelas I

No	Parameter	Satuan	Baku mutu
1.	pH	-	6 - 9
2.	BOD	mg/L	2
3.	DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	mg/L	6 <
4.	Total Fosfat (P)	mg/L	0,2
5.	NO3-N	mg/L	10
6.	NH3-N	mg/L	0,5



Gambar 6. Daerah resapan air danau Nyadeng

Pengembangan Skenario

Skenario yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari lima skenario, yaitu skenario *baseline* dan tiga skenario dengan pertumbuhan wisatawan yang berbeda. Skenario tersebut kemudian disimulasikan dengan software *Vensim*. Basis dari skenario *baseline* adalah kondisi eksisting ekowisata saat ini, dimana angka pertumbuhan penduduk sebesar 0,2%, dan pertumbuhan wisatawan relatif sama setiap tahun yaitu 750 wisatawan. Sedangkan

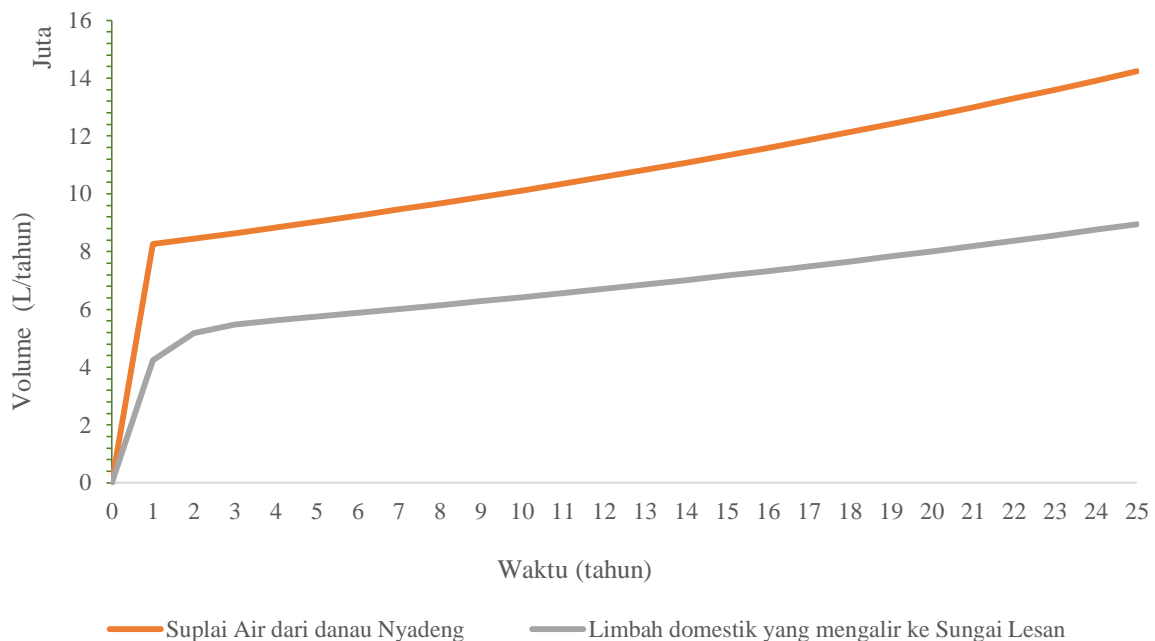
skenario lainnya berbasis pertumbuhan kunjungan wisata setiap tahunnya, yaitu 10%, 20%, dan 30%. Jumlah hari kunjungan dalam setiap skenario ditetapkan selama 3 hari. Tingkat pemakaian air penduduk dan wisatawan didasarkan pada SK-SNI Air Minum tahun 2000. Berdasarkan data di lapangan, tingkat pemakaian air untuk penduduk Merabu, masuk dalam kategori kota kecamatan, yaitu 100 liter/orang/hari, sedangkan untuk wisatawan adalah 170 liter/orang/hari, atau

masuk kategori kota besar. Masing-masing skenario disimulasikan untuk periode 25 tahun.

Hasil Simulasi Sistem Dinamik

Hasil simulasi sistem dinamik skenario *baseline*, menunjukkan bahwa pada tahun ke-25 volume limbah domestik yang mengalir ke sungai Lesan, diperkirakan mencapai 8,95 juta liter/tahun (Gambar 7). Volume suplai air dari danau

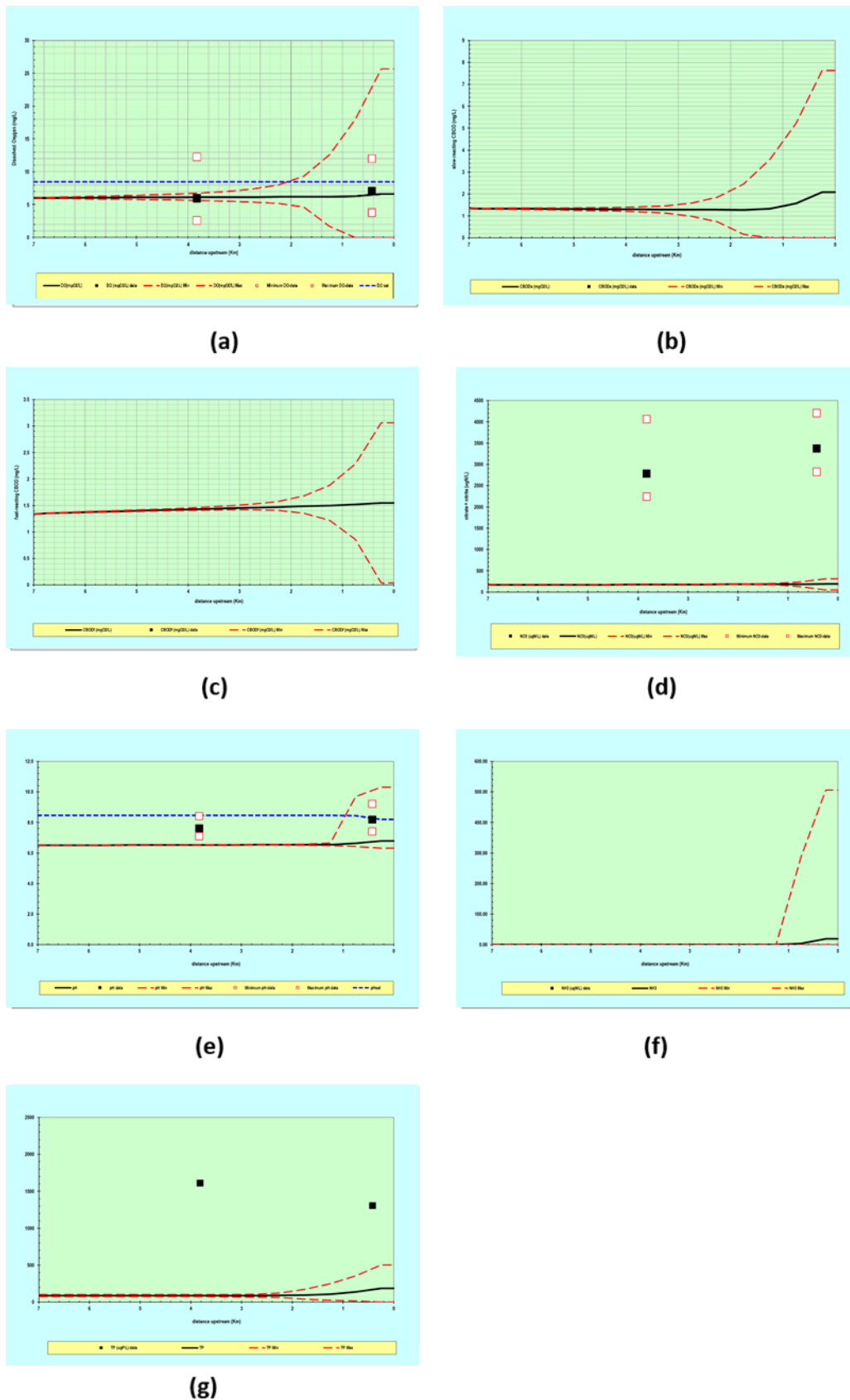
Nyadeng, simulasi Vensim memberikan nilai 14,24 juta liter/tahun atau 14,24 ribu liter/tahun. Hal ini berarti pada tahun ke-25, kebutuhan air tidak melampaui kapasitas lingkungan, bahkan hanya mencakup 0,24%. Sedangkan dari sisi pertumbuhan penduduk, sebagai faktor yang berkontribusi meningkatkan kebutuhan air dan volume air limbah, total penduduk hanya 408 orang pada tahun ke-25.



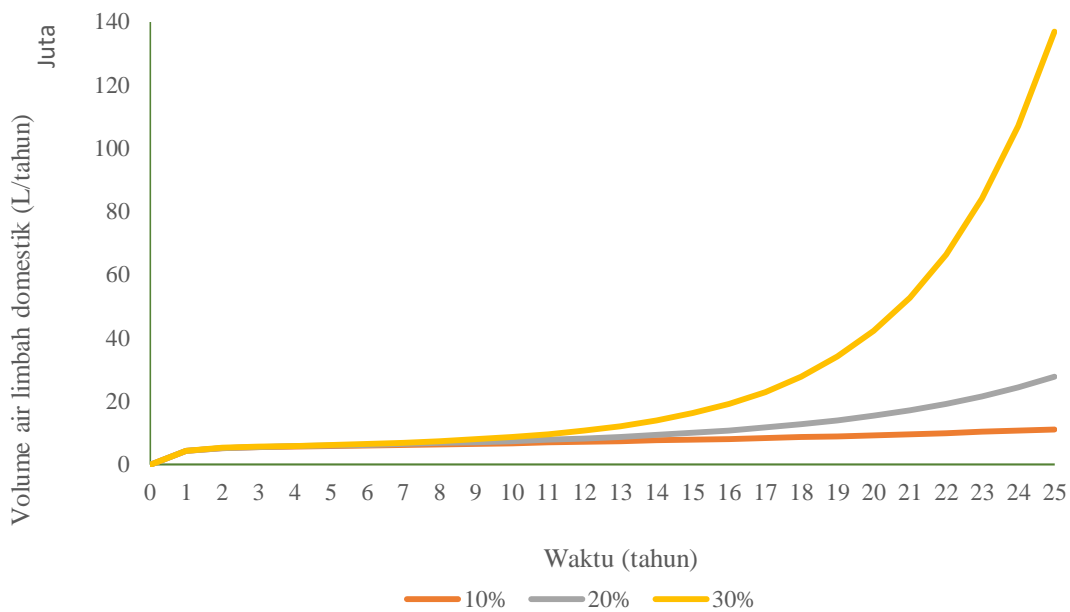
Gambar 7. Volume suplai air dan air limbah domestik pada skenario baseline

Jika dilihat dari simulasi QUAL2KW berikut yaitu simulasi kualitas air pada tahun ke-25 dari skenario *baseline* (Gambar 8), ada satu hal yang perlu dicermati. Simulasi QUAL2KW memungkinkan perhitungan adanya fluktuasi aliran polutan. Selain memberikan nilai rata-rata, QUAL2KW juga memperhitungkan nilai puncak dan terendah untuk parameter yang disimulasikan. Sebagian besar parameter yang disimulasikan menunjukkan pada saat puncak pelepasan polutan ke sungai Lesan, nilai parameter berada dibawah ambang batas kualitas air kelas I. Parameter DO, meski nilai rata-ratanya berada pada Kelas I, akan tetapi dalam rentang 24 jam

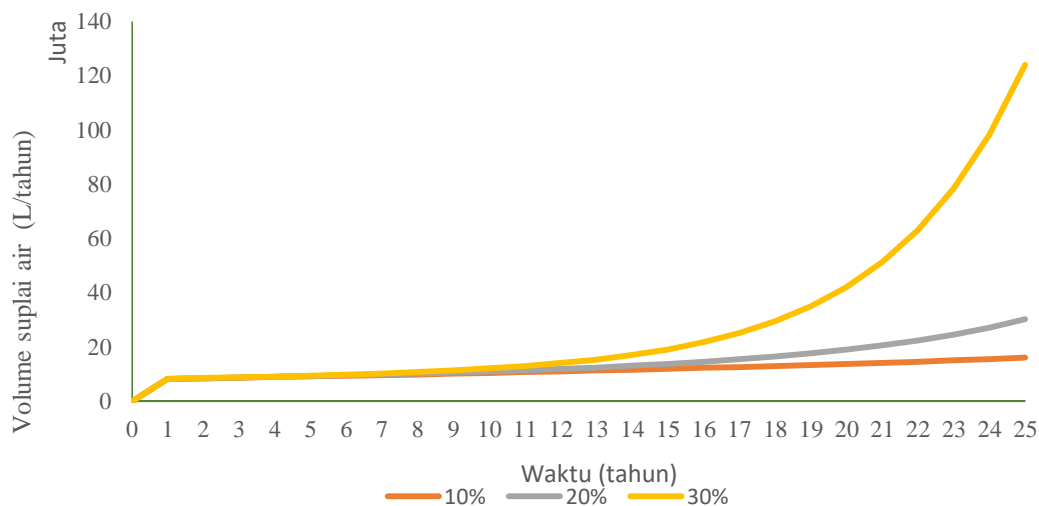
menunjukkan fluktuasi signifikan. Terutama pada siang hari dimana aktivitas penduduk cukup tinggi, nilai DO dapat menyentuh baku mutu Kelas III. Nilai CBOD (*slow*) rata-rata bahkan sudah di atas nilai ambang, meskipun tidak signifikan (2,08 mg/l). Pola ini terlihat dari tahun pertama hingga tahun terakhir simulasi. Terutama pada badan sungai dengan radius 2 km dari pemukiman kampung Merabu. Hal ini menunjukkan bahwa meski status kondisi eksisting kualitas air sungai Lesan masih tergolong baik, akan tetapi sebaiknya tidak lagi dibebani oleh beban polutan yang lebih besar.



Gambar 8. Hasil simulasi output dari QUAL2KW pada tahun ke-25 skenario *baseline*, dimana (a) DO; (b)cBOD *slow*; (c) cBOD *fast*, (d) NO₃; (e) pH; (f) NH₃; dan (g) *Total Fosfat*



Gambar 9. Volume air limbah domestik yang mengalir ke sungai Lesan pada skenario 10%, 20%, dan 30%



Gambar 10. Volume suplai air dari Danau Nyadeng pada skenario 10%, 20%, dan 30%

Untuk skenario pertumbuhan wisata, trajektorinya dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Sangat jelas bahwa daya dukung lingkungan di kawasan Kampung Merabu dari segi penyediaan air sangat melimpah. Pada skenario 30%, kebutuhan air dapat mencapai 136,87 juta l/tahun atau cukup untuk menyokong jumlah wisatawan sebesar 529 ribu orang/tahun. Jumlah ini

berkisar 2,32% dari daya dukung lingkungan per tahun. Akan tetapi dari aspek daya dukung kualitas air, skenario pertumbuhan wisatawan ternyata tidak dapat dijadikan dasar dalam merancang strategi pengelolaan ekowisata di kampung Merabu.

Strategi Pengembangan Ekowisata

Pengembangan ekowisata berbasis pertumbuhan kunjungan wisatawan ternyata tidak sejalan dengan visi membangun ekowisata berkelanjutan. Dalam konteks Kampung Merabu, jumlah kunjungan wisatawan eksisting sudah memenuhi kapasitas daya dukung lingkungan. Khususnya dari aspek pemanfaatan sumberdaya air. Strategi pengembangan ke depan sebaiknya difokuskan kepada dibangunnya sistem pengelolaan air limbah domestik setempat yang sesuai dengan kondisi lingkungan serta sosial-ekonomi di kampung Merabu (Ali, Lestari, and Putri, 2020). Oleh karena itu perlu dilakukan studi terhadap skema pengelolaan air limbah seperti apa yang dapat diterapkan kampung Merabu. Studi dapat mencakup tentang kesediaan dan kesesuaian lahan, penerimaan masyarakat, peluang pendanaan, infrastruktur, dan lain sebagainya.

KESIMPULAN

Skenario pengembangan ekowisata berbasis pertumbuhan wisatawan tidak dapat menjadi basis strategi pengembangan ekowisata di kampung Merabu. Berdasarkan kondisi eksisting saat ini, dengan pertumbuhan penduduk sangat kecil, serta jumlah kunjungan wisatawan di kisaran 500 – 900 orang/tahun, sesungguhnya kapasitas daya dukung lingkungan untuk ekowisata di Merabu sudah terpenuhi. Lebih lanjut, dalam konteks pengembangan ekowisata, kampung Merabu perlu mengupayakan adanya infrastruktur pengelolaan air limbah setempat. Untuk itu, perlu dilakukan studi untuk menemukan skema pengelolaan air limbah yang dapat diterapkan di kampung Merabu.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, Firdaus, Dwi Lestari, and Marsya Putri. 2020. "Eco-Friendly Toilet for Sustainable Wastewater Management

in Tourism Area." *E3S Web of Conferences* 211: 1009.

Hashim, M et al. 2021. "The Impact of Ecotourism on the Water Quality in Sedim River, Kedah, Malaysia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 683(1): 012023.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/683/1/012023>.

Hutapea, Sumihar. 2020. "Biophysical Characteristics of Deli River Watershed to Know Potential Flooding in Medan City, Indonesia." *Journal of Rangeland Science* 10(3): 316–27. http://www.rangeland.ir/article_672809.html.

Konukcu, Fatih, Ahmet ISTANBULLUOGLU, and I Kocaman. 2006.

"DETERMINATION OF THE WATER YIELDS FOR SMALL BASINS IN SEMI-ARID AREAS: APPLICATION OF THE MODIFIED TURC METHOD TO THE TURKEY'S CONDITIONS." *Journal of Central European Agriculture (jcea@agr.hr)*; Vol.6 No.3 6.

Leung, Yu-Fai, and Jeffrey Marion. 2000. "Recreation Impacts and Management in Wilderness: A State-of-Knowledge Review."

Lola, M.S.; Hussin, M.F.; Yusoff, I.M.; Ramlee, M.N.A.; Isa, S.H.; Kamil, A.A.; A. Khadar, N.Z.; Abdullah, M.T. 2017. "A System Dynamic Model for Sustainable Ecotourism in Tasik Kenyir, Terengganu, Malaysia." *Preprints*.

Merabu, Pemerintah Kampung. 2018. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Kampung Merabu Kecamatan Kelay Kabupaten Berau Tahun 2014 – 2018*. Merabu.

- Pianosi, Francesca et al. 2016. "Sensitivity Analysis of Environmental Models: A Systematic Review with Practical Workflow." *Environmental Modelling & Software* 79: 214–32. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216300287>.
- Pramaningsih, Vita, Slamet Suprayogi, and Ignasius Loyola Setyawan Purnama. 2020. "Pollution Load Capacity Analysis of BOD, COD, and TSS in Karang Mumus River, Samarinda." *Indonesian Journal of Chemistry* 20(3): 626–37. <https://jurnal.ugm.ac.id/ijc/article/view/44296> (September 16, 2021).
- Sapiri, Hasimah et al. 2017. *Introduction to System Dynamics Modelling and Vensim Software*. Kedah: Penerbit Universiti Utara Malaysia.
- Schwaninger, Markus. 2009. "System Dynamics in the Evolution of the Systems Approach BT - Encyclopedia of Complexity and Systems Science." In ed. Robert A Meyers. New York, NY: Springer New York, 8974–87. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3_537.
- Stevanović, Zoran. 2019. "Karst Waters in Potable Water Supply: A Global Scale Overview." *Environmental Earth Sciences* 78(23): 662. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8670-9>.
- Widyaningsih, Grita. 2017. "Permasalahan Hukum Dalam Perlindungan Ekosistem Karst Di Indonesia (Studi Kasus : Ekosistem Karst Sangkulirang – MangkaliHat, Provinsi Kalimantan Timur)." *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia* 3: 73.