



Dampak Pembangunan Jalan Tol Bali Mandara Terhadap Ekosistem Mangrove di Teluk Benoa Bali

The impact of The construction of Bali Mandara Toll Road to The Mangrove Ecosystem at Benoa Bay Bali

Ida Bagus Made Baskara Andika^a, Cecep Kusmana^b, I Wayan Nurjaya^c

^a Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor, 16143

^b Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

^c Departemen Ilmu Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

Article Info:

Received: 05 - 07 - 2018

Accepted: 17 - 09 - 2018

Keywords:

Composition, diversity, sheoak (*Casuarina equisetifolia* L.) habitat, structure

Corresponding Author:

Ida Bagus Made Baskara Andika
Program Studi Pengelolaan
Sumberdaya Alam dan
Lingkungan Sekolah
Pascasarjana, Institut Pertanian
Bogor;
Email: ibmbaskara@gmail.com

Abstract: *Ngurah Rai Forest Park, is one of the remaining mangrove ecosystems located in the Benoa Bali Bay, Indonesia. Ecosystem in this forest park is threatened due to the construction of Bali Mandara Highway. This study was conducted to determine the impact of the construction of the Bali Mandara Highway to the mangrove ecosystem in Ngurah Rai Forest Park. In this study, qualitative method was applied in order to compare the environmental parameter of mangrove ecosystem before and after construction of the highway. The construction of the Bali Mandara Highway affects several physical parameters of the mangrove ecosystem. The salinity, pH value and DO content are physical parameters which decreasing after the construction. The decreasing also identified for current velocity, during the high tide current velocity decline to 0 - 0.44 m/s while during the low tide it goes down to 0 - 0.84 m/s. On the other hand, sedimentation area increases by 485.62 ha which causes silting. The vegetation analysis shows that Bali Mandara Highway has no significant impact to the diversity of mangrove species in Ngurah Rai Forest Park. *Sonneratia alba* still dominate the mangrove vegetation in those area.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Andika IBMB, Kusmana C, Nurjaya IW. Dampak pembangunan jalan tol bali mandara terhadap ekosistem mangrove di Teluk Benoa Bali. *JPSL* 9(3): 641-657. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.3.641-657>.

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem wilayah pesisir yang unik dan rawan. Ekosistem mangrove dikatakan unik karena ekosistem mangrove terdiri dari komunitas vegetasi pantai tropis yang didominasi oleh beberapa jenis pohon mangrove yang mampu tumbuh dan berkembang pada daerah pasang surut pantai berlumpur (Bengen 2000). Ekosistem hutan mangrove mempunyai manfaat dan fungsi penting bagi wilayah pesisir dilihat dari aspek sosial, ekonomi, dan ekologi. Manfaat dari aspek ekologi yaitu sebagai pelindung garis pantai, mencegah intrusi air laut, sebagai habitat (tempat tinggal) berbagai organisme laut, dan juga terestrial. Berbagai jenis burung dan satwa lainnya menjadikan hutan mangrove sebagai habitat yang penting, baik untuk keseluruhan maupun sebagian siklus hidupnya. Jatuhnya serasah mangrove merupakan sumber bahan organik penting dalam rantai pakan (*food chain*) di lingkungan perairan yang bisa mencapai

7 - 8 ton/ha/tahun (Nontji 2005). Mangrove juga berperan dalam mengurangi jumlah karbon di udara dengan cara menyerap jumlah CO₂ (Anwar dan Gunawan 2006). Menurut Ong (1993), hutan mangrove memiliki produktivitas yang cukup tinggi dan memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon organik, secara global diperkirakan hutan mangrove dapat menyerap CO₂ dari atmosfer sebesar 25.5 juta ton/tahun. Manfaat ekosistem mangrove dari aspek ekonomi yaitu hasil berupa kayu yang digunakan untuk kayu bakar, arang, dan dijadikan serpihan kayu untuk bahan bubur kayu. Selain dimanfaatkan dari hasil berupa kayu, kawasan hutan mangrove dapat menjadi tempat wisata alam, wisata pendidikan, serta rekreasi bagi masyarakat (Junaidi 2009).

Besarnya manfaat yang ada pada ekosistem mangrove memberikan konsekuensi bagi ekosistem mangrove tersebut. Terjadi eksploitasi yang sangat besar terhadap ekosistem mangrove, mengakibatkan berkurangnya luasan hutan mangrove dari tahun ke tahun. Indonesia merupakan negara yang memiliki luas hutan mangrove sebesar 3.2 juta hektar (Bakosurtanal 2009). Dalam tiga dekade terakhir, Indonesia kehilangan 40 % mangrove (FAO 2007), dapat diartikan bahwa Indonesia memiliki kecepatan kerusakan mangrove terbesar di dunia. Menurut Kusmana (2011), sebagian besar hutan bakau telah dieksploitasi secara komersial untuk penggunaan lain (pertanian, perikanan, urbanisasi, penambangan dan kolam garam) yang dapat menimbulkan konflik kepentingan di antara para pengguna.

Salah satu ekosistem mangrove yang ada di Indonesia yaitu terdapat di wilayah perairan Teluk Benoa Bali. Berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan (Kepmenhut) Nomor 544/Kpts- II/1993, pada tanggal 25 September 1993 ekosistem mangrove Teluk Benoa Bali ditetapkan menjadi Taman Hutan Raya (Tahura) Ngurah Rai dengan luas 1373.50 ha. Ekosistem mangrove tersebut berada di kawasan strategis pariwisata Bali, mengakibatkan ekosistem mangrove Teluk Benoa mengalami tekanan yang sangat besar. Tahura Ngurah Rai berada di kawasan yang sangat strategis karena terletak diantara tiga pusat pariwisata di Bali yaitu Nusa Dua, Kuta, dan Sanur. Selain itu ekosistem mangrove Teluk Benoa Bali juga terletak di dua pintu masuk Pulau Bali, yaitu Bandara Internasional Ngurah Rai dan Pelabuhan Laut Benoa.

Seiring dengan berkembangnya pariwisata di Bali, kebutuhan terhadap infrastruktur pembangunan pariwisata juga semakin meningkat. Melihat letak Tahura Ngurah Rai yang berada pada kawasan pariwisata yang strategis, maka pembangunan di sekitarnya pun berkembang sangat pesat. Menurut Wiradharma *et al.* (2010), telah terjadi pengalihan fungsi hutan mangrove seperti reklamasi Pulau Serangan, pembangunan estuari dam di muara Sungai Badung, pembangunan fasilitas air bersih, tempat pembuangan limbah, alih fungsi menjadi pabrik, dan perbengkelan, pembuatan jalan tol, serta perluasan pacu bandara dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Selain permasalahan di atas, pada tahun 2012 Pemerintah Pusat dan Pemerintah Provinsi Bali melakukan pembangunan Jalan Tol Bali Mandara. Jalan tol tersebut adalah jalan tol pertama di Bali, dan merupakan jalan tol atas laut pertama di Indonesia. Pembangunan jalan tol yang berada di wilayah perairan Teluk Benoa Bali tersebut dikhawatirkan dapat merusak ekosistem mangrove yang berada di Tahura Ngurah Rai, baik saat proses pembangunan maupun setelah Jalan Tol Bali Mandara beroperasi. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melihat dampak yang ditimbulkan dari pembangunan Jalan Tol Bali Mandara terhadap ekosistem mangrove di Teluk Benoa Bali.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Desember 2017 – Februari 2018. Pengambilan data dilakukan di Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Teluk Benoa, Bali. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Alat dan Data

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GPS, pita ukur, tali plastik, kamera, tally sheet, dan alat tulis. Software yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Arc Gis 9.4, Microsoft Excel 2016, Erdas Imagine 2014.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Citra Landsat 7 tahun 2012 path/row 166/66, Citra Landsat 8 OLI tahun 2017 path/row 166/66, dan data biofisik lingkungan ekosistem mangrove Tahura Ngurah Rai.

Pengumpulan Data

Tahapan dalam penelitian ini meliputi kegiatan pengumpulan data primer yaitu analisis vegetasi dan inventarisasi satwa, dan pengumpulan data sekunder yang meliputi parameter lingkungan ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai. Parameter lingkungan ekosistem mangrove yang diamati yaitu kualitas air (salinitas, pH, kekeruhan, dan suhu), Tanah (tipe substrat dan laju sedimentasi), pasang surut dan arus (tipe pasang surut, arah arus, dan kecepatan arus), fauna mangrove, dan vegetasi mangrove.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi hutan mangrove dilakukan dengan menggunakan kombinasi antara metoda jalur dan metode garis berpetak. Ukuran permudaan yang digunakan dalam kegiatan analisis vegetasi hutan mangrove terdiri atas tumbuhan bawah (tumbuhan selain permudaan pohon, misal rumput, herba, dan semak belukar), semai (permudaan mulai dari kecambah sampai anakan yang memiliki tinggi kurang dari 1.5 m), pancang (permudaan dengan tinggi 1.5 m sampai anakan berdiameter kurang dari 10 cm), dan pohon (Pohon berdiameter 10 cm atau lebih). Pengukuran dilakukan di dalam petak sampling dibagi menjadi kuadrat yang berukuran kecil. Kuadrat dibagi menjadi 3 kuadtra kecil yaitu 10x10 m untuk pengukuran pohon, 5x5 m untuk pengukuran pancang, dan 2x2 m untuk pengukuran tumbuhan bawah dan semai (Kusmana, 1997).

Inventarisasi Satwa

Inventarisasi satwa dilakukan menggunakan metode *line transect* dan observasi secara acak pada daerah sekitarnya. Menurut Bibby (2000), metode line transect dapat digunakan untuk melakukan sensus dan pengamatan berbagai jenis satwa liar, seperti burung, primata, dan herbivora. Selain itu, perlu dilakukan metode pengamatan tidak langsung dengan mengamati indikasi keberadaan satwa berupa kotoran, jejak, cakaran, sarang, dan suara.

Analisis Data

Vegetasi mangrove

Untuk mendapatkan informasi yang perlu diketahui tentang kondisi ekosistem mangrove, digunakan metode analisa Indeks Nilai Penting (INP). INP dapat memberikan suatu gambaran tentang pengaruh atau peranan suatu jenis vegetasi mangrove dalam suatu area. Nilai penting suatu jenis berkisar 0 -300. Semakin besar Indeks Nilai Penting suatu jenis, maka pengaruh atau peranan dalam ekosistem mangrove tersebut semakin besar. Tahapan analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut (Kusmana 1997):

- (1) Kerapatan spesies (K)

$$K = \frac{ni}{A}$$

Keterangan:

ni : Jumlah total individu ke- i

A : Luas total area pengambilan contoh (m²)

- (2) Kerapatan relatif spesies (KR) (%)

$$KR = \left(\frac{ni}{\sum n} \right) \times 100$$

Keterangan:

ni : Jumlah total individu ke-i

$\sum n$: Jumlah tegakan seluruh jenis

- (3) Frekuensi spesies (F)

$$F = \frac{pi}{\sum p}$$

Keterangan:

pi : Jumlah petak contoh /plot dimana ditemukan jenis i

$\sum p$: Jumlah total petak contoh/plot yang diamati

- (4) Frekuensi relatif spesies (FR) (%)

$$FR = \frac{F}{\sum F} \times 100$$

Keterangan

F : Frekuensi jenis i

$\sum F$: Jumlah frekuensi untuk seluruh jenis

- (5) Dominansi suatu spesies (D)

$$D = \frac{\sum BA}{A}$$

Keterangan:

$\sum BA$: $\pi d^2/4$

A : Luas total area pengambilan contoh (m²)

- (6) Dominansi relatif suatu spesies (DR)

$$DR = \frac{D}{\Sigma C} \times 100$$

Keterangan:

D : Dominansi suatu spesies

ΣC : Dominansi seluruh spesies

- (7) Indeks Nilai Penting (INP)

$$INP = KR + FR + DR$$

(Untuk pohon dan tumbuhan bawah)

$$INP = KR + FR$$

(Untuk pancang dan semai)

Fauna mangrove

Data fauna mangrove dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Data fauna yang terkumpul dianalisis menggunakan metode *Indeks Shanon-Wiener* untuk mengetahui keanekaragaman fauna dan indeks pemerataan jenis untuk melihat pemerataan persebaran fauna pada ekosistem mangrove.

1. Indeks Shanon-Wiener (Brower dan Zar, 1977)

Indeks ini menunjukkan keanekaragaman jenis fauna yang terdapat dalam ekosistem mangrove. Rumus Indeks Shanon-Wiener adalah sebagai berikut:

$$H' = \sum_{i=1}^H \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

Keterangan:

H' = Indeks diversitas Shanon-Wiener

n_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah individu semua spesies

Kriteria:

$H' < 1$ = Keanekaragaman rendah

$1 < H' < 3$ = Keanekaragaman sedang

$H' > 3$ = Keanekaragaman tinggi

2. Indeks Kemerataan Jenis (Brower dan Zar, 1977)

Untuk mengetahui dominansi antara setiap jenis fauna dalam suatu lokasi. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E = H' / \ln S$$

Keterangan:

E = Indeks pemerataan jenis

H' = Indeks Shanon-Wiener

S = Jumlah jenis

Kriteria:

$E = 0$ (tidak merata)

$E = 1$ (merata)

Parameter Lingkungan

Analisis data parameter lingkungan ekosistem mangrove dilakukan dengan analisis deskriptif dari data sekunder yang telah didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air

Pembangunan Jalan Tol Bali Mandara mengakibatkan perubahan kualitas air di Tahura Ngurah Rai. Terdapat beberapa aspek kualitas air yang diamati yaitu suhu, kekeruhan, pH, salinitas, dan DO. Perbandingan kualitas air di Tahura Ngurah Rai disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan parameter kualitas air

No	Parameter	Sebelum pembangunan jalan tol	Setelah pembangunan jalan tol
1	Suhu (°C)	28.1	28.4
2	Kekeruhan (NTU)	-	17.9
3	pH	8.27	7.7
4	Salinitas (‰)	24.05	20.17
5	DO (mg/L)	6.85	4.45

Sumber: PT Jasamarga Bali Tol (2013), Ulfa *et al.* (2018), dan Imamsyah (2017).

Suhu air di wilayah Tahura Ngurah Rai pada saat sebelum pembangunan jalan tol berkisar antara 26.9 - 29.5 °C, dengan rata-rata 28.1 °C. Sedangkan suhu air setelah pembangunan jalan tol berkisar antara 28 - 28.7 °C, dengan nilai rata-rata 28.4 °C. Hal tersebut menunjukkan tidak terdapat perubahan pada parameter suhu setelah pembangunan jalan tol. Suhu berperan penting dalam proses biologi vegetasi mangrove antara lain proses fotosintesis dan respirasi. Menurut Alongi (2009), konduktansi stomata dan laju asimilasi pada daun mangrove yang maksimal berkisar pada suhu 25 - 30 °C dan akan mengalami penurunan yang cepat pada suhu di atas 35 °C. Suhu juga dapat berpengaruh terhadap fauna akuatik. Suhu mempengaruhi kegiatan fauna akuatik seperti migrasi, pemangsaan, kecepatan berenang, perkembangan embrio, dan kecepatan proses metabolisme. Berdasarkan keputusan Kepmen LH No.51 (2004) suhu optimum untuk biota di estuaria berkisar antara 28 - 30 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa suhu di wilayah Tahura Ngurah Rai termasuk dalam kategori normal bagi pertumbuhan vegetasi mangrove dan biota air.

Kekeruhan pada wilayah Teluk Benoa tidak dapat dibandingkan karena kurangnya data mengenai kekeruhan pada saat sebelum pembangunan jalan tol. Hasil dari penelitian Ulfa *et al.* (2018), didapatkan bahwa kekeruhan berkisar 10.4 - 31.5 NTU, dengan rata-rata 17.9 NTU. Nilai rata-rata kekeruhan termasuk dalam kategori normal untuk pertumbuhan fauna akuatik. Menurut Setiawan (2013) ambang batas maksimum kekeruhan optimal untuk kehidupan biota akuatik yaitu 30 NTU. Namun terdapat satu stasiun yang memiliki kekeruhan di luar ambang batas. Kekeruhan tersebut dapat menyebabkan terganggunya pertumbuhan dan perkembangan fauna akuatik. Tingginya tingkat kekeruhan tersebut diperkirakan karena lokasi berada di wilayah yang dekat pemukiman, sehingga banyak limbah rumah tangga yang tersuspensi di perairan.

Nilai pH perairan di Tahura Ngurah Rai pada saat sebelum pembangunan jalan tol yaitu 8.16 - 8.5, dengan nilai rata-rata 8.27. Sedangkan nilai pH perairan setelah pembangunan jalan tol yaitu 7.6 sampai 7.8 dengan rata-rata 7.7. Terdapat penurunan pH setelah pembangunan Jalan Tol Bali Mandara, namun tidak berpengaruh terhadap keberlangsungan ekosistem mangrove, terutama pada pertumbuhan dan perkembangan fauna akuatik. Hal ini dikarenakan nilai pH setelah pembangunan jalan tol masih berada pada kategori normal. Menurut

Wantasen (2013), rentang toleransi pH untuk fauna akuatik sebesar 6 - 9, dan pH optimal untuk tumbuh dan kembang fauna akuatik sekitar 7 - 8.5.

Salinitas di wilayah perairan Teluk Benoa sebelum adanya pembangunan jalan tol berkisar antara 19.9 - 28.2 ‰, dengan rata-rata 24.5 ‰. Setelah pembangunan jalan tol berkisar 14.58 - 24.22 ‰, dengan rata-rata 20.17 ‰. Penurunan salinitas di wilayah Tahura Ngurah Rai dikarenakan jangkauan air laut berkurang dari wilayah perairan Teluk Benoa. Menurut Wantasen (2013) vegetasi mangrove dapat tumbuh dengan baik pada salinitas air payau antara 2 - 22‰ atau air asin dengan salinitas mencapai 38‰. Tumbuhan mangrove tumbuh subur di daerah estuaria dengan salinitas 10 sampai 30 ‰. Salinitas yang tinggi mengakibatkan pohon mangrove menjadi kerdil dan berkurang komposisi spesiesnya. Berdasarkan data tersebut wilayah Tahura Ngurah Rai memiliki 2 tipe salinitas yaitu perairan payau dan asin dengan nilai salinitas yang termasuk kategori ideal untuk pertumbuhan vegetasi mangrove.

Kandungan DO sebelum pembangunan jalan tol berkisar antara 5.96 - 7.37 mg/L, dengan rata-rata 6.85 mg/L. Sedangkan kandungan DO setelah pembangunan jalan tol berkisar 3.8 - 5.4 mg/L, dengan rata-rata 4.45 mg/L. Berdasarkan data tersebut telah terjadi penurunan kandungan DO sebesar 2.4 mg/L di wilayah Tahura Ngurah Rai. Menurut Kepmen LH No.51 tahun 2004 ambang batas baku mutu kualitas air laut untuk DO > 5 mg/L. Kandungan DO yang berada di bawah ambang batas baku mutu dapat mengakibatkan kematian fauna akuatik yang hidup di dalamnya. Menurut Ulfa *et al.* (2018), kandungan DO rendah di wilayah ini diakibatkan, karena wilayah perairan Teluk Benoa merupakan muara beberapa sungai yaitu Tukad Badung dan Tukad Mati. Hal tersebut mengakibatkan perairan di wilayah ini memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi. Selain itu rendahnya DO juga diakibatkan oleh tercemarnya air yang berasal dari kedua sungai tersebut.

Perubahan kualitas air di Tahura Ngurah Rai berkaitan dengan proses pembilasan. Pembilasan terjadi oleh aksi pasang surut air laut. Proses pembilasan yang lambat menunjukkan pergantian air baru dan pemindahan zat-zat pencemar yang lambat pula, sehingga mempengaruhi keseimbangan ekologis dan memiliki resiko yang lebih tinggi untuk terjadinya eutrofikasi. Pembangunan jalan tol Bali Mandara yang mengakibatkan air laut yang masuk menuju wilayah Tahura Ngurah Rai terhambat, sehingga terganggunya proses pembilasan.

Tanah

Tipe Substrat

Berdasarkan hasil penelitian Ulfa *et al.* (2018), tipe substrat di kawasan Tahura Ngurah Rai ada 3 kategori yaitu lempung liat berpasir, lempung berpasir, lempung berliat (Tabel 2). Pembangunan jalan tol Bali Mandara tidak menyebabkan perubahan pada tipe substrat di Tahura Ngurah Rai. Jenis substrat berkaitan dengan kandungan oksigen dan ketersediaan nutrisi dalam sedimen. Menurut Bengen (2004), jenis substrat berpasir memiliki kandungan oksigen yang relatif lebih besar dibandingkan dengan substrat yang lebih halus. Hal ini dikarenakan pada substrat berpasir terdapat *porosity* udara yang memungkinkan terjadinya pencampuran yang lebih intensif dengan air di atasnya. Oksigen pada substrat halus tidak terlalu banyak, namun memiliki nutrisi yang cukup besar. Hasil penelitian Ulfa *et al.* (2018) menyatakan bahwa wilayah Tahura Ngurah Rai didominasi oleh substrat berpasir. Menurut Odum (1994), substrat dasar perairan yang baik untuk makrozoobenthos yaitu substrat berupa batuan pipih dan batu kerikil. Pada substrat tersebut makrozoobenthos mempunyai kelimpahan dan keragaman yang besar. Menurut Zulkifli dan Setiawan (2017), jenis makrozoobenthos relatif lebih sedikit ditemukan pada substrat lempung berliat. Tipe substrat juga akan berpengaruh pada jenis tumbuhan mangrove yang dapat hidup pada suatu wilayah tertentu. Menurut Barkey (1990), jenis *Sonneratia* spp. dapat tumbuh dengan baik pada substrat berlumpur dan berpasir di pinggir pantai menuju ke arah darat, jenis *Rhizophora* spp. dapat tumbuh baik pada substrat berlumpur dan dapat mentoleransi tanah lumpur berpasir, dan jenis *Avicennia* spp. cocok pada daerah substrat pasir berlumpur terutama di bagian depan pantai.

Laju sedimentasi

Hasil Penelitian dari Tanto *et al.* (2017) menyatakan bahwa wilayah perairan Teluk Benoa mengalami peningkatan luas sedimentasi. Hasil perbandingan luas sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa pada tahun 2006 sampai tahun 2015 disajikan pada Tabel 3.

Dapat dilihat pada Tabel 3 di atas bahwa pada tahun 2006 sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa seluas 1 480.52 ha. Sedangkan pada Tahun 2015 sedimentasi pada wilayah tersebut meningkat signifikan menjadi seluas 1966.14 ha. Berdasarkan data tersebut, wilayah perairan Teluk Benoa telah mengalami peningkatan luas sedimentasi yaitu seluas 485.62 ha. Peningkatan sangat signifikan terjadi pada tahun 2012 sampai tahun 2015, terjadi peningkatan luas sedimentasi seluas 434.21. Tahun 2012 merupakan awal pembangunan Jalan Tol Bali Mandara, maka dapat dinyatakan bahwa pembangunan jalan tol tersebut menyebabkan peningkatan luas sedimentasi yang signifikan. Perbandingan luas sedimentasi pada tahun 2006 dan 2015 disajikan pada Gambar 2.

Terlihat pada Gambar 2, bahwa sedimentasi semakin meluas di tahun 2015. Peningkatan sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa diakibatkan oleh pengendapan material sedimen yang berasal dari sungai dan material sedimen laut yang terbawa oleh pasang surut. Wilayah perairan Teluk Benoa merupakan muara dari beberapa sungai. Pasokan sedimen dari aliran sungai tersebut akan menyebabkan terjadinya sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa. Menurut Davis (1991), sedimentasi laut dapat terjadi karena material sedimentasi yang dibawa oleh arus sungai. Pada saat arus sungai yang memasuki air laut, maka kecepatan arus tersebut akan mengalami perlambatan. Akibatnya kemampuan mengangkut material berkurang, dan material tersebut mengendap pada bagian mulut muara sungai. Hal ini sesuai dengan Hoekstra *et al.* (2002) yang menyatakan bahwa muara sungai termasuk salah satu wilayah yang cukup signifikan dalam memberikan asupan sedimen ke laut.

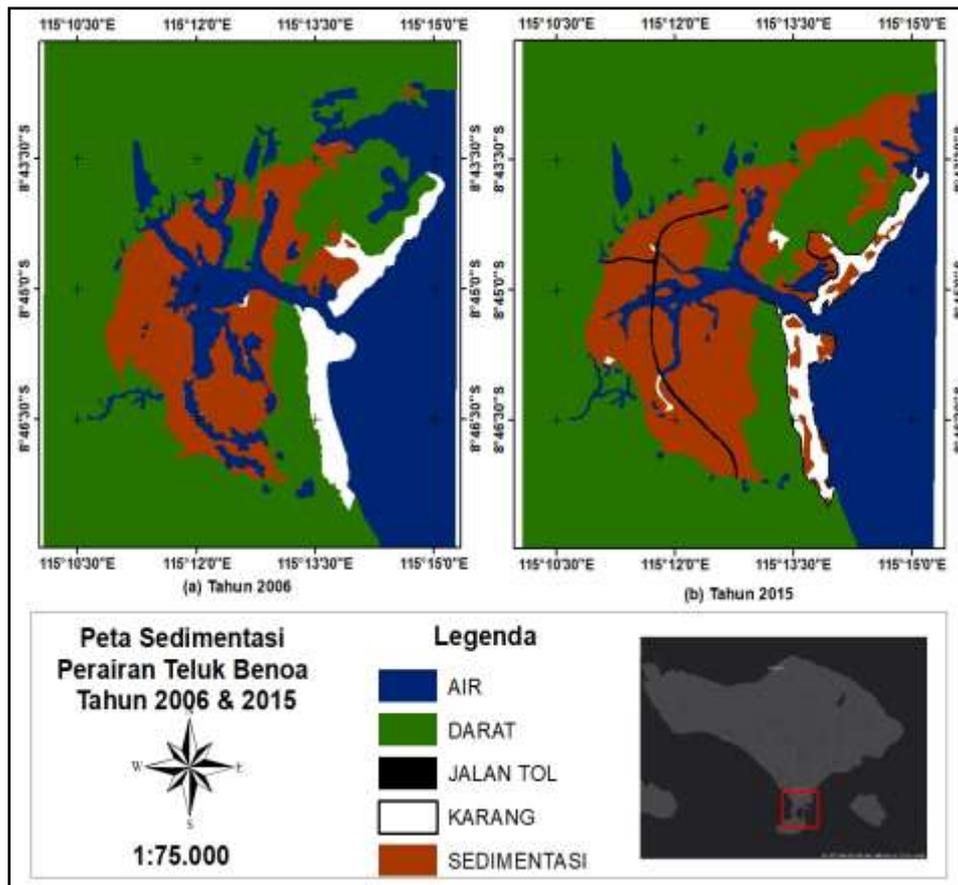
Tabel 2 Tipe substrat di Tahura Ngurah Rai

Tekstur	Stasiun			
	I	II	III	IV
Pasir (%)	53.81	74.3	42.4	74.56
Debu (%)	21.54	9.09	30.36	21.55
Liat (%)	24.65	16.88	27.24	3.89
Kategori	Lempung Liat Berpasir	Lempung Berpasir	Lempung Berliat	Lempung Berpasir

Sumber: Ulfa *et al.* (2018)

Tabel 3 Luas sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa

Tahun	Luas sedimentasi (ha)	Perubahan sedimentasi (ha)	Laju perubahan (%)
2006	1 480.52	+49.41	3.37
2012	1 531.93		
2015	1 966.14	+434.21	28.34



Gambar 2 Laju sedimentasi di perairan Teluk Benoa tahun 2006-2012

Sedimentasi berkaitan dengan pasang surut dan kecepatan arus di suatu wilayah perairan. Menurut Wisna dan Aida (2016), sedimentasi yang berasal dari wilayah laut akan terbawa ke suatu wilayah daratan saat pasang, sebaliknya pada saat surut material sedimentasi akan terbawa ke wilayah laut. Kecepatan arus yang tinggi akan membuat partikel sedimen yang telah mengalami resuspensi akan sukar mengendap dan akan terdistribusi oleh arus ke wilayah lain hingga terendapkan, sedangkan pada kecepatan arus yang lemah akan mengakibatkan pengendapan sedimen semakin cepat karena perairan cenderung lebih tenang.

Adanya jalan tol Bali Mandara menyebabkan penurunan kecepatan arus. Penurunan kecepatan arus mengakibatkan material sedimentasi yang berasal dari sungai maupun dari lautan tidak terdistribusi dengan baik. Hal tersebut menyebabkan mengendapnya sedimentasi di wilayah perairan Teluk Benoa.

Sedimentasi yang mengalami peningkatan di wilayah perairan Teluk Benoa memiliki dampak positif dan negatif bagi ekosistem mangrove. Menurut Setyawan dan Winarno (2006), penambahan luas sedimentasi memiliki dampak positif terhadap ekosistem mangrove yaitu mendorong terbentuknya ekosistem mangrove yang baru. Namun apabila sedimentasi terjadi dalam skala besar dan luas, maka akan dapat merusak ekosistem mangrove, karena tertutupnya akar nafas vegetasi mangrove dan berubahnya kawasan rawa menjadi daratan. Contohnya adalah sedimentasi yang terjadi pada ekosistem mangrove di wilayah Segara Anakan. Menurut Setyawan *et al.* (2003), sedimentasi yang berlebih di Segara Anakan mengubur vegetasi mangrove dan merubahnya menjadi ekosistem daratan. Pada tahun 2003 luas ekosistem mangrove di Segara Anakan diperkirakan hanya tinggal 600 ha, dengan kedalaman pada saat surut tidak lebih dari 50 cm.

Pasang surut dan arus

Pasang surut di wilayah perairan Teluk Benoa merupakan pasang surut semi diurnal, dimana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Berdasarkan data

yang ditemukan, pembangunan jalan tol Bali Mandara tidak menyebabkan perubahan pola pasang surut di wilayah perairan Teluk Benoa.

Arah arus di wilayah perairan ini sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Menurut Sudiarta (2013), pada saat air pasang, arah arus dominan ke arah dalam teluk dan saat air laut surut arah dominan arus ke arah luar teluk. Pada wilayah mulut Teluk Benoa pola arah arus tidak beraturan disebabkan oleh aktivitas keluar masuk kapal yang menuju dan keluar dari Pelabuhan Benoa.

Menurut Penelitian Wisna *et al.* (2017), terjadi perubahan kecepatan arus sebelum dan setelah adanya pembangunan jalan tol. Perubahan kecepatan arus dari tiap kondisi *tidal* di wilayah perairan Teluk Benoa pada tahun 1995 dan 2016 disajikan pada Tabel 4.

Dapat dilihat pada Tabel 4, penurunan arus yang cukup signifikan terjadi pada kondisi *Neap High Tide* dan *Spring Low Tide*. Pada kondisi *Neap High Tide* terjadi penurunan kecepatan arus maksimal dari 0.52 m/dt menjadi 0.44 m/dt, sedangkan pada kondisi *Spring Low Tide* kecepatan arus maksimal menurun dari 1.2 m/dt menjadi 0.84 m/dt. Penurunan kecepatan arus diduga akibat 2 hal yaitu meluasnya reklamasi Pulau Serangan dan pembangunan jalan tol. Akibat meluasnya reklamasi Pulau Serangan maka mulut Teluk Benoa akan semakin sempit, sehingga arus yang masuk menjadi berkurang dan mengalami penurunan kecepatan saat berada di dalam wilayah teluk. Pembangunan jalan tol yang tepat memotong Teluk Benoa menyebabkan arus yang mengarah dari mulut teluk menuju daratan sedikit terhambat, dan berakibat pada menurunnya kecepatan arus.

Penurunan kecepatan arus berdampak pada organisme yang ada di ekosistem mangrove. Menurut Welch (1980), kecepatan arus berpengaruh langsung terhadap organisme dan biota laut dan berpengaruh tidak langsung pada substrat. Organisme yang hidup menetap pada substrat sangat memerlukan kecepatan arus untuk membawa makanan, oksigen, dan sebagainya, sehingga penurunan kecepatan arus ini dapat berdampak pada terganggunya kehidupan biota akuatik yang berada di wilayah perairan Teluk Benoa.

Hasil penelitian Wisna *et al.* (2017) mengenai perbandingan pergerakan arus pada tahun 1995 dan tahun 2016 di wilayah perairan Teluk Benoa, disajikan pada Gambar 3.

Dapat dilihat pada Gambar 3, pergerakan arus di wilayah perairan Teluk Benoa mengalami gangguan setelah adanya jalan tol Bali Mandara. Setelah adanya pembangunan jalan tol arah arus menjadi terpusat dan terpecah di sekitar jalan tol Bali Mandara

Selain gerakan arus, dapat terlihat juga pada Gambar 3 mengenai kedalaman laut (*bathymetri*). Pada tahun 1995 kedalaman laut berkisar 1.2 – 60 m, sedangkan pada tahun 2016 kedalaman laut berkisar 0.1 – 47.2 m. Berdasarkan data tersebut, dapat dinyatakan bahwa dalam kurun waktu 11 tahun wilayah perairan Teluk Benoa telah mengalami pendangkalan. Pendangkalan laut ini berkaitan dengan sedimentasi. Bertambahnya luas sedimentasi maka akan berdampak juga pada pendangkalan laut.

Fauna mangrove

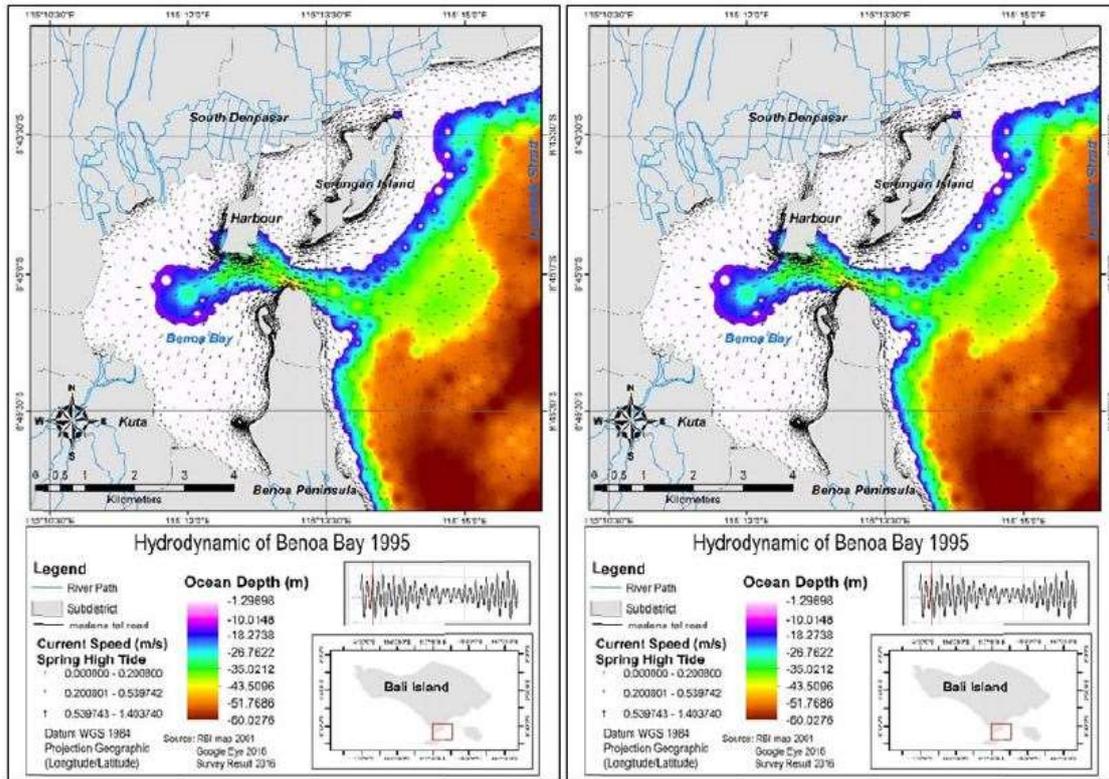
Fauna darat

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan di Tahura Ngurah Rai pada tanggal sampai tanggal 10 – 16 Januari 2018, ditemukan beberapa fauna darat seperti pada Gambar 4.

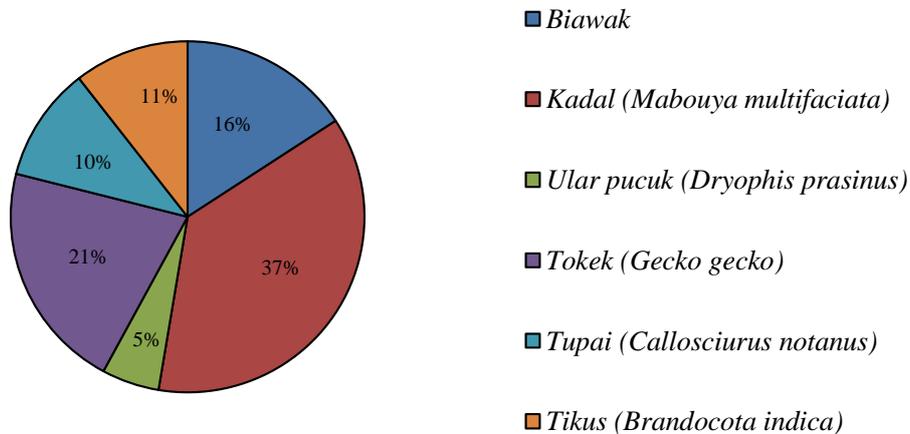
Tabel 4 Kecepatan arus di wilayah perairan Teluk Benoa

No	Kondisi tidal	Kecepatan arus tahun 1995 (m/dt)	Kecepatan arus tahun 2016 (m/dt)
1	<i>Neap High Tide</i>	0 – 0.52	0 – 0.44
2	<i>Neap Low Tide</i>	0 – 0.35	0 – 0.3
3	<i>Spring High Tide</i>	0 - 1.4	0 – 1.35
4	<i>Spring low tide</i>	0- 1.2	0 – 0.84

Sumber: Wisna *et al.* (2017)



Gambar 3 Perbandingan kondisi arus pada kondisi spring high tide pada tahun 1995 dan 2016



Gambar 4 Komunitas fauna darat di Tahura Ngurah Rai

Komunitas fauna darat di Tahura Ngurah Rai yang mendominasi adalah jenis Kadal. Keanekaragaman (Indeks Shanon Wiener) dari komunitas darat tersebut adalah sebesar 1.61. Dapat dikatakan bahwa fauna darat memiliki keanekaragaman jenis yang sedang, semua komunitas fauna darat mempunyai produktivitas yang cukup tinggi, kondisi ekosistem seimbang dan tekanan ekologi kategori sedang. Untuk pemerataan jenis memiliki nilai sebesar 0.9, yang artinya jenis fauna darat di Tahura Ngurah Rai tersebar secara merata karena memiliki nilai yang hampir mendekati 1. Hal ini menunjukkan komunitas fauna darat di lokasi pengamatan memanfaatkan sumberdaya hampir secara merata. Adanya pembangunan jalan tol tidak mempengaruhi keberadaan komunitas fauna darat. Menurut PT Jasamarga Bali Tol (2013), ditemukan beberapa jenis fauna darat di wilayah lokasi proyek yaitu biawak, kadal, tokek, tikus, tupai, ular pucuk, dan ular hijau. Diperkirakan bahwa pembangunan jalan tol ini tidak memiliki dampak secara langsung kepada komunitas fauna darat di wilayah Tahura Ngurah Rai.

Komunitas burung

Komunitas yang cukup berlimpah dan sangat strategis di wilayah Teluk Benoa adalah komunitas burung (*aves*). Berdasarkan PT Jasamarga Bali Tol (2013), komunitas burung di kawasan tersebut didominasi oleh jenis-jenis burung air di antaranya: pecuk-padi belang (*Phalacrocorax melanoleucos*), pecuk ular asia (*Anhinga melanogaster*), cangak abu (*Ardea cinerea*), kuntul besar (*Egretta alba*), kuntul perak (*Egretta intermedia*), blekok sawah (*Ardeola speciosa*), kowak malam kelabu (*Nycticorax nycticorax*), belibis batu (*Dendrocygna javanica*), gajah besar (*Numenius arquata*), trinil semak (*Tringa glareola*) dan raja udang erasia (*Alcedo atthis*).

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan selama 7 hari (10-16 Januari 2018), ditemukan 45 Jenis burung yang terdapat di Tahura Ngurah Rai. Dengan jenis yang memiliki jumlah individu terbanyak adalah jenis kuntul besar (*Egretta alba*) dan kuntul perak (*Egretta intermedia*). Jenis tersebut mendominasi karena memiliki habitat yang sesuai dan terdapat jumlah makanan yang melimpah. Menurut Istoto (2012), burung air ordo *Ciconiiformes* (termasuk jenis *Egretta*) dapat mendominasi di suatu wilayah dikarenakan jumlah makanan yang melimpah. Adanya berbagai jenis ikan, kepiting, dan udang merupakan sumber makanan bagi burung jenis tersebut. Nilai Indeks Shanon-wiever (H') sebesar 3.67. Nilai (H') lebih besar dari 3, menunjukkan bahwa komunitas burung di Tahura Ngurah Rai mempunyai keanekaragaman jenis yang tinggi. Keanekaragaman jenis yang tinggi menandakan bahwa komunitas burung mempunyai produktivitas yang cukup tinggi, kondisi ekosistem seimbang dan tekanan ekologi kurang. Hasil dari indeks kemerataan jenis sebesar 0.9, menyatakan bahwa jenis burung di Tahura Ngurah Rai menyebar secara merata.

Data mengenai komunitas burung yang ada di Tahura Ngurah Rai sebelum adanya pembangunan jalan tol tidak dapat dibandingkan secara keseluruhan karena kurang tersedianya data mengenai komunitas burung pada saat sebelum pembangunan jalan tol. Berdasarkan jenis burung air yang ada pada saat sebelum pembangunan jalan tol, jenis burung tersebut juga masih ditemukan di Tahura Ngurah Rai setelah pembangunan Jalan Tol Bali Mandara. Pembangunan jalan tol menyebabkan berkurangnya tempat untuk mencari makan pada beberapa jenis burung. Sebelum adanya pembangunan jalan tol beberapa jenis burung banyak mencari makan di wilayah perairan Teluk Benoa, tepatnya di wilayah yang sekarang telah dibangun menjadi jalan tol.

Komunitas makrozoobenthos

Menurut PT Jasamarga Bali Tol (2013) komunitas *makrozoobenthos* di wilayah Tahura Ngurah Rai, dibagi berdasarkan relung habitatnya relung habitat yaitu:

1. Kelompok *makrozoobenthos* strata atas, yaitu yang menempel dan merayap pada akar, batang, dan daun mangrove. *Makrozoobenthos* yang ditemukan yaitu kepiting (*Sesarma bidens*), siput (*Littorina scabra*), dan *Nerita planospira*
2. Kelompok *makrozoobenthos* strata menengah, yaitu *makrozoobenthos* yang hidup di permukaan/substrat perairan. *Makrozoobenthos* yang ditemukan adalah udang-udangan (*Gonodactylus viridis*, *Alpheus* sp., *Portunus pelagicus*, *Thalamita* sp), siput mangrove (*Cerithidea*, *Bensp*, *Telescopium telescopium*, *Terebralia* sp, *Cerithidea cingulata*, *cerithium*), dan kepiting canggah (*Uca* sp)
3. Kelompok *makrozoobenthos* strata bawah, yaitu *makrozoobenthos* yang sebagian atau totalitas hidupnya berada di dalam substrat dasar perairan (terbenam lumpur/membuat lubang). *Makrozoobenthos* yang ditemukan adalah cacing *polychaeta* (*Eunice afra* dan *Siphonosoma* sp), *Thalassina anomala*, *Upogebia* sp, marga *uca*, dan *bivalvia* (*Saccostrea* sp)

Hasil penelitian Ulfa *et al.* (2018), *makrozoobenthos* di kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai ditemukan 19 spesies yang tersebar di 4 stasiun. Jumlah total individu yang ditemukan sebanyak 132 individu. Spesies yang ditemukan di Tahura Ngurah Rai terdiri dari 5 kelas yaitu *polychaeta*, *oligochaeta*, *bivalvia*, *gastropoda*, dan *crustacea*. Presentase spesies yang ditemukan yaitu *Nereis* sp. sebanyak 6%, *Lumbricus*

rubellus 7%, *Isognomon* sp. 2%, *Tellina* sp. 2%, *Pinctada* sp. 2%, *Telescopium telescopium* 7%, *Terebralia sulcata* 11%, *Nassarius reevanus* 5%, *Chicoreus capucinus* 4%, *Chicoreus groschi* 8%, *Cherithium lutosum* 7%, *Cherithium torresi* 7%, *Vittina* sp. 2%, *Scylla* sp. 3%, *Metopograpsus* sp. 8%, *Clibanarius* sp. 7%, *Uca* sp. 10%, *Alpheus* sp. 1%, *Parathelphusa convexa* 6%. Presentase terbesar yaitu *Terebralia sulcata* 11 % dan *Uca* sp. 10%.

Kelimpahan *makrozoobenthos* berkaitan erat dengan tipe substrat. Menurut Onrizal *et al.* (2009) Kelimpahan *makrozoobentos* berkorelasi paling besar terhadap pasir (positif) dan debu (negatif), peningkatannya berbanding lurus atdengan dengan kandungan pasir yang berarti semakin tinggi kandungan pasir maka kelimpahan *makrozoobenthos* akan meningkat. Arief (2003) juga menyatakan bahwa pasir dibutuhkan dalam kehidupan *makrozoobenthos*, yakni untuk memperbaiki aerasi (menyatu dengan debu) ketika menyusup ke dalam substrat. Kandungan tekstur substrat lainnya seperti debu dan liat menunjukkan korelasi negatif, semakin rendah kandungan debu dan liat maka kelimpahan *makrozoobenthos* akan meningkat.

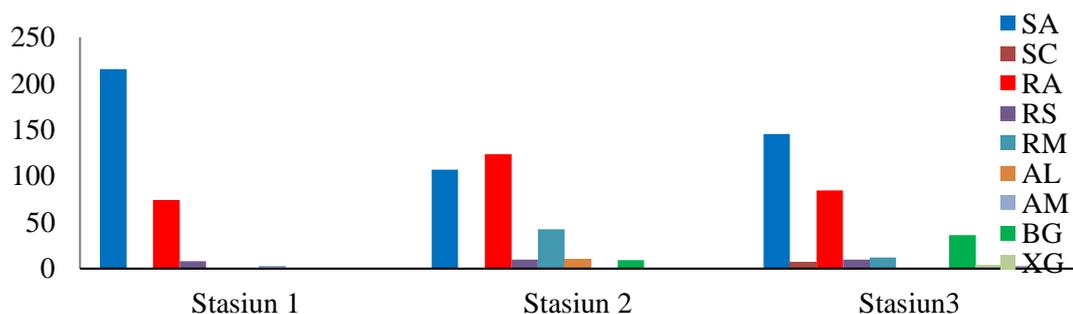
Hasil perbandingan komunitas *makrozoobenthos* pada kedua rentang waktu tersebut tidak menunjukkan perubahan. Karena masih ditemukan jenis yang sama pada saat sebelum dan setelah pembangunan jalan tol.

Kelimpahan *makrozoobenthos* berkaitan dengan substrat sebagai tempat hidup. Substrat berlumpur dan berpasir yang terdapat di Tahura Ngurah Rai merupakan tipe substrat yang baik untuk *makrozoobenthos*. Menurut Ardi (2002), *makrozoobenthos* kelompok *Polychaeta*, *Bivalve*, *Gastropoda*, *Crustacea*, dan *Echinodermata* dapat ditemukan pada daerah yang memiliki substrat berlumpur dan berpasir. Spesies *Terebralia sulcata* (kelompok *Gastropoda*) merupakan spesies yang mendominasi di wilayah Tahura Ngurah Rai. Sesuai dengan Kennish (1990) yang menyatakan *Moluska* (*Bivalvia* dan *Gastropoda*) dan *Polychaeta* merupakan kelompok organisme ciri khas dari komunitas benthik estuaria, karena kemampuan adaptasi organisme tersebut sangat baik terhadap perairan estuaria yang fluktuatif.

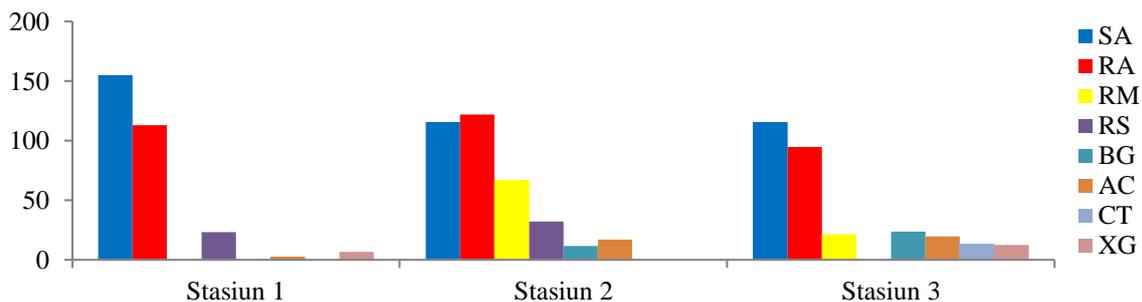
Vegetasi mangrove

Analisis vegetasi dilakukan pada 3 stasiun yaitu stasiun 1 (pantai Mertasari), stasiun 2 (kantor MIC/PPI), dan stasiun 3 (Nusa Dua). Hasil dari penelitian yaitu ditemukan 12 jenis mangrove utama yang terdapat di Tahura Ngurah Rai yaitu *S. alba*, *S. caseolaris*, *R. apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*, *A. lanata*, *A. marina*, *B. gymnorhiza*, *X. granatum*, *Lumnitzera racemosa*, *Aegiceras corniculatum*, *Ceriops tagal*. Hasil indeks nilai penting tiap kelas mangrove disajikan pada Gambar 5, 6, dan 7.

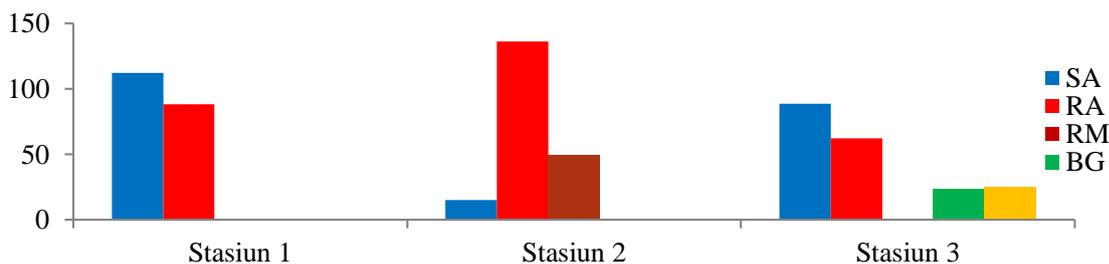
Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 2 jenis mangrove yang mendominasi di Tahura Ngurah Rai yaitu jenis *S. alba* dan *R. apiculata*. INP pada tingkat pohon tertinggi di stasiun 1 yaitu jenis *S. alba* dengan nilai sebesar 215.71, stasiun 2 yaitu jenis *R. apiculata* dengan nilai sebesar 123.4, dan stasiun 3 yaitu jenis *S. alba* dengan nilai sebesar 145.23. INP pada tingkat pancang tertinggi di stasiun 1 yaitu jenis *S. alba* dengan nilai sebesar 154.75, stasiun 2 yaitu jenis *R. apiculata* dengan nilai sebesar 121.95, dan stasiun 3 yaitu jenis *S. alba* 115.69. INP pada tingkat semai tertinggi di stasiun 1 yaitu jenis *S. alba* dengan nilai sebesar 111.97, stasiun 2 yaitu jenis *R. apiculata* dengan nilai sebesar 135.91, dan stasiun 3 yaitu jenis *S. alba* dengan nilai sebesar 88.58.



Gambar 5 Indeks nilai penting kelas pohon



Gambar 6 Indeks nilai penting kelas pancang



Gambar 7 Indeks nilai penting kelas semai

Keterangan:

SA: <i>Sonneratia alba</i>	SC: <i>Sonneratia caseolaris</i>	LR: <i>Lumnitzera racemosa</i>
RA: <i>Rhizophora apiculata</i>	RM: <i>Rhizophora mucronata</i>	CT: <i>Ceriops Tagal</i>
RS: <i>Rhizophora stylosa</i>	XG: <i>Xylocarpus Granatum</i>	
AL: <i>Avicennia lanata</i>	BG: <i>Bruguiera granatum</i>	
AM: <i>Avicennia marina</i>	AG: <i>Aeigiceras corniculatum</i>	

Jenis *S. alba* mendominasi di wilayah Tahura Ngurah Rai karena wilayah ini memiliki substrat berpasir yang merupakan tempat tumbuh yang baik untuk jenis tersebut. Noor *et al.* (2006) menyatakan bahwa di Indonesia, *S. alba* tumbuh baik pada pantai yang berpasir, atau bahkan pada pantai berbatu. Selain faktor substrat, salinitas berpengaruh pada dominasi *S. alba*. Menurut Macnae (1968), jenis *Sonneratia* sp. umumnya hidup pada salinitas yang tinggi, Wilayah Tahura Ngurah Rai memiliki salinitas yang tergolong ke dalam kategori asin, sehingga menjadi tempat hidup yang baik untuk jenis *S. alba*.

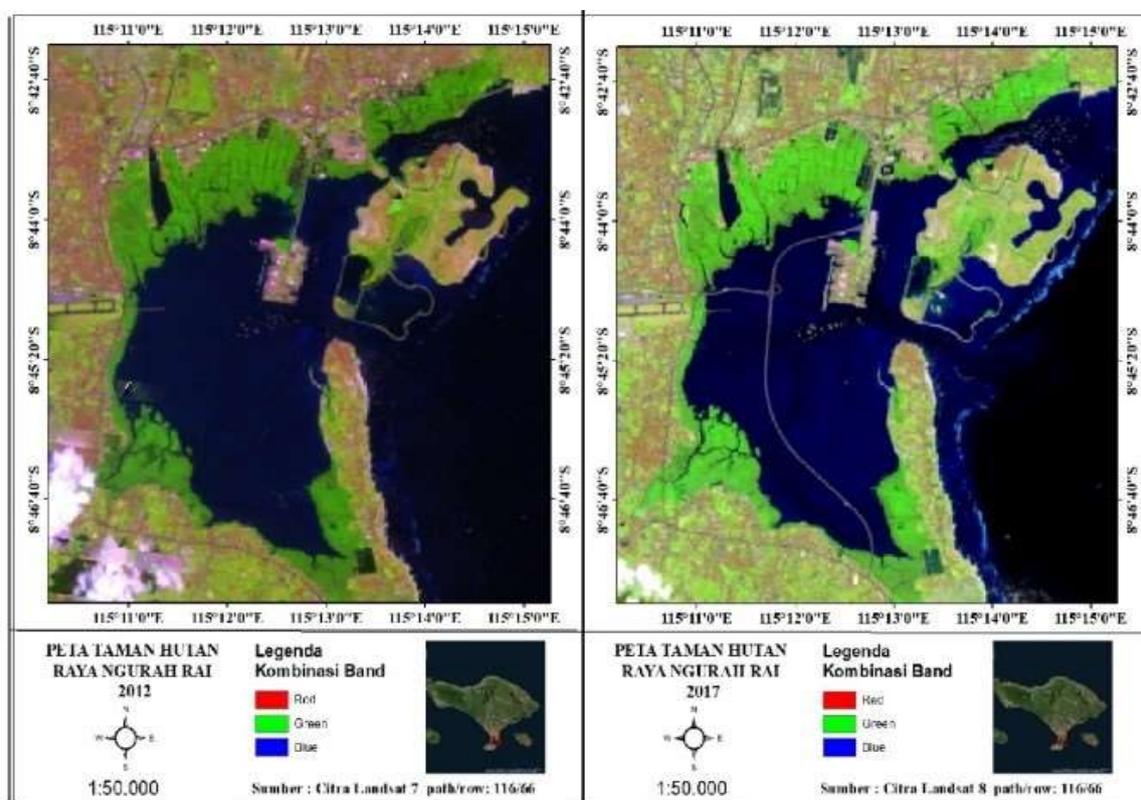
Terdapat perbedaan jenis mangrove yang mendominasi pada stasiun 2. Pada wilayah ini jenis mangrove yang mendominasi adalah *R. apiculata*. Hal ini disebabkan oleh restorasi mangrove yang dilakukan di wilayah tersebut. Pada sejarahnya wilayah stasiun 2, tahun 1980 sampai tahun 1990-an mengalami deforestasi secara besar - besaran akibat pembangunan tambak-tambak oleh masyarakat sekitar. Hal tersebut mengakibatkan banyak pohon mangrove yang ditebang untuk bahan pembuatan tambak. Deforestasi mangrove menyebabkan hilangnya fungsi ekosistem pada wilayah tersebut. Pada tahun 1992 terjadi kerjasama Pemerintah Indonesia dengan *Japan Internasional Cooperation Agency* (JICA). Program JICA adalah melakukan restorasi mangrove di wilayah tersebut untuk mengembalikan fungsi ekosistem mangrove. Jenis mangrove yang ditanam pada wilayah ini adalah jenis *R. apiculata* dan *R. mucronata*. Menurut Hadisti *et al.* (2015), mangrove jenis *Rhizophora* sp. cocok untuk digunakan dalam kegiatan revegetasi pada areal tambak, sempadan sungai, dan pada areal yang tidak terkena ombak langsung. Sehingga sampai saat ini wilayah tersebut didominasi oleh jenis *R. apicuata*. Menurut Noor *et al.* (2006) spesies *R. apiculata* umumnya tumbuh pada tanah berlumpur,

halus, dan tergenang pada saat pasang normal. Spesies ini tumbuh dengan baik pada perairan pasang surut yang memiliki pengaruh masukan air tawar yang kuat secara permanen.

Pembangunan jalan tol Bali Mandara tidak mengakibatkan perubahan terhadap jenis vegetasi mangrove yang ada di Tahura Ngurah Rai. Menurut PT Jasamarga Bali Tol (2013), di kawasan Tahura Ngurah Rai ditemukan memiliki kekayaan jenis (*species richness*) mangrove sebanyak 12 jenis yang merupakan komponen utama (*major mangrove*) dan juga cukup banyak jenis mangrove asosiasi lainnya. Jenis pohon mangrove di Tahura Ngurah Rai didominasi oleh jenis prapat (*S. alba*) dan merupakan ikon wilayah perairan teluk benoa, sehingga wilayah ini lebih dikenal dengan nama Prapat Benoa.

Perbandingan luasan vegetasi mangrove di Tahura Ngurah Rai pada tahun 2012 dan tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 8.

Dapat dilihat pada gambar 8, tidak terjadi perubahan signifikan pada luas ekosistem mangrove setelah adanya pembangunan Jalan Tol Bali Mandara. Hanya terdapat beberapa luasan mangrove yang hilang di wilayah Nusa Dua dan Bandara Ngurah Rai, karena digunakan untuk alur pembangunan jalan tol yang menghubungkan wilayah Nusa Dua - Bandara Ngurah Rai - Sanur.



Gambar 8 Perbandingan tahura ngurah rai tahun 2012 dan tahun 2017

SIMPULAN

Pembangunan Jalan Tol Bali Mandara dalam kurun waktu 5 tahun menyebabkan penurunan salinitas sebesar 3.88 %, penurunan pH sebesar 0.57, penurunan kandungan DO sebesar 2.4 mg/L. Kecepatan arus mengalami penurunan dalam kurun waktu 20 tahun, pada kondisi *neap high tide* kecepatan arus menurun menjadi 0 - 0.44 m/dt, sedangkan pada kondisi *spring low tide* kecepatan arus menurun menjadi 0 – 0.84 m/dt. Dalam kurun waktu 9 tahun terjadi peningkatan luas sedimentasi sebesar 485.62 ha, serta terjadi pendangkalan pada wilayah perairan Teluk Benoa. Luasan ekosistem mangrove tidak mengalami perubahan yang signifikan setelah pembangunan Jalan Tol Bali Mandara. Pembangunan Jalan Tol Bali Mandara tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap flora dan fauna mangrove. Vegetasi mangrove di Tahura Ngurah Rai tetap didominasi oleh jenis *Sonneratia alba*.

DAFTAR PUSTAKA

- [Bakosurtanal] Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. 2009. *Peta Mangroves Indonesia*. Cibinong: Pusat Survey Sumber Daya Alam Laut, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional.
- [Kepmenhut] Keputusan Menteri Kehutanan. 1993. Nomor 544/Kpts- II/1993 tanggal 25 September 1993. Jakarta: Kementrian Kehutanan.
- [KepmenLH] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. 2004. Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Alongi DM. 2009. *The Energetics of Mangrove Forest*. Queensland: Institute of Marine Science Townsville.
- Anwar C, Gunawan H. 2006. Peranan ekologis dan sosial ekonomis hutan mangrove dalam mendukung pembangunan wilayah pesisir. *Ekspose Hasil Penelitian Konservasi dan Rehabilitasi Sumberdaya Hutan*; 20 September 2006; Padang, Indonesia. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi Hutan.
- Ardi. 2002. *Pemanfaatan makrozoobenthos sebagai indikator kualitas perairan pesisir*. Disertasi. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Arief A. 2003. *Hutan Mangrove: Fungsi dan Manfaatnya*. Yogyakarta: Kanisius.
- Barkey R. 1990. *Mangrove Sulawesi Selatan (Struktur, Fungsi dan Laju Degradasi. Seminar Keterpaduan Antara Konservasi dan Tata Guna Laha Basah di Sulawesi Selatan*. Sulawesi: LIPI.
- Bengen DG. 2000. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir*. Bogor: Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB.
- Bengen DG. 2004. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Bogor: Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB.
- Bibby C. 2000. *Teknik-Teknik Ekspedisi Lapangan Survei Burung*. Bogor: Birdlife International–Indonesia Programme.
- Brower JE, Zar JH. 1977. *Field and Laboratory Methods For General Ecology*. Iowa: Brown Company Publishers.
- Davis RA. 1991. *Oceanography: An Introduction to the Marine Enviroment*. USA: McGraw-Hill Higher Education.
- FAO. 2007. *The world's Mangroves 1980-2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hadisti NA, Omo R, dan Sri M. 2015. Identifikasi tingkat kerawanan degradasi kawasan hutan mangrove Desa Muara, Tangerang, Banten. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(1):77-86.
- Hoekstra P, Lindeboom H, Bergh GVD, Tiwi DA, Douven W, Meesters E. 2002. *Teluk Banten Research Programme: an integrated coastal zone management Study*. Bandung: Scientific programme Indonesia-Netherlands Proceedings of a workshop; 12 Februari 2002.
- Imamsyah A. 2017. *Struktur dan sebaran vegetasi mangrove berdasarkan karakteristik lingkungan perairan di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali*. Skripsi. Bogor: Fakultas Perikanan dan Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Istoto EH. 2012. *Keanekaragaman Jenis Burung Air Di Kawasan Tapak Tugurejo Kecamatan Tugu Kota Semarang*. Skripsi. Semarang: Univesitas Negeri Semarang.
- Junaidi W. 2009. *Fungsi Hutan Mangrove*. [terhubung berkala] <http://wawan-junaidi.com/2009/11/fungsi-hutan-mangrove.html>. [16 Agustus 2017].
- Kennish MJ. 1990. *Ecology of Estuaries*. Vol II: Biology Aspects. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Kusmana C. 1997. *Metode Survei Vegetasi*. Bogor: IPB Press.
- Kusmana C. 2011. Management of mangrove ecosystem in Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 1(2): 152-157.

- Macnae W. 1968. A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West Pacific Region. *J Mar Biol.* 6: 73-270.
- Nontji A. 2005. *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan.
- Noor YRM, Khazali INN dan Suryadiputra. 2006. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor: PKA/WI-IP.
- Odum EP. 1994. *Dasar-dasar Ekologi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Ong JE. 1993. Mangroves – a Carbon Source and Sink. *Chemosphere.* 27(2): 1097-1107.
- Onrizal, Simarmata F, Wahyuningsih H. 2009. *Keanekaragaman makrozoobenthos pada hutan mangrove yang direhabilitasi di Pantai Timur Sumatera Utara*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- PT Jasamarga Bali Tol. 2013. *Analisis Dampak Lingkungan Pembangunan Jalan Tol Nusa Dua - Ngurah Rai – Benoa*. Denpasar: PT Jasamarga Bali Tol.
- Setiawan H. 2013. Status ekologi hutan mangrove pada berbagai tingkat ketebalan. *Jurnal Wallacea.* 2(2): 104-120.
- Setyawan DA dan Winarno K. 2006. Permasalahan konservasi ekosistem mangrove di pesisir Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal BIODIVERSITAS.* 7(2): 159-163.
- Setyawan DA, Winarno K, dan Purnama PC. 2003. Ekosistem mangrove di Jawa: kondisi terkini. *Jurnal BIODIVERSITAS.* 4(2): 133-145.
- Sudiarta 2013. *Kajian Modeling Dampak Perubahan Fungsi Teluk Benoa Untuk Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System)*. Conservation Internasional Indonesia. Denpasar: Jejaring KKP Bali.
- Tanto TA, Putra A, Kusumah G, Farhan AR, Pranowo WS, Husrin S, dan Ilham. 2017. Pendugaan Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa Bali berdasarkan Citra Satelit. *Jurnal Kelautan Nasional.* 12(2): 101-107.
- Ulfa M, Julyantoro PGS, dan Sari AHW. 2018. Keterkaitan komunitas makrozoobentos dengan kualitas air dan substrat di ekosistem mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Science.* 4(2): 179 -190.
- Wantasen AS, 2013. Kondisi kualitas perairan dan substrat dasar sebagai faktor pendukung aktivitas pertumbuhan mangrove di Pantai Pesisir Desa Basaan I, Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmiah Platax.* 1(4): 204-209.
- Welch EB. 1980. *Ecological Effects of Waste Water*. USA: University Cambridge Press.
- Wiradharma IGB dan Antara M. 2010. *Pelestarian hutan mangrove di Teluk Benoa Bali: tinjauan dari aspek ekonomi lingkungan*. skripsi. Denpasar: Universitas Udayana.
- Wisha UJ dan Aida H. 2016. Bathymetry and hydrodynamics in pare bay waters during transitional seasons (September October). *Jurnal Omni-Akuatika* 12(2): 1-10.
- Wisha UJ, Tanto AT, Pranowo WS dan Husrin S. 2017. Current movement in benoa bay water, Bali, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science.* 18(1): 177-187.
- Zulkifli H dan Setiawan D. 2017. Struktur komunitas makrozoobentos di perairan sungai musi kawasan Pulokerto sebagai instrumen biomonitoring. *Jurnal Natur Indonesia.* 14(1): 95-99