

Identifikasi Sistem Sosial Ekologis Waduk Gesek, Pulau Bintan, Kepulauan Riau

Tri Apriadi^{1*}, Andi Zulfikar¹, Winny Retna Melani¹, Wahyu Muzammil¹, Deni Sabriyati¹, Rahma Syafitri², dan Fitria Ulfah³

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia; e-mail: tri.apriadi@umrah.ac.id

²Program Studi Sosiologi, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

³Program Studi Sosial Ekonomi Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

ABSTRAK

Waduk merupakan sistem sosial-ekologis (SSE) kompleks yang mengintegrasikan fungsi penyediaan sumber daya air dengan kondisi ekologis, aktivitas masyarakat, tekanan lingkungan, dan kelembagaan pengelola. Waduk Gesek sebagai salah satu sumber air baku di Pulau Bintan menghadapi ledakan gulma air, penurunan volume, dan penurunan kualitas air yang ditandai oleh beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu. Penelitian ini bertujuan menganalisis SSE Waduk Gesek sebagai dasar pengelolaan sumber daya air. Data sosial diperoleh dari wawancara dengan masyarakat serta diskusi kelompok terpumpun dengan pemangku kepentingan. Total responden sosial sebanyak 57 orang (masyarakat sekitar, pemancing, pelanggan PDAM). Wawancara mendalam melalui FGD dilakukan terhadap Pihak Pengelola Waduk, Instansi Pemerintah, serta LSM). Data ekologi bersumber dari hasil penelitian yang dipublikasikan dalam kurun waktu 2016-2023. Data dianalisis menggunakan kerangka SSE Ostrom yang dimodifikasi oleh McGinnis dan Ostrom, dilanjutkan dengan pemetaan hubungan antarkomponen dan analisis jaringan berdasarkan *node*, *link*, *density*, rata-rata *degree*, dan modularitas. Jaringan SSE terdiri atas 17 *node* dan 72 *link*, dengan *density* 0,265 dan rata-rata *degree* 4,24, serta membentuk empat *cluster* dengan modularitas total 0,462. *Cluster* kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan merupakan subsistem paling dominan, terdiri atas 8 *node* dan 28 *link*, dengan rata-rata *degree* 7,00 dan kontribusi modularitas 0,214. Struktur ini menunjukkan keterkaitan erat antara kualitas dan kuantitas air, PDAM, pengguna air, masyarakat, serta tekanan lingkungan berupa sawit dan gulma air. Keberlanjutan Waduk Gesek memerlukan pengelolaan terintegrasi melalui konservasi daerah aliran sungai, pengendalian gulma air dan tekanan lingkungan, penguatan koordinasi kelembagaan, serta keterlibatan masyarakat dalam tata kelola adaptif sumber daya air.

Kata kunci: analisis jaringan, Sei Gesek, sistem sosial-ekologis, waduk

ABSTRACT

Reservoirs are complex social-ecological systems (SEs) that integrate water resource provision with ecological conditions, community activities, environmental pressures, and institutional governance. Gesek Reservoir, one of the raw water sources on Bintan Island, has experienced aquatic weed proliferation, declining water volume, and deteriorating water quality, with several parameters exceeding water quality standards. This study aimed to analyze the SES of Gesek Reservoir as a basis for integrated water resource management. Social data were collected through interviews with 57 respondents (local residents, fishers, and water utility customers), supplemented by group discussions with reservoir managers, government agencies, and NGO. Ecological data were derived from research articles published during 2016–2023. The data were analyzed using the Ostrom SES framework, modified by McGinnis and Ostrom, followed by network mapping and analysis based on nodes, links, density, average degree, and modularity. The SES network comprised 17 nodes and 72 links, with a network density of 0.265 and an average degree of 4.24, forming four clusters with an overall modularity of 0.462. The water quality and utilization cluster was the most prominent subsystem, comprising eight nodes and 28 links, with the highest average degree (7.00) and modularity contribution (0.214). This structure indicates strong linkages among water quality and quantity, the water utility, water users, communities, and environmental pressures associated with oil palm and aquatic weeds. Ensuring the sustainability of Gesek Reservoir requires integrated management through watershed conservation, aquatic weed and environmental pressure control, strengthened institutional coordination, and community participation to support adaptive water resource governance.

Keywords: network analysis, reservoir, Sei Gesek, social-ecological system

Citation: Apriadi, T., Zulfikar, A., Melani, W. R., Muzammil, W., Sabriyati, D., Syafitri, R., dan Ulfah, F. (2026). Identifikasi Sistem Sosial Ekologis Waduk Gesek, Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(5), 1087-1100, doi:10.14710/jil.24.5.1087-1100

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan di Pulau Bintan yaitu ketersediaan air bersih, baik dari kualitas maupun kuantitas (Marganingrum *et al.*, 2020; Melani *et al.*, 2021). Untuk memenuhi kebutuhan air baku di Pulau Bintan, dibangun Waduk Gesek pada tahun 2011. Namun, kondisi kualitas perairan Waduk Gesek semakin menurun. Hal ini terlihat dari pH yang rendah (Apriadi *et al.*, 2018), konsentrasi bahan organik (BOD) yang telah melebihi baku mutu perairan (Asmaniar, 2017), ledakan populasi gulma air (Aminuddin, 2018; Melani *et al.*, 2020), serta pendangkalan akibat penyusutan volume air waduk (www.antaraneews.com, 2020).

Kajian ekologis yang telah disebutkan sebelumnya, belum didukung dengan kajian sosial yang berkaitan dengan pemanfaatan dan pengelolaan waduk. Padahal, sumber daya perairan tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi ekologis, tetapi juga aspek sosial. Interaksi antara komponen ekologis dan sosial dapat terdeskripsikan dalam suatu sistem sosial ekologis/SSE (Sjafrie, 2018). Hal ini sejalan dengan hasil kajian Melani *et al.* (2021) yang menyebutkan bahwa perlu dilakukannya kajian sosial berkaitan dengan wilayah penyangga waduk serta upaya pendekatan ke masyarakat terkait peran serta dalam pengelolaan waduk di Pulau Bintan.

Kajian SSE waduk masih terbatas karena umumnya kajian SSE di Indonesia berfokus pada sumber daya lahan, hutan, atau laut. Pendekatan Sistem Sosial-Ekologis (SSE) dengan Frame Ostrom yang dimodifikasi dari McGinnis dan Ostrom (2014) untuk konteks perairan waduk tropis di Indonesia merupakan hal yang relatif baru dalam konteks pengelolaan waduk di Indonesia. Oleh karena itu kajian mengenai SSE di Waduk Gesek di Pulau Bintan penting untuk dilakukan.

Studi ini menawarkan identifikasi terhadap Waduk Gesek sebagai jaringan sosial-ekologis yang menghubungkan secara simultan komponen ekologis, pengguna sumber daya, aktor pengelola, dan tekanan lingkungan, serta mengidentifikasi struktur *cluster* dan arah hubungan positif-negatif di antara komponen tersebut. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi titik konsentrasi persoalan sistem, yaitu pada keterkaitan antara kualitas air, pemanfaatan air, dan tekanan lingkungan, sekaligus memperlihatkan potensi ketidaksesuaian antara struktur permasalahan sosial-ekologis dan struktur kelembagaan pengelolaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur sistem sosial-ekologis Waduk Gesek melalui

pendekatan analisis jaringan dengan mengintegrasikan komponen ekologis, pemanfaatan sumber daya air, aktivitas masyarakat, dan kelembagaan. Analisis difokuskan pada pemetaan keterhubungan dan arah hubungan antarkomponen, identifikasi struktur *cluster* serta peran masing-masing subsistem, dan pengungkapan pusat keterhubungan yang membentuk dinamika sistem, khususnya pada aspek kualitas dan pemanfaatan air. Penelitian ini selanjutnya menganalisis keterkaitan struktur sosial-ekologis dengan struktur kelembagaan untuk mengidentifikasi potensi fragmentasi pengelolaan serta merumuskan implikasi pengelolaan Waduk Gesek yang lebih terintegrasi dan berbasis keterhubungan sosial-ekologis. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi informasi yang komprehensif berkaitan dengan sistem sosial dan ekologis Waduk Gesek sebagai dasar pengelolaan waduk secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada April hingga November 2022. Lokasi penelitian di sekitar Waduk Gesek, Kabupaten Bintan serta Kota Tanjungpinang.

2.2. Bahan dan Alat

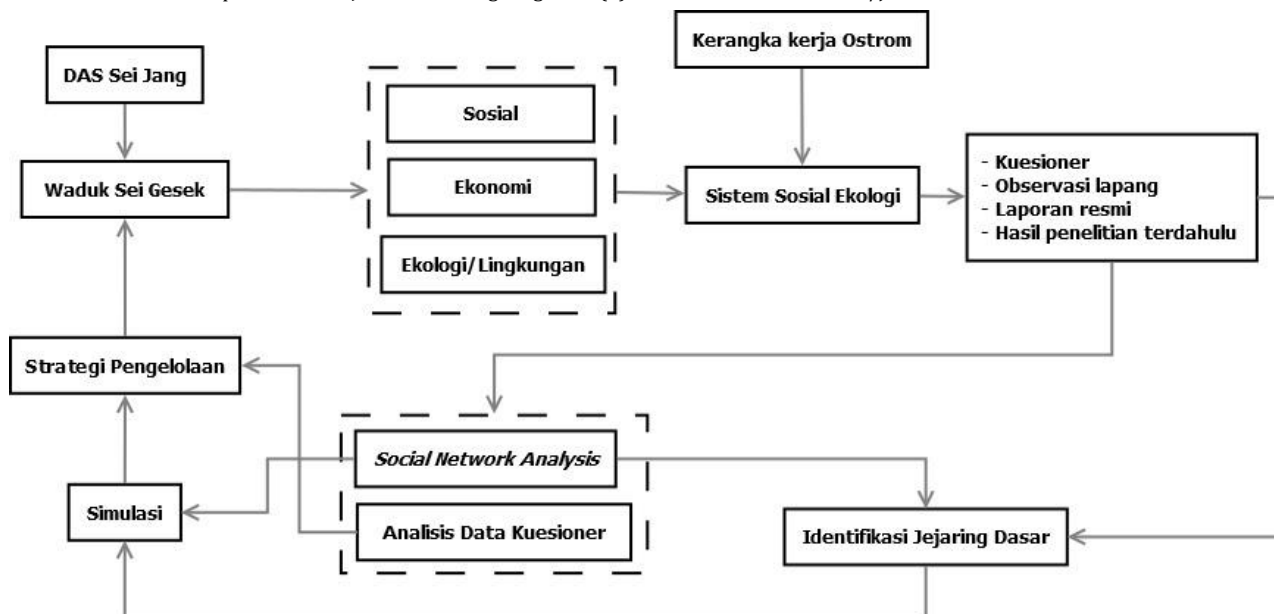
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No.	Alat/ Bahan	Kegunaan
1.	Lembar kuesioner	Media pengumpulan data
2.	<i>Data sheet</i>	Mencatat hasil wawancara
3.	Alat tulis	Mencatat hasil wawancara
4.	Kamera	Dokumentasi
5.	<i>Recorder</i>	Merekam pada saat <i>depth interview</i>
6.	Aplikasi zoom	Komunikasi dengan <i>stakeholder</i> (di luar Tanjungpinang)
7.	Laporan dari instansi	Data sekunder
8.	Jurnal ilmiah	Data sekunder
9.	Aplikasi R, Q Gis, dan SENA	Analisis data

2.3. Prosedur Kerja

Data yang dikumpulkan adalah data primer dan data sekunder. Data primer berupa data sosial yang diperoleh melalui observasi lapang, kuesioner, dan *depth interview*. Sedangkan data sekunder berupa data hasil kajian kualitas perairan dan hidrodinamika yang dilakukan oleh tim penulis dan sudah diterbitkan dalam publikasi ilmiah pada periode 2016-2023 (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka Pikir dan Prosedur Penelitian

2.4. Pengambilan Data

Pengambilan data sosial dilakukan melalui kegiatan observasi di Waduk Gesek, penyebaran kuesioner kepada responden, serta wawancara mendalam kepada para pemangku kepentingan melalui *focus group discussion* (FGD) (Melani *et al.*, 2020). Total responden sosial sebanyak 57 orang (22 masyarakat sekitar, 5 pemancing, 30 pelanggan PDAM). Wawancara mendalam melalui FGD dilakukan terhadap Pihak Pengelola Waduk (BWS Sumatera IV & PDAM) Tirta Kepri), Instansi Pemerintah (DLHK Kepri, PBHK IX Tanjungpinang, BPDASHL Kepri), serta LSM (LSM ALIM Kepri). Sumber serta jenis data sosial yang dikumpulkan tersaji dalam Tabel 2. Data ekologi dikumpulkan dari hasil kajian kualitas perairan dan hidrodinamika yang dilakukan oleh tim penulis dan sudah diterbitkan dalam publikasi ilmiah pada periode 2016-2023.

2.5. Analisis Data

Data sosial-ekologi dianalisis dengan model konseptual dasar sistem sosial-ekologi (SSE) menggunakan Frame Ostrom yang dimodifikasi dari McGinnis dan Ostrom (2014) (Gambar 2). Analisis jejaring sosial (SNA) dilakukan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola hubungan, interaksi dan konektivitas antar aktor serta berbagai pemangku kepentingan (*stake holder*) (Prell, 2012; Kluger *et al.*, 2015). Metode yang digunakan dalam analisis yaitu *Catagorical analysis*, dan *social-ecological network analysis* menggunakan Q-GIS dan R paket igraph (Csardi dan Nepusz, 2006).

Data hasil kuesioner terlebih dahulu dikodekan ke dalam matriks hubungan (*adjacency matrix*). Setiap *node* merepresentasikan aktor sosial maupun komponen ekologi, sedangkan setiap hubungan diberi bobot berdasarkan hasil identifikasi interaksi. Hubungan yang bersifat mendukung atau

memberikan pengaruh positif terhadap pengelolaan diberi nilai +1, hubungan yang menghambat atau berdampak negatif diberi nilai -1, sedangkan tidak adanya hubungan diberi nilai 0. Matriks tersebut kemudian dianalisis menggunakan indikator jaringan meliputi *degree centrality*, *betweenness centrality*, *closeness centrality*, *network density*, dan *modularity* untuk mengidentifikasi aktor kunci, tingkat keterhubungan jaringan, serta struktur interaksi dalam sistem sosial-ekologi.

a. Analisis deskriptif jejaring sosial

Analisis ini merupakan identifikasi atribut-atribut jejaring sosial dari identifikasi model dasar yang meliputi:

1. Ukuran (*size*) jejaring sosial
Analisis ini terkait seberapa besar jumlah anggota (*member*) dalam jejaring sosial yang disimbolkan dalam bulatan (*nodes, vertices*, atau *actors*).
2. Densitas (*density*)
Merupakan proporsi dari hubungan (*ties, edges, arc*, atau *relation*) yang teramati dalam jejaring sosial.
$$\text{Densitas}(\text{directed network}) = L / (k(k - 1))$$
$$\text{Densitas}(\text{undirected network}) = 2L / (k(k - 1))$$

L adalah jumlah hubungan yang teramati dalam jejaring, $k(k-1)$ adalah jumlah hubungan maksimal yang mungkin antar aktor.
3. Komponen-komponen jejaring (*components*)
Merupakan sub kelompok dengan kondisi semua aktor terkoneksi baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Diameter jejaring
Mengukur seberapa kompak relasi yang teramati dalam jejaring sosial.
5. Koefisien pengelompokkan jejaring
Mengukur tendensi jejaring untuk membentuk pengelompokkan hubungan.

Analisis Parameter

1. Sentralitas (*centrality*)

Mengukur aktor sentral dalam jejaring (*prominent actor/degree*) dikalkulasi berdasarkan formula Wasserman dan Faust (1994):

$$Cd(ni) = d(ni)$$

d adalah jarak lajur antara dua *nodes*.

Degree adalah ukuran paling sederhana dalam *Social Network Analysis* (SNA). *Degree* menunjukkan berapa banyak hubungan (*link*) yang dimiliki oleh suatu node. Dalam hal ini

jejaring menggunakan panah (*directed network*), maka *degree* dibagi menjadi:

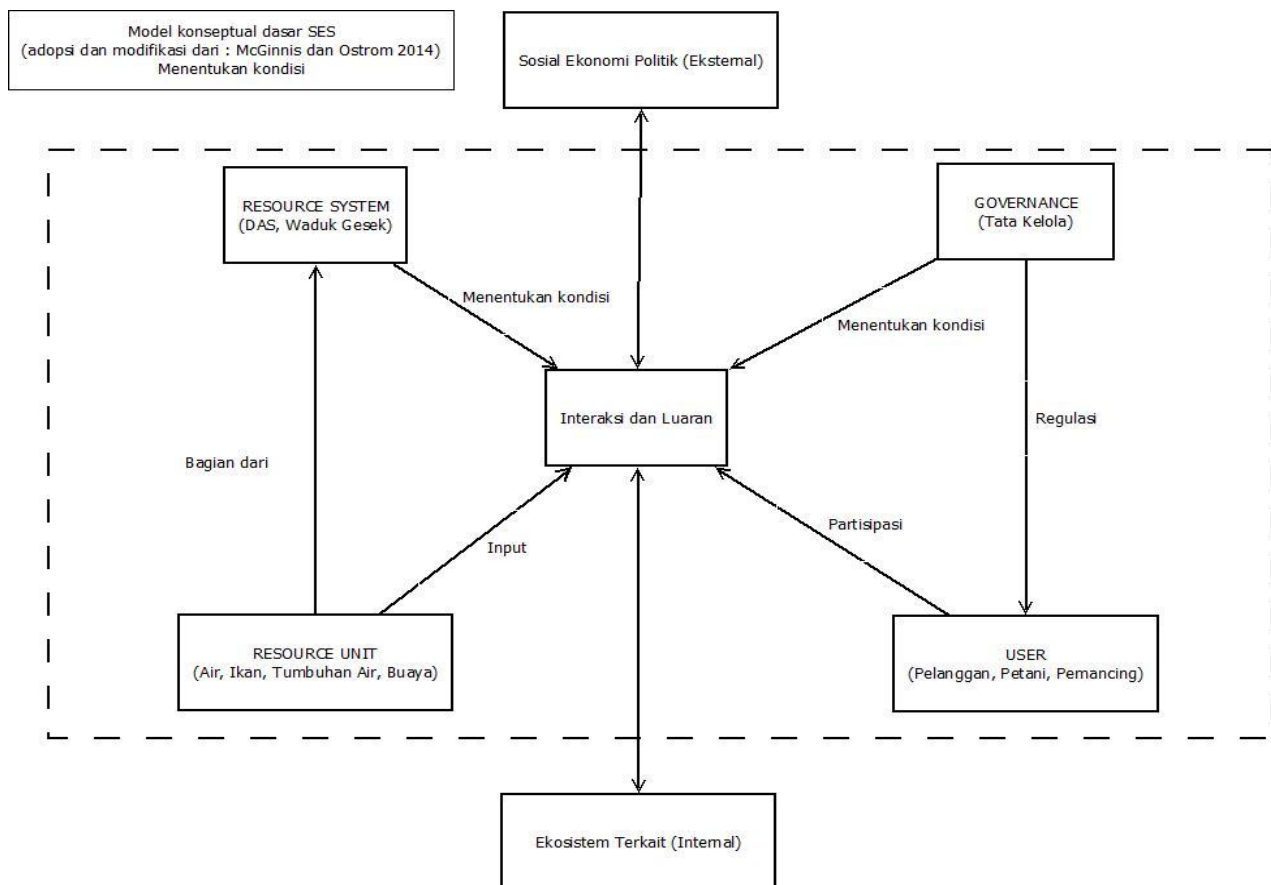
- *In-degree* = jumlah panah yang masuk ke *node*.
- *Out-degree* = jumlah panah yang keluar dari *node*.
- *Total degree* = *In-degree* + *Out-degree*.

2. Kohesi sosial (*social cohesion*)

Merupakan ukuran keterhubungan antar aktor berdasarkan frekuensi, kekuatan dan hubungan langsung (Wasserman dan Faust 1994). Dikalkulasi menggunakan nilai modularitas (Newman dan Girvan 2004).

Tabel 2. Sumber dan Jenis Data

No.	Sumber Data Primer	Data yang diambil	Metode
1.	Pihak Pengelola Waduk Gesek	a. Kebijakan	Depth interview
a.	Balai Wilayah Sungai Sumatera IV (BWS Sumatera IV) (DLHK Kepri)	b. Pengembangan	
b.	Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Kepri	c. Strategi pengelolaan tutupan	
Instansi Pemerintah	a. Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Kepulauan Riau (DLHK Kepri)	d. Status lahan	
2.	b. Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah XII Tanjungpinang (PBHK XII Tanjungpinang)	e. Kondisi ekologi	
c.	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Sei Jang Duriangkang Provinsi Kepulauan Riau (BPDASHL Kepri)	f. Ecosystem service	
3.	Lembaga Swadaya Masyarakat Masyarakat:		
a.	Masyarakat di sekitar Waduk Gesek	Persepsi terhadap waduk	Kuesioner
b.	Masyarakat pengguna jasa PDAM		
c.	Masyarakat pemanfaat waduk		



Gambar 2. Model Konseptual Dasar Sistem Sosial-Ekologi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Responden

Responden dalam penelitian terdiri atas 22 orang masyarakat yang tinggal di sekitar waduk (Tabel 3), 5 orang masyarakat yang memanfaatkan waduk sebagai pemancing (Tabel 4), dan 30 orang pelanggan PDAM (Tabel 5). Rentang usia responden berada pada kisaran 16 – 63 tahun, dengan tingkat pendidikan yang berbeda. Responden dengan tingkat pendidikan tertinggi adalah mereka yang menjadi pelanggan PDAM (90% SMA), sedangkan para pemancing adalah responden dengan tingkat pendidikan di bawah SMA. Perbedaan tingkat pendidikan diduga mencerminkan adanya perbedaan pengetahuan pada responden. Menurut Pusmiati *et al.* (2025), tingkat pengetahuan yang lebih tinggi cenderung mengimplementasikan perilaku yang lebih bertanggung jawab dalam pengelolaan lingkungan.

3.2. Kondisi Ekologis

Waduk Gesek merupakan salah satu waduk yang terdapat di Kabupaten Bintan. Secara administratif Waduk Gesek berada di Kecamatan Topaya Asri, Kabupaten Bintan yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air baku di Pulau Bintan pada tahun 2011. Waduk ini diharapkan mampu membantu pemenuhan kebutuhan air baku di Pulau Bintan yang sebelumnya berasal dari Waduk Sei Pulai, Kolong Enam, Waduk Lagoi, dan Waduk Jago (BWS Sumatera IV, 2019). Waduk Gesek memiliki luas genangan ± 6,82 ha dengan volume tampungan 277.888 m³. Di sekitar waduk terdapat permukiman warga di jalan menuju ke Trikora yang merupakan daerah wisata pantai (Khairunnisa *et al.*, 2021) serta aktivitas

perkebunan kelapa sawit di hulu yang dapat menghasilkan limbah organik yang masuk ke dalam waduk.

Berdasarkan data yang berhasil dikumpulkan, fitoplankton yang dijumpai di Waduk Gesek terdiri dari kelompok Bacillariophyta, Chlorophyta, dan Cyanophyta. Kelimpahan fitoplankton mengalami fluktuasi setiap tahun. Kelimpahan fitoplankton di Waduk Gesek pada tahun 2016 sebesar 8.342.000-8.580.000 sel/m³, tahun 2017 sebesar 146.000-1.821.000 sel/m³, dan tahun 2018 sebesar 182.000-1.175.000 sel/m³ (Dona *et al.*, 2016; Agung, 2017; Melani *et al.*, 2018; Apriadi *et al.*, 2023). Fitoplankton dari kelompok Chlorophyta memiliki persentase komposisi yang paling tinggi dibandingkan dengan Bacillariophyta dan Cyanophyta, kecuali pada tahun 2017 di bagian *outlet* Waduk Gesek dengan kelimpahan tertinggi dari kelompok Bacillariophyta (Gambar 3).

Kelimpahan fitoplankton tertinggi dijumpai pada tahun 2016, selanjutnya mengalami penurunan dan berfluktuasi hingga tahun 2018. Penurunan kelimpahan fitoplankton yang terjadi pada tahun 2017 diduga disebabkan oleh penurunan volume air Waduk Gesek. Peningkatan konsentrasi nutrien yang ada di Waduk Gesek diduga disebabkan oleh masukan bahan organik dari limbah domestik permukiman warga di sekitar *inlet* waduk. Selain itu, keberadaan perkebunan kelapa sawit di daerah hulu aliran sungai yang menjadi sumber air bagi waduk ini diduga memberikan kontribusi terhadap penambahan nutrien di perairan. Secara umum, parameter fisika dan kimia perairan di Waduk Gesek sudah memenuhi baku mutu perairan, kecuali nilai pH (Tabel 6).

Tabel 3. Rincian Resoponden Masyarakat di Sekitar Waduk Gesek

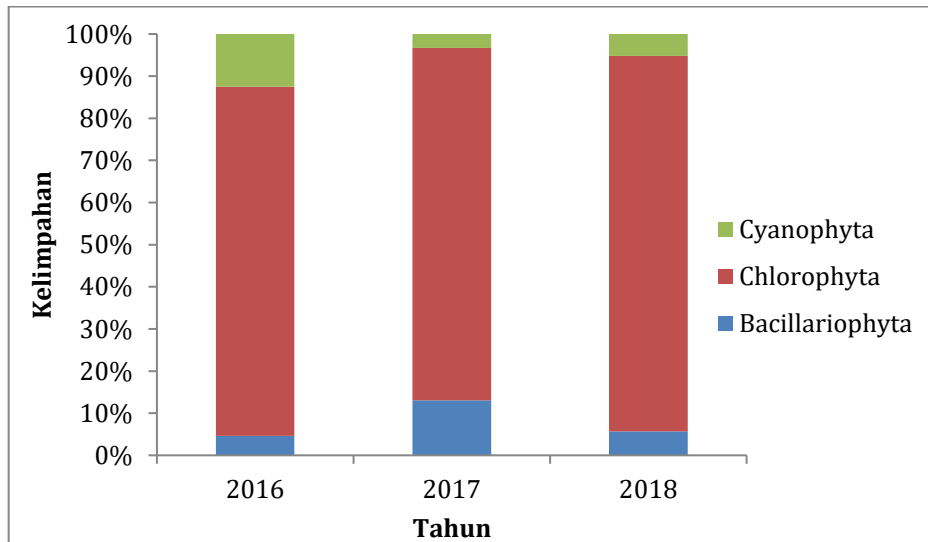
No.	Karakteristik Demografi	Keterangan
1.	Total responden	22
2.	Jenis kelamin	Laki-laki: 15 (68,2%); Perempuan: 7 orang (31,8%)
3.	Rentang usia	26-58 tahun
4.	Pekerjaan	Buruh, petani, IRT, pedagang, wiraswasta, karyawan swasta
5.	Tingkat pendidikan	22,7% SD; 22,7% SMP; 54,5% SMA
6.	Jarak kediaman dari Waduk	9,1% ≤100 m; 50% 100-500 m; 40,9% 500 m-1 km

Tabel 4. Rincian Resoponden Pemancing di Waduk Gesek

No.	Karakteristik Demografi	Keterangan
1.	Total responden	5
2.	Jenis kelamin	Laki-laki: 5 (100%)
3.	Rentang usia	16-63 tahun
4.	Pekerjaan	Buruh (80%); pelajar (20%)
5.	Tingkat pendidikan	40% SD; 60% SMP
6.	Jarak kediaman dari Waduk	20% ≤100 m; 80% > 1 km

Tabel 5. Rincian Resoponden Pelanggan PDAM

No.	Karakteristik Demografi	Keterangan
1.	Total responden	30
2.	Jenis kelamin	Laki-laki: 12 orang (40%); perempuan: 18 orang (60%)
3.	Rentang usia	20-59 tahun
4.	Pekerjaan	ASN, IRT, Karyawan swasta, pedagang, wiraswasta, mahasiswa
5.	Tingkat pendidikan	90% SMA; 6,7% SMP; 3,3% S1
6.	Durasi menjadi pelanggan PDAM	10% <1 tahun; 36,7% 1-3 tahun; 20% 3-5 tahun; 33,3% > 5 tahun



Gambar 3. Komposisi fitoplankton berdasarkan kelimpahan di Waduk Gesek
 Sumber: Dona et al. (2016); Agung (2017); Melani et al. (2018), Apriadi et al. (2023) data diolah

Tabel 6. Nilai Rata-Rata Beberapa Parameter Lingkungan Perairan di Waduk Gesek

Parameter	2016	2017	2018
Suhu (°C)	27,8 ± 0,2	29,7 ± 1,4	29,5 ± 1,9
Kecerahan (cm)	62,4 ± 1,2	52,7 ± 14,0	67,3 ± 19,7
pH	5,42 ± 0,14	5,62 ± 0,14	5,54 ± 0,27
DO (mg/L)	4,32 ± 0,05	7,73 ± 0,40	7,92 ± 0,53

Sumber: Dona et al. (2016); Agung (2017); Melani et al. (2018), Apriadi et al. (2023) data diolah



Gambar 4. Ledakan Populasi Tumbuhan Air Menyebabkan Penurunan Volume Air di Waduk Gesek

Kondisi kualitas perairan Waduk Gesek semakin menurun. Hal ini terlihat dari pH yang rendah (Apriadi et al., 2018). Sejak akhir-akhir tahun 2017 hampir seluruh badan perairan sudah dipenuhi oleh tumbuhan air (makrofita) (Gambar 4). Makrofita di perairan Waduk Sek Gesek dijumpai sebanyak tiga spesies yaitu gulma Brazil (*Egeria densa*), rumput air Kanada (*Elodea canadensis*), dan kangkung (*Ipomoea aquatica*). Gulma Brazil merupakan spesies dengan kerapatan tertinggi di seluruh bagian waduk (Melani et al., 2018).

Berdasarkan pengamatan, Waduk Gesek juga memiliki permasalahan pengurangan volume air terutama pada musim kemarau. Penurunan volume air ini cenderung menyebabkan penetrasi cahaya matahari bisa mencapai dasar perairan. Hal ini juga yang dapat menjadi penyebab makrofita berlimpah di Waduk Gesek. Konsentrasi nutrisi dan intensitas cahaya matahari yang tinggi merupakan pemicu utama peningkatan pertumbuhan biota autotrofik secara cepat di perairan menggenangi (Ryding dan Rast, 1989).

Tabel 7. Peran Pemangku Kepentingan dalam Pengelolaan Waduk Gesek

No.	Instansi	Peran
1.	Pengelola	• Pemantauan rutin berkaitan dengan kebocoran • Penangangkatan sedimen/ pendalaman waduk • Pembersihan gulma air • Pemantauan kualitas air baku • Pemantauan volume air
2.	Pemerintah	• Pemantauan kualitas air baku • Penetapan izin pemanfaatan lahan di sekitar waduk • Pemantauan kondisi tutupan lahan • Perbaikan kondisi lahan hutan yang rusak di sekitar waduk dan daerah aliran sungai
3.	Lembaga Swadaya Masyarakat	• Pemberian edukasi kepada masyarakat berkaitan dengan konsumsi dan perlindungan sumber daya air • Penyalur aspirasi masyarakat kepada pemerintah terkait pemenuhan kebutuhan sumber daya air

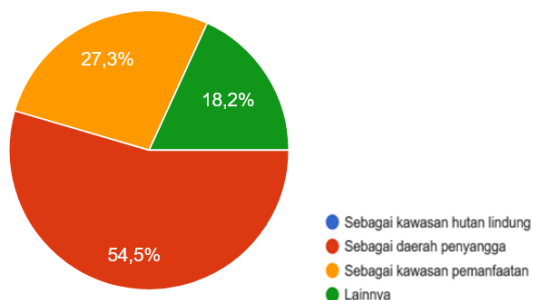
Sumber: Melani et al. (2021) data diolah

3.3. Peran Pengelola, Pemerintah, dan Lembaga Swadaya Masyarakat

Dari hasil kajian diperoleh informasi bahwa pengelola Waduk Gesek (BWS Sumatera IV dan PDAM Tirta Kepri) memiliki peran untuk melakukan pemantauan rutin terhadap waduk, baik kondisi fisik waduk maupun kualitas air baku. Sedangkan pemerintah berperan dalam menetapkan kebijakan, perizinan serta pengawasan operasional dan pemeliharaan (Tabel 7).

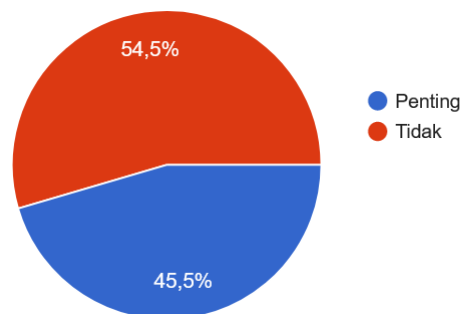
3.4. Persepsi Sosial Masyarakat yang Berada di Sekitar Waduk Gesek serta Pemancing

Dari hasil penelitian diperoleh informasi bahwa masyarakat sepakat bahwa keberadaan Waduk Gesek memberikan manfaat bagi warga. Hasil kajian menunjukkan bahwa masyarakat memiliki pemahaman cukup baik terkait perlunya menjaga kawasan tangkapan air bagi sumber air baku di sekitar Waduk Gesek. Menurut responden, kawasan tangkapan air perlu dijaga karena berperan sebagai daerah penyangga (54,5%), sebagai kawasan pemanfaatan (27,3%), serta sebagai kawasan untuk kegiatan lainnya (18,2%). Namun, meskipun di sekitar waduk terdapat kawasan hutan lindung, tidak satu pun masyarakat menganggap perlu kawasan tersebut sebagai daerah tangkapan air (Gambar 5).



Gambar 5. Persepsi Masyarakat Terkait Manfaat Kawasan Tangkapan Air Bagi Sumber Air Baku di Waduk Gesek

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari hasil wawancara dan kuesioner, diketahui bahwa sebanyak 45,5% masyarakat yang berada di sekitar Waduk Gesek menyatakan bahwa penting untuk menjaga daerah tangkapan air untuk keberlanjutan ketersediaan air baku (Gambar 6). Namun, mayoritas responden menyatakan bahwa mereka tidak berkepentingan untuk menjaga daerah tangkapan air. Masyarakat beralasan bahwa pengelolaan kawasan tangkapan air Waduk Gesek menjadi tanggung jawab pengelola waduk. Paradoks persepsi ini berpotensi memengaruhi relasi dengan kesejahteraan ekologis waduk, khususnya dalam hal keterlibatan aktif masyarakat di sekitar waduk (Akhshik et al., 2020).



Gambar 6. Persepsi Masyarakat Terkait Kepentingan Menjaga Kawasan Tangkapan Air Bagi Sumber Sumber Air Baku di Waduk Gesek

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa rentang usia dan pekerjaan pemancing cukup beragam, tidak hanya orang tua, tetapi juga pelajar. Jika dilihat dari jarak domisili antara waduk dengan tempat tinggal pemancing, 80% pemancing bukanlah warga sekitar Waduk Gesek. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak hanya warga sekitar Waduk Gesek yang memanfaatkan keberadaan waduk, tetapi juga warga yang berlokasi jauh dari waduk. Hal ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan Waduk Gesek tidak hanya dilakukan oleh masyarakat yang

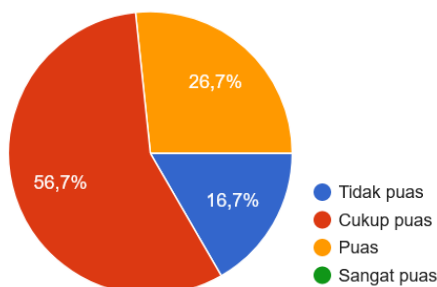
bermukim di sekitar waduk, tetapi juga oleh masyarakat yang tinggal jauh dari waduk. Menurut Costadone *et al.* (2021), masyarakat di sekitar waduk sangat bergantung secara langsung maupun tidak langsung terhadap keberadaan waduk dalam kehidupannya.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa hasil tangkapan pemancing cukup bervariasi, baik dari jenis ikan maupun jumlah hasil tangkapan. Ikan yang didapat adalah ikan air tawar seperti ikan nila, gurami, gabus, mujair, nilem, belida, dan lobster air tawar dengan hasil tangkapan berkisar antara 1-2 kg. Ikan hasil tangkapan dimanfaatkan untuk konsumsi sendiri (sebagai lauk). Costadone *et al.* (2021) menjelaskan bahwa luasnya manfaat keberadaan waduk terhadap aspek sosial dan ekonomi serta dampaknya terhadap kesejahteraan sangat memengaruhi persepsi mereka akan inisiatif perencanaan konservasi dan pengelolaannya.

Namun demikian, kegiatan memancing di Waduk Gesek merupakan aktivitas yang dilarang oleh PDAM Tirta Kepri. Aturan tersebut diketahui oleh para pemancing, akan tetapi pengawasan terhadap penegakan aturan larangan memancing belum dilakukan secara optimal. Hal ini terlihat dari hasil kajian bahwa hanya 20% pemancing yang pernah dilarang oleh pihak pengelola. Kondisi ini diduga karena waduk berada di tepi jalan raya, sehingga mudah bagi masyarakat untuk mengakses waduk secara terbuka.

3.5. Persepsi sosial dari masyarakat pelanggan PDAM

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh informasi bahwa 73,3% pelanggan PDAM hanya mengandalkan air dari PDAM untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, sedangkan 26,7% pelanggan lainnya memiliki sumur cincin/sumur bor sebagai sumber pemenuhan kebutuhan air. Alasan para pelanggan memiliki sumur cincin/sumur bor yaitu untuk mencukupi kebutuhan air, terutama pada saat air PDAM sedang tidak mengalir.

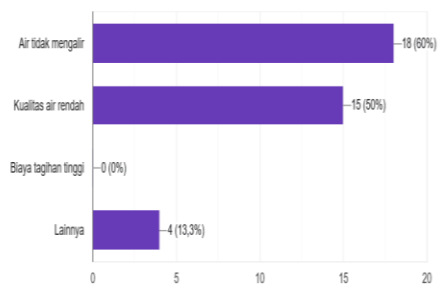


Gambar 7. Tingkat Kepuasan Pelanggan Terhadap Pelayanan PDAM

Hasil kajian pada Gambar 7 menunjukkan bahwa hanya 26,7% pelanggan yang merasa puas dengan layanan PDAM Tirta Kepri. Tjiptono (2012) menjelaskan bahwa hasil pengalaman pelanggan dalam memakai jasa akan menghasilkan penilaian

pelanggan terhadap jasa tersebut. Pelanggan akan membandingkan antara layanan yang diharapkan dengan layanan yang sesungguhnya diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakpuasan pelanggan PDAM Tirta Kepri terjadi karena pelanggan PDAM memiliki pengalaman yang membuat mereka merasa tidak puas dengan layanan yang diberikan oleh PDAM Tirta Kepri. Hal ini harus menjadi evaluasi bagi pihak PDAM untuk peningkatan pelayanan kepada pelanggan.

Namun, dari keluhan yang dialami pelanggan, hanya 23,3% pelanggan yang melaporkan keluhan tersebut kepada pihak PDAM. Menurut responden, alasan pelanggan tidak melapor ke PDAM, seperti air yang tidak mengalir, dapat diatasi oleh pelanggan dengan menggunakan air sumur. Pelanggan juga memiliki penampungan air dalam bentuk tandon, drum, ember, atau bak penampungan untuk mengantisipasi saat air PDAM tidak mengalir sebagai cadangan tampungan air. Alasan lain pelanggan tidak melaporkan keluhan adalah karena pelanggan sibuk bekerja sehingga tidak memiliki waktu untuk melapor. Adapun permasalahan yang sering dialami pelanggan PDAM adalah air tidak mengalir dan kualitas air rendah (Gambar 8).



Gambar 8. Beberapa Keluhan Pelanggan Terhadap Pelayanan PDAM

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa mayoritas responden (53,3%) mengetahui bahwa air baku untuk PDAM bersumber dari Waduk Gesek. Sebanyak 70% responden mengetahui metode atau proses perawatan air yang dilakukan PDAM sebelum disalurkan ke pelanggan. Adapun metode atau proses perawatan air menurut responden adalah pengendapan, penyaringan, dan proses pemberian klorin/kaporit untuk disinfeksi.

3.6. Analisis Sistem Sosial Ekologis (SSE) Waduk Gesek

Berdasarkan analisis sosial ekologis, terdapat enam komponen penyusun Waduk Gesek, yaitu 1) internal waduk (parameter fisik, parameter biologi, kuantitas air, serta kualitas air), 2) pemerintah (PDAM Tirta Kepri, BWS IV, BPDAS, BPKH XII, dan DLHK), 3) masyarakat (pelanggan PDAM, masyarakat sekitar waduk, pemancing, serta masyarakat umum), 4) vegetasi, 5) gulma, serta 6) LSM. Sistem sosial

ekologi (SSE) Waduk Gesek disajikan dalam Gambar 9.

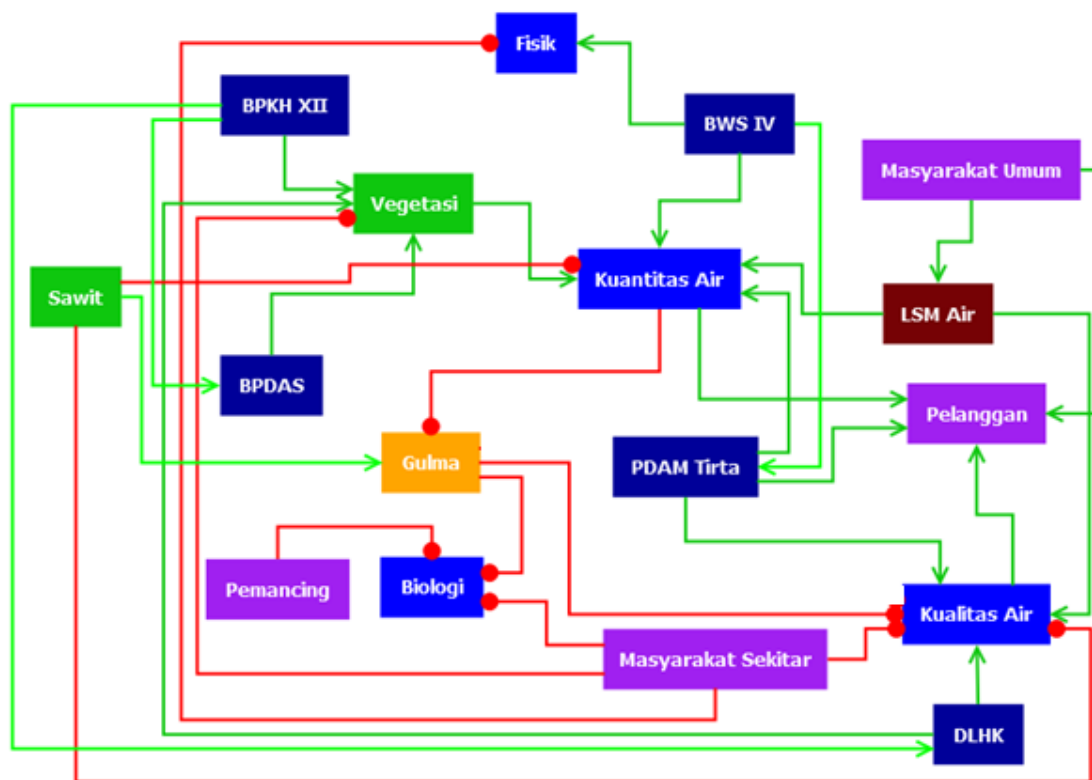
Kuantitas air memiliki nilai paling penting dalam SSE Waduk Gesek, diikuti oleh kualitas air. Kuantitas dan kualitas air yang ada di Waduk Gesek sangat dipengaruhi oleh tutupan vegetasi serta keberadaan gulma air. PDAM Tirta Kepri menjadi institusi yang paling berkaitan erat dengan kuantitas dan kualitas air di Waduk Gesek. Adapun kelompok yang terbentuk dalam sistem sosial ekologi (SSE) Waduk Gesek disajikan dalam Gambar 10.

Jika dilihat dari *cluster* keterkaitan antar komponen penyusun SSE sebagaimana terdapat dalam Gambar 10, terdapat empat *cluster* di Waduk Gesek yaitu:

- Parameter hidrologi dan fisik waduk dipengaruhi oleh masyarakat sekitar (hubungan positif) serta BWS IV (hubungan positif).
- Peningkatan vegetasi yang didukung oleh kelembagaan BPDAS (hubungan positif), BPKH XII (hubungan positif), serta DLHK (hubungan positif).
- Parameter biologi yang dipengaruhi oleh pemancing (hubungan negatif).

- Kuantitas dan kualitas air yang berkaitan dengan keberadaan gulma (negatif), perkebunan sawit (negatif), PDAM Tirta Kepri (hubungan positif), LSM Air hubungan positif), pelanggan PDAM (hubungan positif), dan masyarakat umum (hubungan positif).

Analisis jejaring sosial-ekologi Waduk Gesek menunjukkan bahwa kualitas dan kuantitas air merupakan komponen sentral yang menghubungkan berbagai aktor sosial, variabel ekologis, serta penggunaan lahan. Hasil pemetaan mengungkapkan bahwa tekanan ekologis utama berasal dari keberadaan gulma dan aktivitas perkebunan sawit yang secara langsung memengaruhi kondisi hidrologis. Kawade *et al.* (2023) menjelaskan bahwa ledakan populasi gulma air berdampak negatif terhadap kesehatan ekosistem perairan. Dampak perubahan kualitas dan kuantitas air tersebut dirasakan oleh PDAM, pelanggan, masyarakat umum, serta pemangku kepentingan yang bergantung pada fungsi ekologis perairan, termasuk pemancing dan aspek biologi perairan.

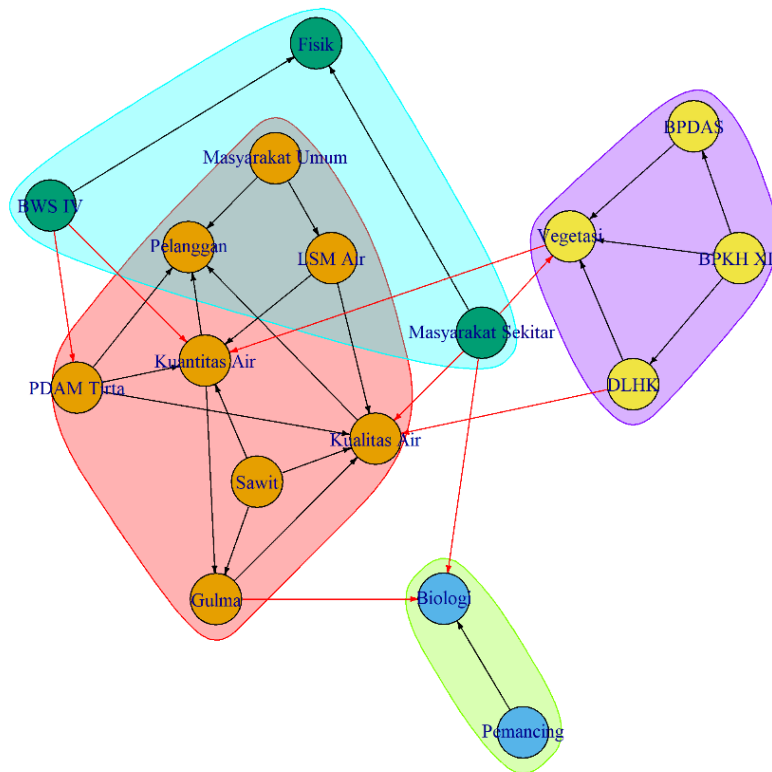


*Kotak dengan warna yang sama menandakan komponen dalam kategori yang sama

** Garis hijau menandakan arah komponen hubungan yang memberikan pengaruh positif

*** Garis merah menandakan arah komponen hubungan yang memberikan pengaruh negatif

Gambar 9. Hubungan antar Komponen dalam Sistem Sosial Ekologi (SSE) Waduk Gesek



Gambar 10. Kelompok / Cluster yang Terbentuk dalam Sistem Sosial Ekologi Waduk Gesek

Tabel 8. Ukuran Jaringan Per cluster

Cluster	Anggota (node)	n (node)	L (link)	Density	Rata-rata degree	Modularity (Q kontribusi)	Peran utama
1. Hidrologi dan kondisi fisik	Fisik, BWS IV, Masyarakat sekitar	3	4	0,667	2,67	0,122	Pengaturan dan kondisi sumber daya air
2. Kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan	Pelanggan, PDAM, Kuantitas air, PDAM Tirta Kepri, Kualitas air, Sawit, Gulma, LSM Air, Masyarakat umum	8	28	0,500	7,00	0,214	Kualitas air, pemanfaatan, dan tekanan lingkungan
3. Kelembagaan	Vegetasi, BPDAS, BPKH XII, DLHK	4	6	0,500	3,00	0,090	Regulasi dan koordinasi kelembagaan
4. Biologi dan aktivitas masyarakat	Biologi, pemancing	2	2	1,000	2,00	0,036	Komponen biologi dan aktivitas masyarakat
Total jaringan		17	72	0,265	4,24	0,462	

Di sisi lain, institusi pemerintah seperti BPDAS, BPKH, dan DLHK berperan penting dalam pengelolaan vegetasi dan tata kelola kawasan tangkapan air, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap stabilitas kualitas air. Kelompok masyarakat umum, LSM air, dan masyarakat sekitar berperan sebagai aktor sosial yang memberikan tekanan balik melalui advokasi dan tuntutan perbaikan layanan. Interaksi antaraktor dalam jejaring ini menunjukkan bahwa ketergantungan antara faktor biofisik dan sosial bersifat erat dan saling memengaruhi.

Keberlanjutan Waduk Gesek tidak terutama ditentukan oleh satu komponen ekologis atau satu aktor pengelola, melainkan oleh kapasitas sistem untuk mengintegrasikan cluster kualitas air–

pemanfaatan–tekanan lingkungan dengan cluster hidrologi, kelembagaan, dan aktivitas masyarakat yang saat ini masih menunjukkan struktur keterhubungan yang terpisah.

3.7. Struktur Hubungan dalam Sistem Sosial-Ekologis (SSE) Waduk Gesek

Hasil analisis hubungan antarkomponen menunjukkan bahwa sistem sosial-ekologis Waduk Gesek tersusun atas 17 komponen yang saling berinteraksi melalui 72 hubungan (Tabel 8). Struktur jaringan secara keseluruhan memiliki *density* sebesar 0,265 dan rata-rata *degree* sebesar 4,24, yang menunjukkan bahwa tidak seluruh komponen dalam sistem berinteraksi secara langsung, melainkan membentuk pola keterhubungan tertentu di dalam

beberapa kelompok komponen. Analisis modularitas menghasilkan nilai total sebesar 0,462 dan mengidentifikasi empat *cluster* utama dalam sistem sosial-ekologis Waduk Gesek.

Cluster pertama merupakan *cluster* hidrologi dan kondisi fisik, yang terdiri atas komponen fisik, BWS IV, dan masyarakat sekitar. *Cluster* ini memiliki tiga *node* dan empat hubungan, dengan *density* sebesar 0,667 serta rata-rata *degree* 2,67. *Cluster* ini berperan dalam pengaturan dan kondisi sumber daya air. Keberadaan masyarakat sekitar dalam *cluster* yang sama dengan komponen fisik dan BWS IV menunjukkan bahwa kondisi sumber daya air di Waduk Gesek tidak hanya berkaitan dengan karakteristik biofisik, tetapi juga dengan interaksi antara kondisi fisik waduk, pengelolaan, dan aktivitas masyarakat di sekitarnya.

Cluster kedua, yaitu kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan, merupakan *cluster* dengan struktur paling besar dan paling terhubung. *Cluster* ini terdiri atas delapan *node*, yaitu pelanggan PDAM, kuantitas air, PDAM Tirta Kepri, kualitas air, sawit, gulma, LSM Air, dan masyarakat umum. *Cluster* tersebut membentuk 28 hubungan dengan *density* sebesar 0,500, rata-rata *degree* sebesar 7,00, serta kontribusi modularitas tertinggi, yaitu 0,214. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air, pemanfaatan sumber daya air, tekanan lingkungan, dan aktor pengguna air membentuk subsistem utama dalam struktur SSE Waduk Gesek.

Cluster ketiga adalah kelembagaan, yang terdiri atas vegetasi, BPDAS, BPKH XII, dan DLHK. *Cluster* ini membentuk enam hubungan dengan *density* sebesar 0,500 dan rata-rata *degree* sebesar 3,00. Kontribusi modularitas *cluster* kelembagaan sebesar 0,090. Hasil ini menunjukkan adanya pengelompokan hubungan kelembagaan dan komponen ekologis tertentu, khususnya vegetasi, yang berhubungan dengan fungsi regulasi dan koordinasi pengelolaan.

Sementara itu, *cluster* keempat terdiri atas komponen biologi dan aktivitas masyarakat, yaitu biologi dan pemancing. *Cluster* ini memiliki dua *node* dan dua hubungan dengan *density* sebesar 1,000 serta rata-rata *degree* 2,00. Namun, kontribusi modularitasnya merupakan yang paling rendah, yaitu 0,036. Nilai *density* yang tinggi pada *cluster* ini perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena hanya dibentuk oleh dua *node*. Oleh sebab itu, keterhubungan internal yang kuat dalam *cluster* tersebut tidak serta-merta menunjukkan bahwa *cluster* biologi-pemancing merupakan pusat pengaruh sistem secara keseluruhan.

Secara visual, hubungan antarkomponen menunjukkan adanya pengaruh positif dan negatif dalam SSE Waduk Gesek, yang masing-masing direpresentasikan oleh garis hijau dan merah (Gambar 9). Pola tersebut memperlihatkan bahwa perubahan pada satu komponen tidak selalu menghasilkan respons yang searah dengan komponen lainnya. Dengan demikian, Waduk Gesek merupakan sistem yang dicirikan oleh adanya

hubungan timbal balik dan potensi *trade-off* antara kondisi ekologis, pemanfaatan air, aktivitas masyarakat, serta pengelolaan kelembagaan.

Temuan paling penting dari analisis ini adalah dominannya *cluster* kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan dibandingkan dengan *cluster* lainnya. *Cluster* ini tidak hanya memiliki jumlah *node* dan hubungan terbesar, tetapi juga menunjukkan rata-rata *degree* tertinggi dan kontribusi modularitas terbesar. Dengan demikian, kualitas air dapat diposisikan sebagai arena interaksi utama yang mempertemukan proses ekologis dengan kepentingan sosial di Waduk Gesek.

Secara substantif, hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air tidak dapat diperlakukan hanya sebagai indikator kondisi ekologis. Dalam SSE Waduk Gesek, kualitas air berada dalam jaringan yang melibatkan kuantitas air, PDAM Tirta Kepri, pelanggan PDAM, masyarakat umum, serta komponen tekanan lingkungan seperti sawit dan gulma. Struktur hubungan ini mengindikasikan bahwa perubahan kualitas air berpotensi memiliki konsekuensi lintas sektor karena secara bersamaan berkaitan dengan fungsi penyediaan air, kepentingan pengguna, dan kondisi lingkungan.

Temuan ini sejalan dengan perkembangan studi tata kelola sumber daya air yang menunjukkan bahwa permasalahan air pada sistem kompleks tidak dapat dipahami hanya melalui hubungan antara aktor pengelola, tetapi harus dianalisis bersama dengan komponen ekologis dan sumber daya yang dipengaruhi oleh aktivitas sosial. Studi pada sistem waduk di Amerika Serikat dan Argentina, misalnya, menunjukkan bahwa pengelolaan waduk dibentuk oleh keterhubungan fungsional antara infrastruktur, aktor, dan aturan formal yang menghasilkan pola ketergantungan antarkomponen (Oliver *et al.*, 2025)

Namun, hasil Waduk Gesek memberikan penekanan yang berbeda. Jika penelitian terdahulu banyak menempatkan aturan formal dan infrastruktur sebagai fokus utama analisis waduk, struktur SSE Waduk Gesek menunjukkan bahwa pusat kompleksitas sistem justru berada pada pertemuan antara kualitas air, pemanfaatan air, pengguna, dan tekanan lingkungan. Oleh karena itu, persoalan utama pengelolaan Waduk Gesek tidak cukup dijawab melalui pendekatan teknis pengelolaan waduk semata, tetapi membutuhkan pendekatan yang mampu mengintegrasikan pengendalian tekanan ekologis dengan tata kelola pemanfaatan air.

3.8. Fragmentasi Antarcluster

Pembentukan empat *cluster* menunjukkan bahwa sistem Waduk Gesek memiliki diferensiasi fungsi yang cukup jelas antara hidrologi, kualitas air dan pemanfaatan, kelembagaan, serta biologi dan aktivitas masyarakat. Nilai modularitas jaringan sebesar 0,462 mendukung adanya struktur pengelompokan tersebut.

Dari perspektif SSE, struktur ini penting karena proses ekologis pada dasarnya tidak mengikuti batas-batas organisasi atau sektoral. Sementara itu, pengelolaan sering kali dilakukan melalui pembagian kewenangan antarlembaga. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan *governance mismatch*, yaitu situasi ketika struktur tata kelola tidak sepenuhnya selaras dengan struktur permasalahan sosial-ekologis.

Indikasi tersebut terlihat dari posisi *cluster* kelembagaan yang memiliki struktur hubungan tersendiri dan kontribusi modularitas yang lebih rendah dibandingkan *cluster* kualitas air dan pemanfaatan. Struktur jaringan menunjukkan bahwa persoalan kelembagaan belum sepenuhnya menyatu dengan seluruh kompleksitas interaksi yang membentuk tekanan terhadap kualitas dan pemanfaatan air.

Interpretasi tersebut konsisten dengan penelitian tata kelola air yang menemukan bahwa fragmentasi kewenangan dapat menghasilkan kesenjangan dalam pengelolaan sumber daya yang sebenarnya saling terhubung secara ekologis. Studi pada pengelolaan air di Montana menunjukkan bahwa distribusi kewenangan antarlembaga dapat meninggalkan aspek tertentu dari sistem ekologis tanpa penanggung jawab yang terintegrasi (Cravens *et al.*, 2024). Demikian pula, penelitian tata kelola waduk di Brasil menunjukkan bahwa konflik pemanfaatan air tidak hanya berkaitan dengan keterbatasan sumber daya, tetapi juga dengan persoalan implementasi dan koordinasi tata Kelola (Bezerra *et al.*, 2021).

Dengan demikian, tantangan Waduk Gesek bukan hanya menjaga kondisi ekologis waduk, tetapi memastikan bahwa struktur kelembagaan mampu mengikuti struktur keterhubungan masalah sosial-ekologisnya. Dalam konteks ini, koordinasi antarlembaga seharusnya tidak hanya didasarkan pada pembagian kewenangan administratif, tetapi pada titik-titik interaksi yang secara empiris terbukti terkonsentrasi pada kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatannya.

3.9. Jaringan Hubungan SSE Waduk Sei Gesek

Jaringan hubungan SSE Waduk Gesek juga memperlihatkan bahwa interaksi antarkomponen memiliki arah pengaruh yang berbeda, yaitu positif dan negatif. Temuan ini memperkuat karakterisasi Waduk Gesek sebagai sistem sosial-ekologis yang tidak bersifat linier.

Keberadaan hubungan positif dapat mencerminkan potensi sinergi antarkomponen, sedangkan hubungan negatif menunjukkan adanya potensi tekanan atau *trade-off*. Dalam konteks sumber daya air, kondisi tersebut penting karena peningkatan manfaat pada satu komponen tidak selalu menghasilkan keuntungan bagi komponen lainnya. Literatur terbaru mengenai tata kelola air juga menegaskan bahwa hubungan antarsu dan pemangku kepentingan sering dibentuk oleh kombinasi sinergi dan *trade-off*, yang pada akhirnya

dapat mengubah posisi serta pengaruh masing-masing aktor dalam jaringan tata kelola (Banafa *et al.*, 2026).

Oleh sebab itu, pengelolaan Waduk Gesek perlu menghindari pendekatan sektoral yang hanya berorientasi pada satu tujuan, misalnya peningkatan pasokan air. Berdasarkan struktur jaringan yang terbentuk, kebijakan terhadap satu komponen perlu mempertimbangkan konsekuensi terhadap kualitas air, kuantitas air, kondisi vegetasi dan biologi, tekanan lingkungan, serta kelompok masyarakat yang memanfaatkan waduk.

Cluster biologi dan pemancing memiliki *density* sebesar 1,000, tetapi hanya terdiri atas dua *node* dan memberikan kontribusi modularitas sebesar 0,036. Temuan ini penting secara metodologis karena menunjukkan bahwa kepadatan hubungan internal tidak dapat digunakan secara terpisah untuk menentukan tingkat kepentingan suatu subsistem.

Dengan kata lain, hubungan antara komponen biologi dan aktivitas pemancing dapat bersifat sangat erat secara internal, tetapi subsistem tersebut belum tentu memiliki pengaruh paling besar terhadap struktur SSE secara keseluruhan. Interpretasi ini memperlihatkan pentingnya membaca metrik jaringan secara kontekstual dan menghindari kesimpulan bahwa nilai *density* tertinggi secara otomatis berarti peran sistemik tertinggi.

Secara substantif, hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivitas masyarakat tertentu dapat membentuk hubungan sosial-ekologis yang kuat pada skala lokal, tetapi kontribusinya terhadap dinamika sistem secara keseluruhan bergantung pada tingkat keterhubungannya dengan subsistem lain. Pendekatan ini sejalan dengan studi jaringan tata kelola air yang menunjukkan bahwa aktor lokal dapat memiliki fungsi penghubung penting, tetapi peran tersebut tidak selalu tercermin dalam struktur kelembagaan formal (Stein *et al.*, 2011).

Jejaring SES di Waduk Gesek ini menegaskan bahwa pengelolaan sumber daya air memerlukan pendekatan kolaboratif lintas sektor, dengan mempertimbangkan hubungan timbal balik antara dinamika ekologi dan kepentingan sosial. Pendekatan berbasis jejaring mampu mengidentifikasi titik-titik kritis yang penting untuk intervensi kebijakan, terutama pada aspek yang berkaitan dengan tata guna lahan, konservasi vegetasi, dan peningkatan kualitas pelayanan air bersih. Suatu waduk hanya dapat memberikan manfaat yang optimal jika keputusan pengelolaan mengakui seluruh potensi kontribusi yang dapat diberikan waduk kepada masyarakat. Keputusan pengelolaan tersebut diintegrasikan untuk memberikan perhatian yang seimbang terhadap semua nilai yang diberikan oleh waduk. Keterlibatan masyarakat sangat penting dalam memperluas konseptualisasi nilai-nilai waduk dan dalam melaksanakan rencana pengelolaan terintegrasi (Klessig, 2001).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Waduk Gesek merupakan

sistem sosial-ekologis dengan struktur yang terdiferensiasi ke dalam beberapa subsistem, tetapi keberlanjutan sistem terutama ditentukan oleh keterhubungan antarsubsistem tersebut. Dominannya *cluster* kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan menunjukkan bahwa kualitas air merupakan titik temu utama antara fungsi ekologis waduk dan kebutuhan sosial masyarakat. Sementara itu, terbentuknya *cluster* kelembagaan yang relatif terpisah mengindikasikan perlunya penguatan integrasi tata kelola agar struktur kelembagaan lebih responsif terhadap struktur interaksi sosial-ekologis yang berkembang. Dengan demikian, hasil kajian ini menunjukkan bahwa pengelolaan Waduk Gesek perlu bergeser dari pendekatan sektoral berbasis komponen menuju pendekatan berbasis keterhubungan (*connectivity-based management*), dengan kualitas air dan pemanfaatan sumber daya sebagai titik masuk utama untuk membangun integrasi sosial-ekologis.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Waduk Gesek merupakan sistem sosial-ekologis yang tersusun atas 17 komponen dengan 72 hubungan dan membentuk empat *cluster* utama, yaitu hidrologi dan kondisi fisik; kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan; kelembagaan; serta biologi dan aktivitas masyarakat. Struktur jaringan tersebut memiliki modularitas sebesar 0,462, yang menunjukkan adanya pengelompokan hubungan antarkomponen dalam beberapa subsistem sosial-ekologis.

Cluster kualitas air, kuantitas air, dan pemanfaatan merupakan subsistem yang paling dominan dalam struktur jaringan, ditunjukkan oleh jumlah *node* dan hubungan yang paling besar, rata-rata *degree* tertinggi, serta kontribusi modularitas terbesar. Temuan ini menegaskan bahwa kualitas air merupakan titik temu utama antara kondisi ekologis waduk, pemanfaatan sumber daya air, kebutuhan pengguna, dan berbagai tekanan lingkungan. Sementara itu, terbentuknya *cluster* kelembagaan secara tersendiri menunjukkan bahwa pengelolaan Waduk Gesek masih memerlukan penguatan keterhubungan antara aktor dan institusi pengelola dengan dinamika ekologis dan sosial yang berkembang di dalam sistem.

Pengelolaan Waduk Gesek perlu diarahkan pada pendekatan sosial-ekologis yang terintegrasi dengan kualitas air sebagai titik masuk utama. Prioritas pengelolaan adalah memperkuat koordinasi antara institusi pengelola sumber daya air, lingkungan, kehutanan, penyedia layanan air, dan masyarakat dalam mengendalikan tekanan terhadap kualitas air serta menjaga kuantitas dan fungsi ekologis waduk. Pengelolaan juga perlu mengintegrasikan pemantauan kondisi fisik, hidrologi, kualitas air, vegetasi, dan komponen biologis dengan informasi mengenai pemanfaatan waduk dan aktivitas masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UMRAH melalui Hibah Skim Penelitian Unggulan Prodi tahun 2022 berdasarkan Surat Keputusan Nomor. 621/UN53.01.1/TU/2022 dan Perjanjian Kontrak Nomor. 13/UN53.02/Kontrak-PUP/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, S. (2017). Keanekaragaman Plankton di Waduk Gesek Kabupaten Bintan. Laporan Praktik Lapangan. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Maritim Raja Ali Haji. Tanjungpinang.
- Akhshik, A., Rezapouraghdam, H., & Ramkissoo, H. (2020). Industrialization of nature in the time of complexity unawareness: The Case of Chitgar Lake, Iran. *Journal of Hospitality & Tourism Research* 46(3): 583-606.
- Aminnudin. 2018. *Terancam Lumut Ini, PDAM Tirta Kepri Segera Sterilkan Waduk Gesek! Ini Alasannya!* Tribunbintan.com. 3 April 2018. <http://sda.pu.go.id/bwssumatera4/terancam-lumut-ini-pdam-tirta-kepri-segera-sterilkan-waduk-gesek-ini-alasannya/>. diakses tanggal 8 Oktober 2018.
- Apriadi, T., Melani, W.R., Zulfikar, A., Muzammil, W., & Sabriyati, D. 2023. Phytoplankton Community Dynamics in Sei Gesek Reservoir, Bintan Island. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1260 012010.
- Apriadi T, Pratama G, Putra RD, Jumsurizal, Jaya YV, Firdaus M, Apras HD, Suryanti A. 2018. Comparative Study on the Fish Diversity from Natural and Bauxite Post-mining in Wetland System of Bintan Island, Indonesia. *Biodiversitas* 19(3): 963-969.
- Asmaniar. 2017. *Kualitas Sumber Air Baku Waduk Gesek Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau* [Skripsi]. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji. Tanjungpinang.
- Banafa, T., Eräranta, S., Yletyinen, J., Pihlajamäki, M., & Keskinen, M. (2026). Collaborative water resources management: A multilayer social network analysis. *Journal of Hydrology*, 664, 134335. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134335>
- Bezerra, A. P., Vieira, Z. M. de C. L., & Ribeiro, M. M. R. (2021). Water governance assessment at different scales: A reservoir case study in the Brazilian semiarid region. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 26, 1-13. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200171>
- [BWS Sumatera IV] Badan Wilayah Sungai Sumatera IV. (2019). *Pembangunan Tampungan Air Baku Sei Gesek*. Diakses dari <https://sda.pu.go.id/bwssumatera4/wp-content/uploads/2019/09/Leaflet-Sei-Gesek.pdf>. Diakses tanggal 19 Maret 2020.
- Costadone L, Sytsma MD, Pan Y, Rosenkranz M. (2021). Effect of management on water quality and perception of ecosystem services provided by an urban lake. *Lake and Reservoir Management* 37(4): 418-430.
- Cravens, A. E., Goolsby, J. B., Jedd, T., Bathke, D. J., Crausbay, S., Cooper, A. E., Dunham, J., Haigh, T., Hall, K. R., Hayes, M. J., McEvoy, J., Nelson, R. L., Poděbradská,

- M., Ramirez, A., Wickham, E., & Zoanni, D. (2024). The patchwork governance of ecologically available water: A case study in the Upper Missouri Headwaters, Montana, United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 60(2), 406–426. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13167>
- Csardi G. & Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research, InterJournal, Complex Systems 1695. <https://igraph.org>
- Dona, Melani W.R., & Apriadi, T. (2016). Kelimpahan Fitoplankton Di Waduk Gesek, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau. Student Online Journal UMRAH. <https://www.antaranews.com/berita/1485272/waduk-gesek-bintan-alami-pendangkalan>.
- Kawade, S.S., Panchakarla, S., & Sapkale, P.H. (2023). Review on Aquatic Weeds and Their Management. *Environment and Ecology* 41 (4C) : 2900—2908
- Khairunnisa, Tetty, Hafsar, K., Haidawati, Wahyudin, Suhana, M.P., Muzammil, W., Putra, R.D., & Hanifah, H. (2021). The recovery strategy of mangrove tourism after covid-19 pandemic in Bintan Island, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 324: 04001.
- Klessig, L.L. (2001). Lakes and Society: The contribution of lakes to sustainable societies. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 6(2): 95-101.
- Kluger, L.C., Taylor, M.H., Mendo, J., Tam, J., & Wolff, M. (2015). Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture system. *Ecological Modelling*. 320, 207–218. DOI.10.1016/j.ecolmodel.2015.09.002
- Marganingrum, D., Sumawijaya, N., & Rachmat, A. (2020). Studi Kelayakan Sumber Daya Air Baku Pulau Bintan – Tinjauan Aspek Kuantitas dan Kualitas. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* 8(1), 15-35.
- McGinnis, M. D. & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society* 19(2): 30-42.
- Melani, W.R., Apriadi, T., Lestari, F., Saputra, Y.O., Hasan, A., Mawaddah, M.A.R., & Fatmayanti, N. (2020). Keanekaragaman Makrofit dan Fitoplankton di Waduk Gesek, Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *LIMNOTEK Perairan darat Tropis di Indonesia* 27(1):1-12.
- Melani, W.R., Apriadi, T., Muzammil, W., Zulfikar, A., Sabriyati, D. (2021). Penjaringan Isu Strategis Permasalahan Pengelolaan Waduk Sumber Air Baku di Pulau Bintan. *Panrita Abdi Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 5(3): 365-372.
- Newman, M. E. J., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69(2), 026113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>.
- Olivier, T., Shin, H. C., Yu, D. J., & Garcia, M. (2025). Rule-mediated connectivity in social-ecological-technological systems: A comparative network analysis of reservoir operation rules in Coyote Valley Dam (United States) and Ameghino Dam (Argentina). *Journal of Environmental Management*, 374, 124009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.124009>
- Prell, C. (2012). *Social Network Analysis: History, Theory and Methodology*. Los Angeles/ London/ New Delhi/ Singapore/ Washington D.C.
- Pusmiati, Nurhidayah, M., Mubarak, T., Diana, Y., & Kelana, A.H. (2025). Hubungan Tingkat Pengetahuan dengan Perilaku Pengelolaan Sampah di Kampung Yaturaharja Arso X. *Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*. 5(2): 493-500.
- Ryding, S.-O., & Rast, W. (Eds.). (1989). The control of eutrophication of lakes and reservoirs. UNESCO & The Parthenon Publishing Group.
- Sjafrie, N.D.M. (2018). Identifikasi Sistem Sosial-Ekologis (SES) Ekosistem Lamun di Kabupaten Bintan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 3(2): 123-135.
- Stein, C., Ernstson, H., & Barron, J. (2011). A social network approach to analyzing water governance: The case of the Mkindo catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14–15), 1085–1092. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.083>
- Tjiptono, F. (2012). *Service Management: Mewujudkan Layanan Prima*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social network analysis: methods and applications*, vol 25. Cambridge University Press, p 825. ISBN:0521387078. <https://books.google.com/books?id=CAm2DpIqRUIC&pgis=1>.