



BEING WATERWISE: EMBUNG SANUR SEBAGAI KONSERVASI AIR METROPOLITAN SELARAS DENGAN KONSEP TRI HITA KARANA

BEING WATERWISE: SANUR RETENTION AS A METROPOLITAN WATER CONSERVATION IN ACCORDANCE WITH THE TRI HITA KARANA

Kadek Hindhu Putra Kedaton^a, Mawiti Infantri Yekti^{b*}, I Gede Agus Sudiartama^a, Kadek Desyilia Cahyani^a, Fitria Annilda^c

^aProgram Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali; Badung

^bProgram Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta; Sleman

^cFakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Al Azhar Jakarta; Jakarta Selatan

*Korespondensi: wiwiet91@yahoo.com

Article Info:

- Artikel Masuk: 16 Agustus 2022
- Artikel diterima: 26 Maret 2024
- Tersedia Online: 31 maret 2024

ABSTRAK

Banjir merupakan masalah yang sering terjadi di area perkotaan, tidak terkecuali Kota Denpasar, Bali. Denpasar menduduki peringkat ketiga di Provinsi Bali untuk kejadian banjir dengan tujuh kali kejadian atau 16% dari total insiden di daerah tersebut. Topografi landai serta curah hujan tinggi (sekitar 1800 mm per tahun) menjadi penyebab masalah banjir di Denpasar, yang diperburuk oleh kapasitas sistem drainase yang belum mencukupi, pengurangan resapan air hujan akibat pembangunan yang intensif, dan kekurangan ruang terbuka hijau. Penelitian ini membahas pembangunan Embung Sanur sebagai solusi konservasi air metropolitan yang selaras dengan konsep kearifan lokal Bali, Tri Hita Karana. Melalui metode DMAIC, didukung dengan studi literatur, riset ini mengevaluasi desain dan efektivitas Embung Sanur. Kefektifan dinilai dari kontribusi pada pengembangan perkotaan dan sosial ekonomi yang berkelanjutan, sesuai dengan inovasi era Society 5.0. Studi ini bertujuan meningkatkan kualitas hidup manusia secara berkelanjutan dan memenuhi tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) terkait dengan Industri, Inovasi, dan Infrastruktur keairan. Kesimpulan menunjukkan kemungkinan replikasi efisiensi Embung Sanur di kota lain dengan kondisi hidrologi dan geografis serupa.

Kata Kunci: Denpasar, Embung, Water Conservation, THK, DMAIC

ABSTRACT

Flooding is a frequent problem in urban areas, including the city of Denpasar in Bali. Ranking third in the province for flood frequency, Denpasar has experienced seven flood events, constituting 16% of the region's total incidents. The city's flat topography and high rainfall levels, approximately 1800 mm annually, are primary contributors to its flooding issues, exacerbated by inadequate drainage systems, reduced rainwater infiltration due to intense urban development, and a scarcity of green open spaces. This study explores the development of the Sanur Embung as a metropolitan water conservation solution in harmony with Bali's local wisdom concept, Tri Hita Karana. Employing the DMAIC methodology and supported by literature review, this research assesses the design and effectiveness of the Sanur Embung. Its effectiveness is evaluated in terms of its contribution to sustainable urban and socio-economic development, aligning with Society 5.0 innovations. The study aims to enhance human life quality sustainably and fulfill the Sustainable Development Goals (SDGs) related to Industry, Innovation, and Inundated infrastructure. The conclusion suggests the possibility of replicating the efficiency of Sanur Retention in other cities with similar hydrological and geographical conditions.

Key Words: Denpasar, Retention Basin, Water Conservation, THK, DMAIC

1. PENDAHULUAN

Banjir perkotaan telah menjadi masalah yang mengkhawatirkan di berbagai wilayah di dunia, khususnya di Asia, dan diimbangi cepatnya urbanisasi, banjir telah menjadi bencana yang sering terjadi di perkotaan. Banjir adalah bencana alam perkotaan yang paling sering terjadi dan bertanggung jawab atas 43,4% dari semua bencana antara tahun 1980 dan 2017 (Rana et al., 2021). Indonesia, khususnya Kota Denpasar, tidak terlepas dari masalah tersebut.

Denpasar menempati urutan ketiga di Bali dengan tujuh kejadian banjir, yang mencakup 16% dari total kejadian (Junivan et al., 2018). Berdasarkan informasi dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dan Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Kota Denpasar, banjir sering terjadi di beberapa tempat seperti Rumah Sakit Umum Pusat (RSUP) Sanglah, sekitar Universitas Udayana dan Renon, serta di berbagai jalan utama serta perumahan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Daerah Sanur menjadi salah satu yang terdampak. Banjir di wilayah Sanur dan sekitarnya terjadi, karena curah hujan yang melebihi 50 mm per hari, topografi yang datar, berkurangnya laju serapan air karena pembangunan yang padat, sistem drainase yang tidak memadai, serta minimnya ruang terbuka hijau (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Hal inilah yang menjadikan upaya penanganan banjir masih sulit dilakukan.

Embung salah satu alternatif infrastruktur keairan yang dapat berfungsi menampung air saat volume banjir melebihi kapasitas sungai yang dilaluinya (Ferdian et al., 2020), dan mampu memotong puncak debit banjir sehingga sebagian air akan masuk ke area tampungan embung dengan menganalisis *flow routing*-nya. Upaya keteknisan ini jika dikaitkan terhadap pemahaman kearifan lokal masyarakat Bali yaitu Tri Hita Karana maka pembangunan embung dapat sebagai *metropolitan water conservation*. Peninjauan *metropolitan water conservation* ada pada aspek konservasi air (Noor, et al., 2021), khususnya drainase dan pengendalian banjir, penataan lingkungan perkotaan dan sosial ekonomi berkelanjutan, sebagai bagian inovasi dari infrastruktur konstruksi (keairan khususnya) sebagai *blue-green construction* pada era Society 5.0 (Krivtsov, et al., 2022).

Penelitian ini merupakan langkah konkrit dalam mendukung upaya penanganan banjir perkotaan di Denpasar, dengan fokus pada wilayah yang paling terdampak seperti Sanur. Melalui analisis terhadap pembangunan embung sebagai salah satu strategi mitigasi (Bongi, et al., 2020), diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pemerintah setempat, lembaga terkait, dan masyarakat dalam penilaian efektivitas Embung Sanur dan juga merancang kebijakan yang lebih efektif dalam menghadapi tantangan banjir di masa depan.

2. DATA DAN METODE

2.1. Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Data penelitian dari sumber yang telah ada disebut sebagai data sekunder (Sujarweni, 2014). Jenis dan sumber data seperti ini yang digunakan dalam tulisan ini. Data yang dikumpulkan berupa data geografi, data perencanaan Embung Sanur, dan data curah hujan di wilayah area yang mengalami genangan banjir dan *catchment area* Embung Sanur.

Metode pengumpulan data untuk analisis melalui studi literatur dengan merangkum teori dan mengkaitkan dengan sumber data sekunder tentang subjek penelitian yang memiliki korelasi dengan gagasan embung sebagai pengendali banjir di wilayah perkotaan (Sujarweni, 2014). Artikel laporan penelitian, jurnal, buku dan berbagai sumber referensi yang mendukung analisis studi untuk memperoleh data (Sujarweni, 2014).

2.2. Metode Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan diolah menggunakan metode DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). DMAIC adalah metode *Six Sigma* yang mencakup (Ulfah & Auliandri, 2019):

- a. *Define* yaitu identifikasi masalah, ruang lingkup dan tujuan serta menentukan prioritas. Pada studi ini berupa area genangan banjir dan *catchment area* sebagai batasan wilayah.

- b. *Measure* melibatkan analisis sistem pengukuran yang dinilai dan dievaluasi. Pada studi ini berupa analisis hidrologi berdasarkan data persebaran curah hujan dan analisis tampungan dan efektifitas embung terhadap puncak banjir untuk menghitung debit banjir rancangan dengan Metode Nakayasu.
- c. *Analyze* mencari akar penyebab masalah yang kompleks dan memprioritaskan masalah yang akan dipecahkan menggunakan pemetaan SWOT (*Strength, Weakness, Opportunities, Threats*). Pada studi ini berupa membuat gap analisis berdasarkan SWOT kualitatif yang menampilkan keadaan sebelum dan sesudah serta pembangan berkelanjutan dan peluang yang mungkin terjadi.
- d. *Improve* sebagai tahap keempat bertujuan meningkatkan proses dan menghasilkan perbaikan kualitas guna menghilangkan cacat (Sirine & Kurniawati, 2017). Pada studi ini berupa sistem kerja embung sebagai *improvement* pengendalian operasi banjir.
- e. *Control* fokus pada pengendalian kinerja (Ulfah & Auliandri, 2019). Pada studi ini berupa penerapan konsep Tri Hita Karana dalam *metropolitan water conservation* sebagai '*Control*' untuk pengendalian dan perbaikan kualitas infrastruktur keairan dalam pengendalian puncak banjir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi sebelum Pembangunan Embung Sanur (*Define*)

Tingginya potensi banjir Kota Denpasar disebabkan karena curah hujan yang cukup tinggi (± 1800 mm pertahun) dan topografi termasuk datar sampai landai. Selain itu banyaknya pembangunan Gedung dan perumahan mengakibatkan kondisi penutup tanah yang kedap air (Junivan et al., 2018). Kondisi ini menjadi alasan Kota Denpasar sering terjadi banjir pada saat puncak musim hujan, yaitu bulan Desember, Januari dan Pebruari. Data genangan air di Kota Denpasar dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Genangan Air di Denpasar

Lokasi	Luas Genangan (Ha)
Jalan Gatsu IV	1,50
Jalan Sari Gading	6,25
Jalan Ratna	6,25
Jalan Suli	2,70
Jalan Kamboja	2,70
Jalan Gatsu Timur	0,75
Jalan Gunitir	3,50
Jalan Cargo Ubung	5,00
Jalan Buluh Indah	3,50
Jalan Gunung Agung	3,50
Lingkungan Desa Tegal Kerta dan Tegal Harum seluas	40,00
Jalan Demak dan Jalan Kertapura	44,00
Lingkungan Br. Ablam Timbul	5,20
Jalan Waturenggong Seluas	3,50
Jalan Tukad Yeh Penet	4,00
Jalan Bedugul dan Jalan Dewata	3,50
Lingkungan Pemukiman Bumi Ayu Sanur	35,00
Jalan By Pass Ngurah Rai	1,50
Jalan Pulau Seram	12
Jalan Pulau Tarakan, dan Jalan Pulau Buto, Jalan Satelit dan Jalan Pulau Serangan	65,00
Lingkungan Kantor BPTP Pedungan	32,00
Lingkungan Gria Anyar Pemogan	1,50
Jalan Sunia Negara sampai Jalan Pemogan	0,75
Jalan By Pass Ngurah Rai dan Pertokoan Mebel	0,20

Sumber: PUPR Denpasar, 2019

Pada Tabel 1 ditunjukkan data genangan air saat curah hujan tinggi di beberapa wilayah di Denpasar, dan paling rawan genangan banjir di sekitar lingkungan Desa Tegal Kerta dan Tegal Harum, Jalan Pulau Tarakan, Jalan Pulau Buto, Jalan Satelit, dan Jalan Pulau Serangan, serta lingkungan Kantor BPTP Pedungan. Selanjutnya untuk mengatasi masalah ini pemerintah melalui Dinas PUPR Kota Denpasar perlu mengambil tindakan seperti memperbaiki sistem drainase, normalisasi dasar sungai, melakukan penanaman pohon dan membangun infrastruktur keairan sebagai retensi air seperti embung.

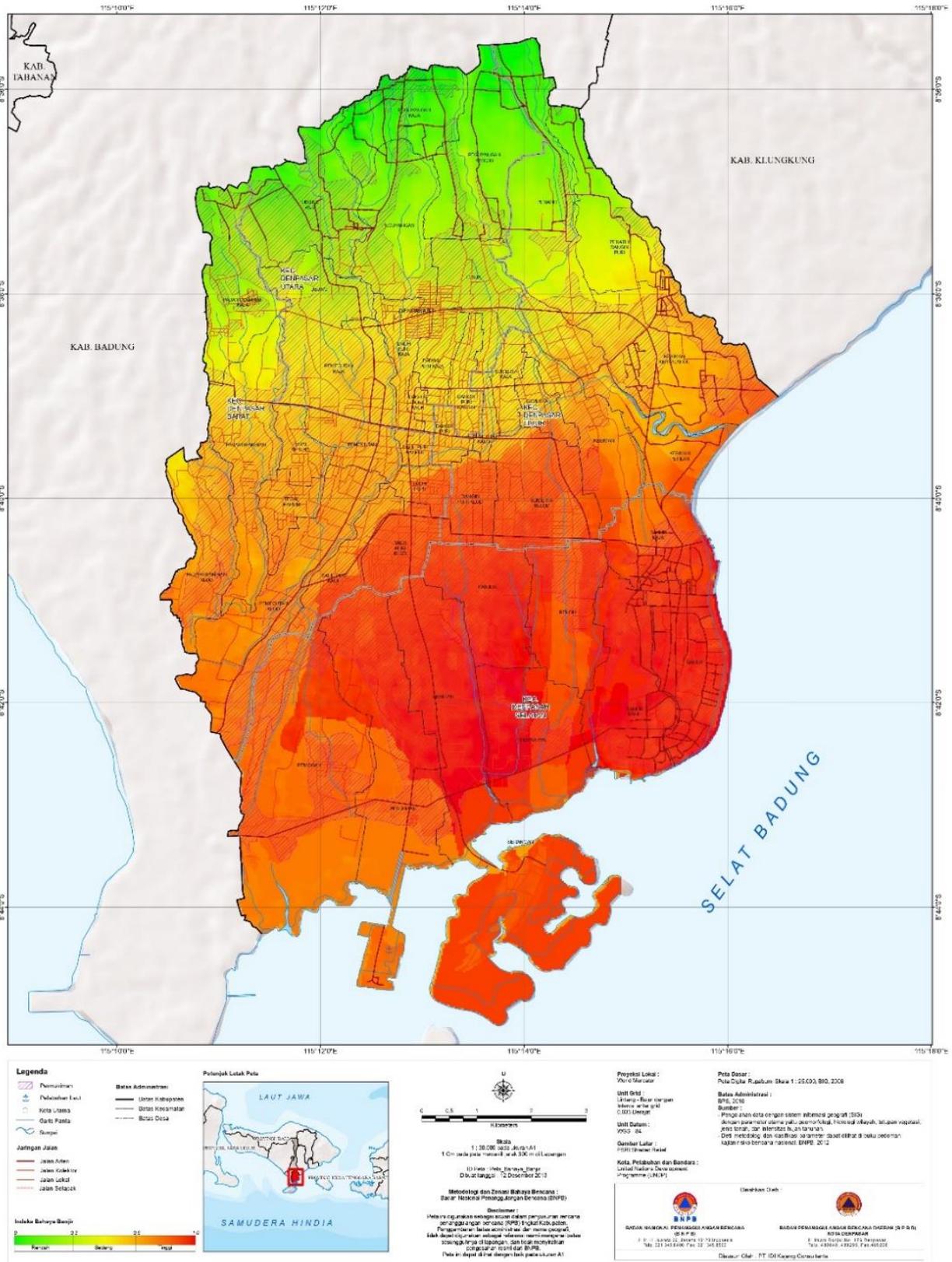
3.2. Geografis Embung Sanur (*Define*)

Sebagai ibu kota Provinsi Bali, Kota Denpasar harus didukung oleh fasilitas dan infrastruktur yang memadai. Salah satunya sistem jaringan drainase yang baik (Mulyani et al., 2020). Meningkatnya jumlah penduduk berakibat pada pesatnya perkembangan pembangunan fisik seperti permukiman (Dewi & Rudiarto, 2014). Pembangunan fisik yang semakin padat menyebabkan berkurangnya tingkat resapan air kedalam tanah dan mengakibatkan peningkatan limpasan permukaan yang berpotensi menyebabkan banjir (Pertiwi, 2017). Potensi bahaya banjir di Kota Denpasar dapat terlihat pada Gambar 1 dengan lokasi *catchment area* yang mengalami banjir serta lokasi Embung Sanur berada pada zona oranye - merah, dan untuk mengatasi masalah potensi banjir pemerintah dituntut untuk memberikan solusi kepada masyarakat.

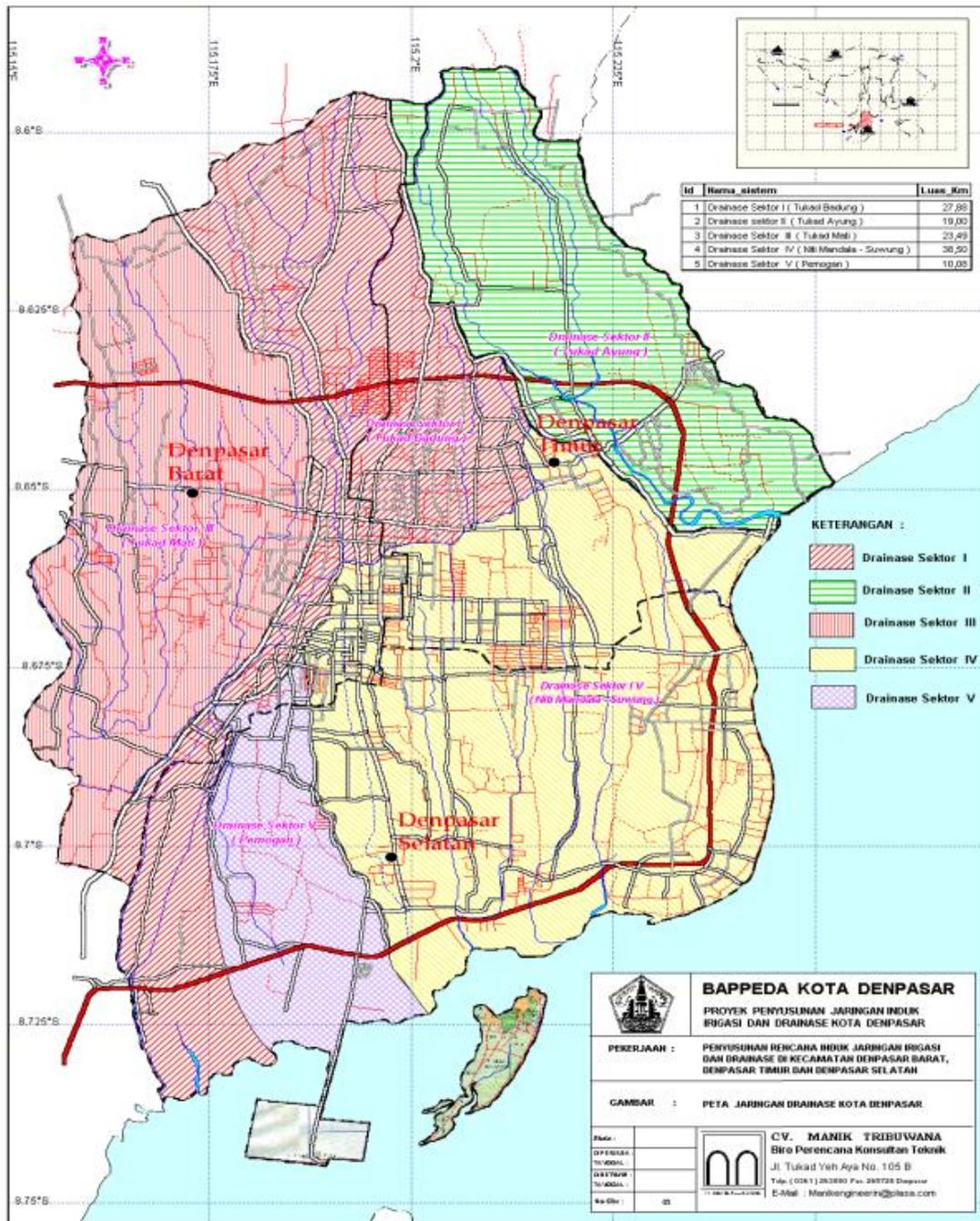
Sistem drainase yang ada di Kota Denpasar (Gambar 2) terdiri dari 5 sistem pelayanan yaitu Sistem I Tukad Badung, Sistem II Tukad Ayung, Sistem III Tukad Mati, Sistem IV Niti Mandala Renon dan Sistem V Pemogan (BAPPEDA, 2014). Meski persebaran tata air sebenarnya baik, kondisi kawasan Sanur Kauh sering tergenang air saat musim hujan karena kontur geografisnya yang rendah. Lokasi Embung Sanur berada di Sanur Kauh (Gambar 3) termasuk dalam Sistem IV, Sistem Niti Mandala–Suwung dan sekitarnya. Batas sistem ini meliputi sebelah utara Sungai Klandis, sebelah selatan Pantai Suwung, sebelah timur Sanur, dan sebelah barat Tukad Pekaseh.

Sistem IV (BAPPEDA, 2014) ini terdiri dari beberapa sub sistem diantaranya:

- a. Sanglah dan sekitarnya, Kelurahan Pedungan, dan Kelurahan Sesetan termasuk ke dalam Sub Sistem Pekaseh.
- b. Kelurahan Sesetan, Kelurahan Sida Karya, Desa Pegok dan sekitarnya, Kelurahan Panjer dan sebagian kawasan Renon melalui anak sungainya yaitu Tukad Panjer termasuk daerah layanan Sub Sistem Tukad Rangda (Tukad Buaji).
- c. Sebagian besar Kelurahan Sida Karya, sebagian Kelurahan Panjer, dan sebagian Kelurahan Renon termasuk ke dalam Sub Sistem Tukad Punggawa.
- d. Sebagian Kelurahan Sida Karya, Kelurahan Sumerta Kelod, dan sebagian Kelurahan Renon termasuk ke daerah layanan Sub Sistem Tukad Ngenjung.
- e. Sebagian Desa Sida Karya, Desa Sanur kauh, Kelurahan Kesiman, Desa Sanur kaja, dan Desa Kesiman Petilan termasuk ke dalam Sub Sistem Tukad Loloan.



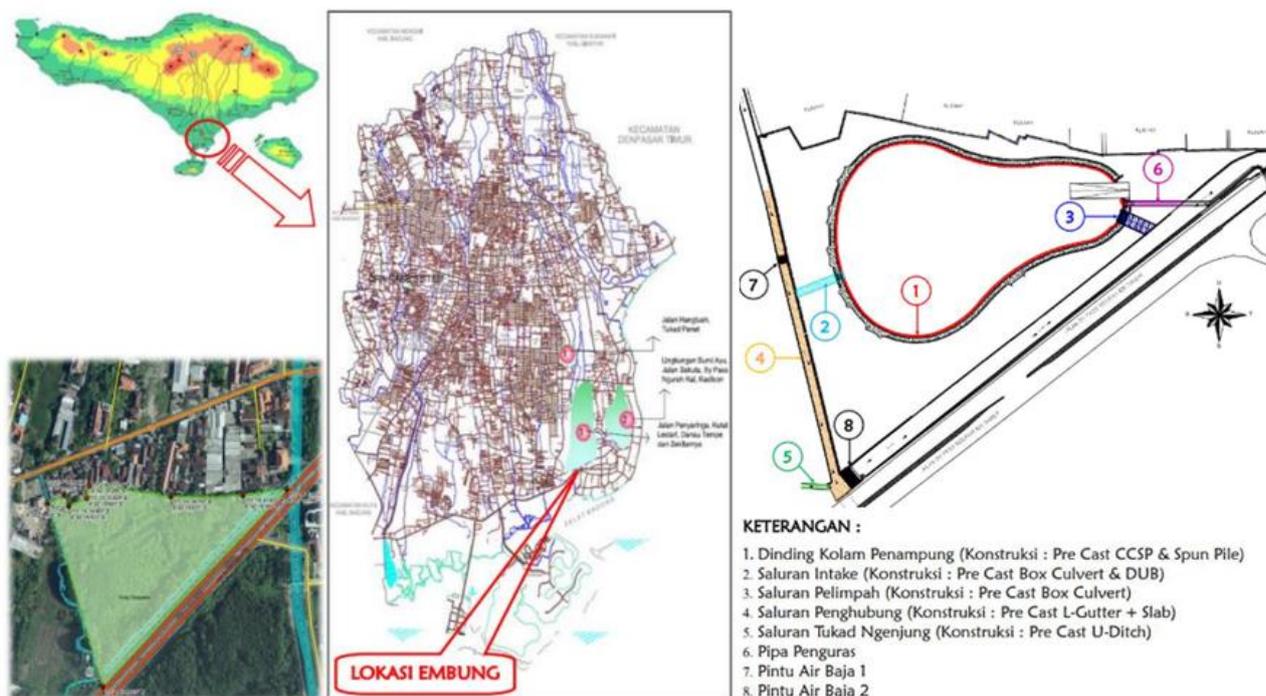
Sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Denpasar, 2013
Gambar 1. Peta Potensi Baniir di Kota Denpasar



Sumber: BAPPEDA Kota Denpasar, 2014

Gambar 2. Sistem Drainase Utama Kota Denpasar

Embung Sanur berada pada lahan dengan luas secara keseluruhan ± 2 ha seperti terlihat pada layout dan sistem kerja embung di Gambar 3. Air yang ditampung pada embung bersumber dari campuran air buangan kota daerah Sanur Kauh dan Sidakarya yang kemudian ditampung untuk konservasi air (Mariawan, 2022). Pada tahun 2021 akan dilaksanakan tahap pertama pembangunan embung sanur dengan pekerjaan berupa pembangunan kolam tampungan, inflow embung, bangunan pelimpah, penguras dan pembangunan saluran intake.



Sumber: Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, 2020

Gambar 3. Letak Layout dan Sistem Kerja Embung Sanur

3.3. Analisis Hidrologi dari Curah Hujan (*Measure*)

Kondisi air tanah di Kota Denpasar didasarkan pada informasi dan analisis review Peta Hidrogeologi Pulau Bali yang diterbitkan oleh Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan (PATGTL). Analisis ini menunjukkan bahwa di Kota Denpasar terdapat dua jenis akuifer, yaitu yang memiliki air tanah bebas dan yang memiliki air tanah tertekang atau semi tertekang. Pola air tanah di Kota Denpasar cenderung sama dengan pola di Bali Selatan (Irmayanti et al., 2020). Akuifer dangkal ditemukan pada kedalaman 30–50 m dengan kemiringan ke arah selatan, sedangkan akuifer dalam terletak pada kedalaman 50-150 m.

Curah hujan di Kota Denpasar berubah-ubah sepanjang tahun, dengan puncak musim hujan pada bulan Januari dan Februari, serta musim kemarau pada bulan Oktober dan April. Saat melakukan analisis hidrologi, data curah hujan menggunakan data curah hujan dua stasiun yaitu Pos Sanglah dan Pos Sumerta dari tahun 2008 hingga 2017 (Irmayanti et al., 2020). Informasi lebih lanjut tentang persebaran curah hujan di setiap wilayah Kota Denpasar dapat dilihat dalam Tabel 2, dengan skor 6 memiliki hujan rata-rata bulanan antara 164,4 – 166,2 mm memiliki tingkat kerawanan tinggi, diikuti skor 4 dengan hujan rata-rata bulanan antara 162,5 – 164,3 mm tingkat kerawanan sedang, dan terakhir skor 2 dengan hujan rata-rata bulanan 160,7 – 162,5 mm memiliki tingkat kerawanan rendah.

Tabel 2. Persebaran Curah Hujan di Denpasar

No	Curah Hujan	Rata-rata (mm/bulan)	Skor	Tingkat Kerawanan
1	Tinggi	164,4 – 166,2	6	Tinggi
2	Sedang	162,5 – 164,3	4	Sedang
3	Rendah	160,7 – 162,5	2	Rendah

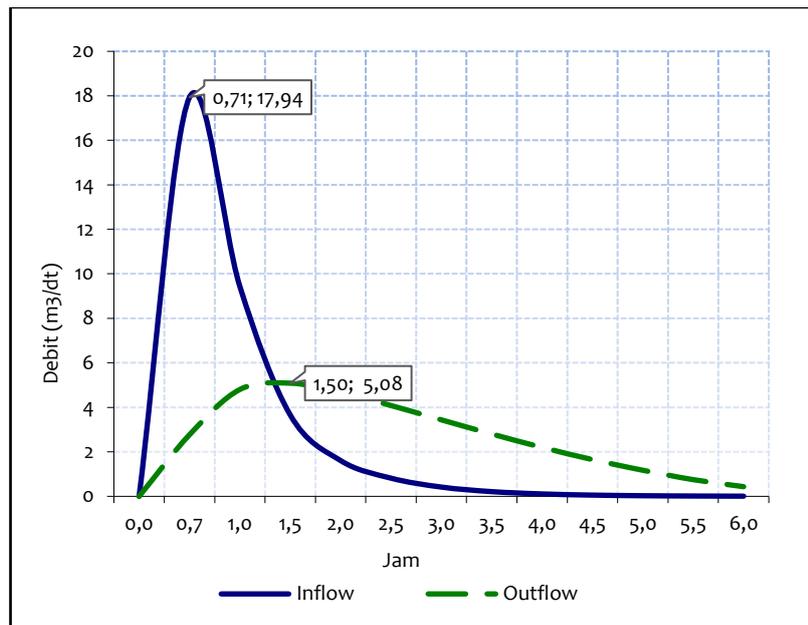
Sumber: Irmayanti et al., 2020

3.4. Analisis Tampung dan Efektifitas Embung Sanur (*Measure*)

Tujuan dibangunnya Embung Sanur untuk mengendalikan banjir. Hidrograf *inflow* dijadikan dasar dalam melakukan penelusuran banjir. Penambahan durasi genangan terhadap debit dikarenakan kurangnya kemampuan pelimpah untuk mereduksi debit banjir (Azmeri & Erlangga, 2015). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap kapasitas banjir yang mampu ditampung dengan data debit air desain ($Q_{\text{banjir rencana}}$) dan *Flow Routing Inlet* pada $Q_{\text{banjir rencana}}$. *Flow Routing* memainkan peran mendasar dalam permodelan geomorfologi (Liang et al, 2015).

Metode Nakayasu digunakan untuk menghitung debit banjir rencana ($Q_{\text{banjir rencana}}$) sebagai langkah awal dalam analisis hidrologi (Sudinda, 2014). Data yang digunakan meliputi parameter daerah aliran sungai (DAS), seperti luas dan panjang sungai, serta parameter hidrograf seperti a (*time lag*), c (koefisien pengaliran), dan R_o (hujan satuan). Dari data tersebut, kita bisa mencari nilai-nilai lainnya seperti waktu hujan, tegangan waktu, dan debit puncak banjir. Setelah itu, dilakukan analisis hidrologi lebih lanjut untuk menentukan ordinat dan unit hidrograf satuan sintetik Metode Nakayasu. Hasil analisis ini digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan kala ulang $Q_{\text{banjir rencana}}$ yang akan masuk ke Embung Sanur.

Tampung Embung Sanur sesuai dengan data lay out pada Gambar 3 memiliki luas tampungan sekitar 9.600 m^2 , volume tampungan normal $\pm 34.500 \text{ m}^3$ dengan kedalaman efektif (normal) 3,980 meter. Kedalaman muka air banjir 4,515 m ditambah dengan tinggi jagaan 1,2 meter sehingga total kedalaman embung sanur dari elevasi puncaknya 5.75 meter. Analisis *flow routing* kemudian dilakukan untuk melihat efektifitas pengendalian debit banjir kala ulang $Q_{\text{banjir rencana}}$ di sub sistem Tukad Ngenjung, yang akan ditampung di Embung Sanur. Dari hasil analisis tampungan Embung Sanur dan analisis *flow routing*, dapat disimpulkan bagaimana *inlet* Embung Sanur akan menangani debit banjir.



Gambar 4. Efektifitas Pengendalian Debit Banjir Embung Sanur

Penjelasan pada Gambar 4 merupakan proses *flow routing* (pemangkasan puncak debit banjir $17,94 \text{ m}^3/\text{dt}$) yang melewati Tukad Ngenjung masuk *intake* (*Box Culvert*) Embung Sanur berukuran $2 \times 2 \times 1$ dengan debit masuk sebesar $5,08 \text{ m}^3/\text{dt}$ dalam waktu 1,5 jam dengan ketinggian air 0,85 m. Terjadi reduksi debit banjir sebesar 28,32 % dengan volume air yang tertampung pada embung sebesar 34.354 m^3 . Sedangkan pada grafik terbaca debit yang ditampung tiap waktunya. Hal ini menunjukkan bahwa Embung Sanur dapat menampung air banjir sebesar 34.354 m^3 . Hasil analisis pada studi ini menunjukkan kesesuaian dengan data

teknis dari laporan pekerjaan disain yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Kota Denpasar, yaitu kapasitas embung yang telah dikonstruksi sebesar 34.500 m³.

Kolam retensi memiliki konsep dasar volume air ditampung ketika debit sungai mencapai maksimum dan ketika debit sungai sudah pada kondisi normal, air akan dialirkan secara perlahan. Secara spesifik besarnya puncak banjir akan dipangkas kolam retensi, sehingga kegagalan tanggul dan luapan yang diakibatkan oleh potensi *over topping* pada tanggul Tukad Ngenjung dapat tereduksi.

3.5. Gap Analysis pada Embung Sanur (Analyze)

Berdasarkan *define* dan *measure* dapat dilakukan penilaian kontrol terhadap pembangunan Embung Sanur menggunakan konsep analisa SWOT kualitatif pada Tabel 3. Dari tabel tersebut, aspek-aspek kunci dari analisis SWOT didefinisikan dan dilakukan metode pengukuran hingga dapat memberikan gambaran kondisi dari sebelum dan sesudah dibangunnya Embung Sanur (*Gap Analysis*), seperti pada Tabel 4.

Tabel 3. SWOT Pembangunan Embung

<i>Strengths</i>	<i>Weaknesses</i>	<i>Opportunities</i>	<i>Threats</i>
Sumber Air: Embung dapat menjadi sumber air yang penting untuk pertanian, perikanan, dan kebutuhan domestik di daerah yang kekurangan pasokan air	Biaya Pembangunan: Pembangunan embung membutuhkan investasi awal yang besar, termasuk untuk pemilihan lokasi yang tepat, desain, dan konstruksi	Pengembangan Usaha: Pembangunan embung dapat memicu pertumbuhan ekonomi lokal melalui pengembangan usaha terkait seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata	Perubahan Iklim: Perubahan iklim dapat mengakibatkan pola hujan yang tidak terduga dan mengancam keberlanjutan pasokan air embung
Irigasi: Embung dapat digunakan sebagai sumber air untuk irigasi pertanian, meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian lokal	Perawatan dan Pemeliharaan: Embung memerlukan perawatan dan pemeliharaan berkala untuk memastikan keberlanjutannya, yang memerlukan sumber daya dan biaya tambahan	Inovasi Teknologi: Inovasi dalam teknologi embung, seperti penggunaan sensor untuk pengelolaan air yang lebih efisien, dapat meningkatkan kinerja dan keberlanjutan embung	Konflik Sumber Daya: Pembangunan embung dapat menyebabkan konflik antara pengguna air yang berbeda
Konservasi Air Tanah: Dengan menampung air hujan, embung membantu dalam konservasi air tanah dan mencegah erosi tanah	Dampak Lingkungan: Pembangunan embung dapat memiliki dampak lingkungan, seperti perubahan aliran sungai, perubahan habitat, dan potensi konflik dengan ekosistem setempat	Kemitraan (Hubungan kerjasama): Kemitraan antara pemerintah, sektor swasta, dan organisasi non-pemerintah dapat meningkatkan kapasitas pembangunan dan pengelolaan embung	Kerusakan Infrastruktur: Bencana alam seperti banjir atau gempa bumi dapat mengancam keberlanjutan embung dan infrastruktur terkait
Diversifikasi Sumber Pendapatan: Pembangunan embung bisa memberikan peluang untuk pengembangan pariwisata dan rekreasi air, yang dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat setempat	Ketergantungan: Ketergantungan yang berlebihan pada embung sebagai sumber air dapat mengurangi motivasi untuk mencari alternatif lain yang lebih berkelanjutan	Pemberdayaan Masyarakat: Pembangunan embung dapat menjadi kesempatan untuk melibatkan masyarakat setempat pengelolaan sumber daya alam	Perubahan Kebijakan: Perubahan kebijakan pemerintah terkait pengelolaan sumber daya air dapat berdampak pada pembangunan dan pengelolaan embung

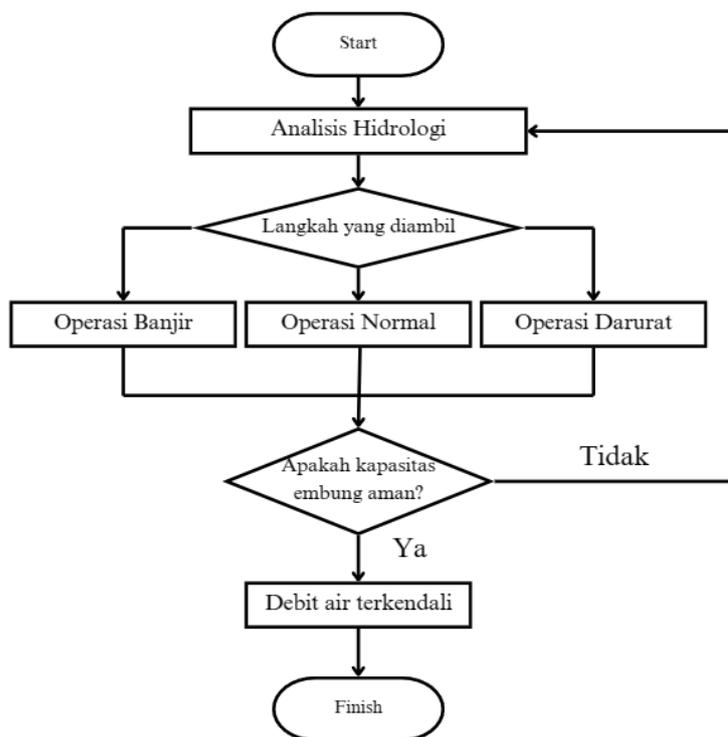
Tabel 4. Gap Analysis pada Embung Sanur

Area	Keadaan Sebelum	Keadaan Sesudah	Pengembangan Berkelanjutan	Hasil Peluang
Ketersediaan Air	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas penyimpanan air terbatas • Akses air terbatas, terutama di musim kemarau • Ketahanan terhadap musim kemarau rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas penyimpanan air meningkat • Akses air bagi masyarakat meningkat, terutama di musim kemarau • Ketahanan terhadap musim kemarau meningkat 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemeliharaan dan peningkatan kapasitas embung • Pengelolaan air yang berkelanjutan • Edukasi dan kesadaran masyarakat tentang penggunaan air 	<ul style="list-style-type: none"> • Meningkatkan ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat • Meningkatkan kualitas hidup masyarakat
Pengendalian Banjir	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas tampungan air hujan terbatas • Frekuensi dan tingkat keparahan banjir tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas tampungan air hujan meningkat • Frekuensi dan tingkat keparahan banjir menurun 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemeliharaan dan pengembangan sistem drainase • Penghijauan di daerah hulu • Penegakan aturan tentang tata ruang 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengurangi kerugian akibat banjir • Meningkatkan rasa aman masyarakat
Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas air rendah • Keanekaragaman hayati rendah • Estetika dan nilai rekreasi rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas air membaik • Keanekaragaman hayati meningkat • Estetika dan nilai rekreasi meningkat 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan • Konservasi keanekaragaman hayati • Pengembangan ekowisata 	<ul style="list-style-type: none"> • Meningkatkan kualitas hidup masyarakat • Meningkatkan potensi wisata

3.6. Sistem Kerja Embung (*Improvement*)

Embung menampung air hujan dan aliran permukaan, kemudian melepaskannya secara terkontrol (Darwis, 2018). Pengoperasian embung meliputi pengaturan volume air dan pengeluaran air untuk berbagai keperluan (Al Banie, 2021). Selain itu, pemantauan kondisi fisik embung, seperti sarana dan prasarana, juga termasuk dalam pengoperasiannya (Floren, 2019). Berdasarkan bagan alir Gambar 5, dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Analisis hidrologi yaitu melakukan pencatatan debit air masuk, debit air keluar, dan volume air yang tertampung dalam embung. Kegiatan pengumpulan data hidrologi berupa pencatatan tersebut dilakukan secara rutin setiap harinya.
2. Analisis selanjutnya tentang pola operasi embung berupa analisis hidrolis dari konstruksi penunjang Embung Sanur di Gambar 5, yaitu :
 - Operasi Normal : jika volume air aman dan debit air terkendali, embung dioperasikan secara normal (di nomor 2 dan 3 akan seimbang) maka embung dapat memenuhi fungsinya, seperti irigasi, budidaya ikan, dan pariwisata.
 - Operasi Banjir : saat musim hujan dan terjadi banjir, pintu air embung dibuka untuk membuang air berlebih (operasi berlaku di nomor 2, 3, 7, dan 8).
 - Operasi Darurat : jika terjadi situasi darurat seperti jika diperlukan pengurasan tampungan embung maka dioperasikan nomor 6.
3. Jika embung sesuai dengan kapasitasnya setelah pola operasi yang dipilih, maka debit air terkendali. Namun, apabila setelah pola operasi embung tidak aman, maka dilakukan evaluasi analisis hidrologi sebagai bentuk mitigasi dan antisipasi debit banjir masa datang.



Gambar 5. Bagan Alir Sistem Kerja Embung

3.7. Metropolitan Water Conservation selaras konsep Tri Hita Karana (Control)

Metropolitan Water Conservation adalah konsep pembangunan kolam retensi berbasis embung untuk mengendalikan banjir dengan pendekatan kearifan lokal dan *blue-green construction*. *Blue-green construction* fokus pada manajemen sumber daya air dengan mengintegrasikan variabel ekologi dan hidrologi (Widyaputra, 2020). Konsep ini diterapkan dengan mempertimbangkan beberapa aspek dalam ekohidrologi. Di samping itu, *Green Building* menerapkan konsep bangunan ramah lingkungan selama tahap pengoperasiannya (Widyaputra, 2020). *Blue-green construction* bertujuan mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Ada empat konsep dasar dalam konservasi air pada *blue-green construction*, yaitu *water recycle*, *water recharge*, *water reuse*, dan penghijauan di lingkungan bangunan (Akhmaddhian, 2017). Teori ini sejalan dengan konsep *water conservation* yang terkait dengan pengelolaan permintaan air dan pengelolaan. Keduanya berusaha untuk mengurangi kebutuhan air yang dapat memiliki dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan yang mahal. Di Bali, perspektif kearifan lokal seperti Tri Hita Karana memberikan dasar untuk *Metropolitan Water Conservation* (Gambar 6). Konsep ini menjaga kualitas air dan ketersediaan air melalui pendekatan non-struktural dan struktural (Agustina, 2021).



Sumber: Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, 2020

Gambar 6. Disain Embung Sanur

Tri Hita Karana (Adhitama, 2020) merupakan filosofi Hindu Bali yang menekankan keseimbangan hubungan antara : parahyangan, hubungan manusia dengan Tuhan ; palemahan, hubungan manusia dengan alam; pawongan, hubungan manusia dengan sesama manusia. Embung Sanur merupakan contoh penerapan Tri Hita Karana dalam konservasi air, yaitu dari filosofi parahyangan dengan masyarakat Bali percaya bahwa air adalah sumber kehidupan yang suci dan merupakan anugerah dari Tuhan. Oleh karena itu, mereka menjaga kesucian air dengan ritual dan tradisi. Filosofi palemahan yaitu Embung Sanur dirancang untuk menampung air hujan dan menjaga keseimbangan alam. Embung ini dikelilingi oleh pepohonan dan vegetasi yang membantu menjaga kualitas air. Kemudian filosofi pawongan, masyarakat Bali memiliki tradisi gotong royong untuk menjaga kebersihan dan kelestarian embung. Mereka juga memiliki aturan adat yang mengatur penggunaan air embung.

4. KESIMPULAN

Embung Sanur menawarkan solusi efektif terhadap permasalahan genangan banjir di Denpasar, dengan memiliki luas tampungan 9.600 m² dan kapasitas 34.500 m³, sehingga embung ini mampu mereduksi debit banjir sebesar 28,32%, yang menandakan kemampuannya dalam mengendalikan banjir. Selain itu juga menawarkan solusi berkelanjutan melalui Integrasi konsep blue-green construction dan prinsip Tri Hita Karana dalam pembangunan Embung Sanur yang menampilkan harmonisasi teknologi pengelolaan air modern dengan kearifan lokal Bali, yang menguatkan keselarasan antara manusia, alam, dan Pencipta, sekaligus memajukan konservasi lingkungan dan ekonomi lokal.

5. REFERENSI

- Adhitama, S. (2020). Konsep Tri Hita Karana dalam Ajaran Kepercayaan Budi Daya. *Dharmasmrti: Jurnal Ilmu Agama dan Kebudayaan*, 20(2), 29–45.
- Agustina, M. D. P. (2021). *Optimalisasi Desa Wisata untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat*.
- Akhmaddhian, S. (2017). Pengaruh Kebijakan Pemerintah Daerah dalam Konservasi Sumber Daya Air Terhadap Kesadaran Lingkungan Masyarakat Kabupaten Kuningan. *Unifikasi: Jurnal Ilmu Hukum*, 4(1), 1–13.
- Al Banie, R. (2021). Identifikasi Kebutuhan Aset Jalur Irigasi dan Embung Air Cibanggala Kecamatan Pabuaran Kabupaten Subang. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12, 833–839.
- Azmeri, A. F., & Erlangga, T. (2015). *Studi Penelusuran Aliran (Flow Routing) Pada Sungai Krueng Teungku Kec. Seulimum Kabupaten Aceh Besar*.

- BPBD Kota Denpasar. (2013). Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana (RPB) Tingkat Kabupaten. Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana.
- Balai Wilayah Sungai Bali-Penida. (2020). Dokumen Pekerjaan Embung Sanur.
- BAPPEDA Kota Denpasar. (2014). Penyusunan Rencana Induk Jaringan Irigasi dan Drainase Kota Denpasar.
- Bongi, A., Rogi, O. H., & Sela, R. L. (2020). Mitigasi Risiko Bencana Banjir di Kota Makassar. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.35793/sabua.v9i1.31720>
- Darwis, H. (2018). Pengelolaan Air Tanah. *Yogyakarta: Pena Indis*.
- Dewi, N. K., & Rudiarto, I. (2014). Pengaruh Konversi Lahan Terhadap Kondisi Lingkungan di Wilayah Peri-Urban Kota Semarang (Studi Kasus: Area Berkembang Kecamatan Gunungpati). *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 10(2), 115–126.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). Rekapitulasi Curah Hujan 2009-2019 Wilayah Denpasar.
- Ferdian, D., Saggaff, A., & Sarino. (2020). Efektifitas Pengendalian Banjir dengan Embung: Studi Kasus Taman Firdaus Universitas Sriwijaya. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(1), 57-62. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v9i1.39>
- Floren, F. (2019). Model Pemeliharaan Berbasis Life Cycle Cost untuk Infrastruktur Embung Di Kabupaten Sleman DIY.
- Irmayanti, N., Lanya, I., & Utami, N. W. F. (2020). Zonasi Kawasan Perkotaan Berbasis Mitigasi Bencana Banjir (Studi Kasus Kota Denpasar). *J. Arsit. Lansek*, 6(2), 190.
- Junivan, J., Linawati, L., & Giriantari, I. A. D. (2018). Analisis Potensi Banjir di Kota Denpasar Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2), 227. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i02.p10>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2015, April 23). *Focus Group Discussion Analisis Banjir Kota Denpasar*. <http://ppebalinusra.menlhk.go.id/focus-group-discussion-analisis-banjir-kota-denpasar/>
- Krivtsov, V. et al. (2022). Blue-Green Cities: Achieving Urban Flood Resilience, Water Security, and Biodiversity. In: Brears, R.C. (eds) *The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures*. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87745-3_268.
- Liang, M., Geleynse, N., Edmonds, D. A., & Passalacqua, P. (2015). A reduced-complexity model for river delta formation–Part 2: Assessment of the flow routing scheme. *Earth Surface Dynamics*, 3(1), 87-104.
- Mariawan, I W. G. (2022). *Proyek Pembangunan Embung Sanur di Kota Denpasar. Laporan Kerja Praktik*.
- Mulyani, S., Putri, F. M., Andoko, B. W., Akbar, P., & Novalia, S. (2020). Dampak Pembangunan Infrastruktur Terhadap Kondisi Ketahanan Pangan Di Indonesia (Studi Kasus Provinsi Bali). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 26(3), 421.
- Noor, R., Subadyo, T., & Bonifacius, N. (2021). Taman Wisata Embung Persemaian Kota Tarakan Sebagai Display Eco Art Park. *Mintakat: Jurnal Arsitektur*, 22(1), 1-14. doi:10.26905/jam.v1i1.4420
- Pertiwi, N. (2017). *Implementasi Sustainable Development di Indonesia*. Global Research and Consulting Institute (GlobalRCI).
- Rana, I. A., Asim, M., Aslam, A. B., & Jamshed, A. (2021). Disaster Management Cycle and Its Application for Flood Risk Reduction in Urban Areas of Pakistan. *Urban Climate*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100893>
- Sirine, H., & Kurniawati, E. P. (2017). Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus Pada PT Diras Concept Sukoharjo). *AJIE (Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship)*, 2(03), 254–290.
- Sudinda, T. W. (2014). Penentuan Debit Rencana situ dengan Metoda Nreca dan Nakayasu (Lokasi Universitas Indonesia, Depok). *Jurnal Air Indonesia*, 7(1).
- Sujarweni, V. W. (2014). Metodologi penelitian. *Yogyakarta: Pustaka Baru Perss*.
- Ulfah, E. M., & Auliandri, T. A. (2019). Analisis Kualitas Distribusi Air Menggunakan Metode Six Sigma DMAIC pada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. *INOBIS: Jurnal Inovasi Bisnis Dan Manajemen Indonesia*, 2(3), 315–329.
- Widyaputra, P. K. (2020). Penerapan Infrastruktur Hijau di Berbagai Negara: Mendukung Pembangunan Berkelanjutan Berbasis Lingkungan.