
**PERBANDINGAN TEKNIK PENGUKURAN TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN
METODE 2 DIMENSI DAN 3 DIMENSI DI PULAU GILI LABAK, SUMENEP**
**COMPARISON OF CORAL REEF MEASUREMENT TECHNIQUES USING 2 DIMENSIONAL AND 3
DIMENSIONAL METHODS ON GILI LABAK ISLAND, SUMENEP**

Dedi Irawan*, Firman Farid Muhsoni

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang, PO. Box. 2 Kamal, Bangkalan, Jawa Timur

*Corresponding author email: dedi.irawan@trunojoyo.ac.id

Submitted: 20 November 2024 / Revised: 31 December 2024 / Accepted: 31 December 2024

<http://doi.org/10.21107/jk.v17i3.28127>

ABSTRAK

Kemajuan teknologi pada saat ini berpeluang mengembangkan metode penelitian, termasuk juga metode penelitian yang digunakan pada terumbu karang. Studi ini bertujuan untuk membandingkan teknik pengukuran terumbu karang menggunakan metode 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D) di Pulau Gili Labak, Metode 2D yang digunakan dalam penelitian ini adalah transek kuadrat dengan luas 2 meter dan Panjang 14 meter dan penghitungan secara visual, sementara metode 3D mengaplikasikan teknologi fotogrametri untuk memperoleh volume dari terumbu karang. Data yang dikumpulkan meliputi parameter-parameter fisik terumbu karang, seperti luas area, keragaman spesies, kondisi morfologi serta volume terumbu karang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun metode 2D lebih sederhana dan lebih murah, akurasi pengukuran yang dihasilkan terbatas pada aspek visual dan linear tanpa informasi mendalam mengenai struktur vertikal terumbu karang. Sebaliknya, metode 3D memberikan representasi yang lebih akurat dan detail mengenai topografi terumbu karang, namun memerlukan biaya dan perangkat teknologi yang lebih tinggi. Perbandingan kedua metode ini menunjukkan bahwa pengukuran 3D dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai kondisi terumbu karang, terutama dalam memetakan perubahan morfologi terumbu karang dari waktu ke waktu. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemilihan metode pengukuran terumbu karang yang lebih efisien dan tepat guna, serta dapat digunakan dalam program konservasi dan rehabilitasi terumbu karang di Pulau Gili Labak dan kawasan serupa.

Kata Kunci : Terumbu karang, Pengukuran 2D, Pengukuran 3D, Fotogrametri, Pulau Gili Labak

ABSTRACT

Current technological advances have the potential to develop research methods, including research methods used on coral reefs. This study aims to compare coral reef measurement techniques using 2-dimensional (2D) and 3-dimensional (3D) methods on Gili Labak Island, one of the tourist locations that is always crowded with tourists for swimming and diving located in Sumenep Regency, Madura. Coral reef measurement is very important in monitoring and managing coral reef ecosystems that are vulnerable to environmental changes. The 2D method used in this study is a quadrat transect with an area of 2 meters and a length of 14 meters and visual calculations, while the 3D method applies photogrammetry technology to obtain the volume of coral reefs. The data collected include physical parameters of coral reefs, such as area, species diversity, morphological conditions and coral reef volume. The results of the study show that although the 2D method is simpler and cheaper, the accuracy of the measurements produced is limited to visual and linear aspects without in-depth information about the vertical structure of the coral reef. In contrast, the 3D method provides a more accurate and detailed representation of coral reef topography, but requires higher costs and technological devices. The comparison of these two methods shows that 3D measurements can provide more comprehensive information on coral reef conditions, especially in mapping changes in coral reef morphology over time. This study is expected to be a reference in selecting more efficient and appropriate coral reef measurement methods, and can be used in coral reef conservation and rehabilitation programs on Gili Labak Island and similar areas.

Keywords : coral reef, 2D measurements, 3D measurements, Photogrammetry, Gili Labak Island

PENDAHULUAN

Kabupaten Sumenep merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang mempunyai pulau terbanyak (kurang lebih 115 pulau yang bernama). Kondisi ini menjadikan wilayah ini mempunyai potensi terumbu karang dan mangrove yang besar (Muhsoni, 2017). Pulau-pulau tersebut mempunyai potensi yang besar untuk di kembangkan sebagai kawasan wisata, antara lain Sapudi dan Gili Labak. Pulau Gili Labak ini mempunyai potensi besar untuk pengembangan ekowisata selam, ekowisata snorkeling, ekowisata pantai. Hasil survei tahun 2016, Luas terumbu karang di Pulau Gili Labak mencapai 66 ha. Kondisi karang hidup mencapai 48,7% dan terumbu karang mati mencapai 51,3%. Jenis karang yang mendominasi adalah *Stylophora (Branching)* mencapai 29,27% (Muhsoni, 2016). Tahun 2020 penutupan *lifeform* karang di pulau Gili Labak mencapai 74% karang hidup termasuk pada katagori baik (Insafitri *et al.*, 2020) dan unsur abiotik sebesar 22%. Karang yang mendominasi adalah *Acropora Branching* (19,88%) dan *Coral Foliose* (10,25%) (Insafitri *et al.*, 2021). Suvey tahun 2023 data karang hidup di Pulau Gili Labak mencapai 72,92% yang terdiri dari *Acropora Branching* (ACB) 19,88%, *Acropora Digitate* (ACD) 23,87%, *Acropora Encrusting* (ACE) 1,44%, *Acropora Submassive* (ACS) 2,09%, *Acropora Tabulate* (ACT) 10,27%, *Coral Branching* (CB) 0,07%, *Coral Encrusting* (CE) 0,20%, *Coral Foliose* (CF) 6,80%, *Coral Massive* (CM) 3,40%, *Coral Mushroom* (CMR) 1,90%, dan *Coral Submassive* (CS) 3,01%. (Irawan *et al.*, 2023)

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem yang paling beragam dan terancam punah (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2019) Memantau bagaimana karang merespons beragam ancaman dan gangguan yang dihadapi adalah bagian penting dari pengelolaan dan konservasi. Tantangannya adalah memahami cara terbaik untuk mengukur perubahan karang itu sendiri, dan berbagai macam ekosistem dan fungsinya. Pendekatan yang muncul, menggunakan fotogrametri bawah air untuk membuat model digital koloni karang, menyediakan cara baru dan non-invasif untuk mengeksplorasi koloni pola pertumbuhan dan volume (Lange & Perry, 2020). Terumbu karang merupakan satu ekosistem di laut dangkal tropis, dengan penyusun utamanya karang batu, dan berasosiasi dengan berbagai biota lainnya. Metode UPT (*Underwater Photo Transect*) atau Transek Foto Bawah Air merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pemetaan kondisi terumbu

karang menggunakan kamera digital dengan pelindung (*housing*) (Nurrahman *et al.*, 2020) Namun metode ini hanya menghasilkan data 2D (Benjamin *et al.*, 2019) hasil dalam penelitian ini dalam satuan persen (Riskiani *et al.*, 2019). Beberapa penelitian foto bawah air 3D dicoba untuk dipergunakan pada analisis arkeologi bawah air atau artefak (Fukunaga & Burns, 2020) menggunakan foto 3D untuk ekosistem terumbu karang, dan hasil dari citra 3D ini memberikan informasi struktural, kuantitatif dan terperinci, yang memberikan wawasan baru tentang organisme individu dan hubungannya dengan lingkungannya. de Oliveira *et al.*, (2021) juga melakukan rekonstruksi 3D terumbu karang menggunakan metode *Multiscale Geometrical Classification* (MGC), *Colour and Geometrical Classification* (CGC) dan *Object-Based Image Classification* (OBIA).

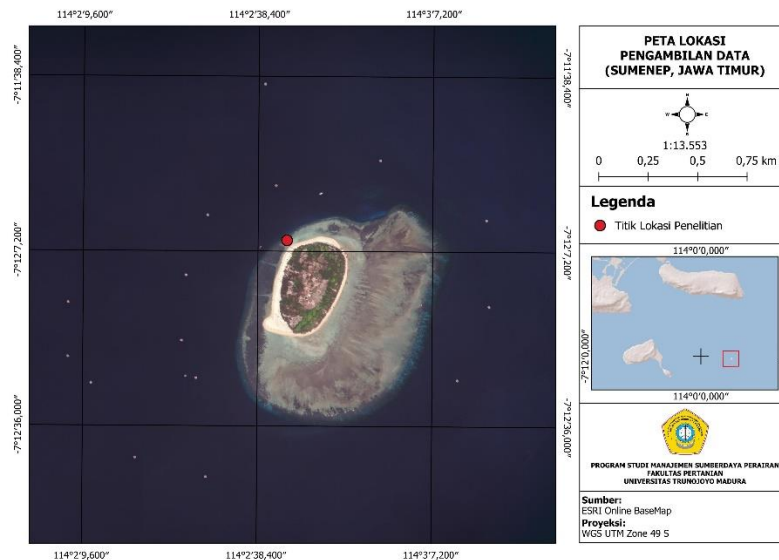
Metode akustik saat ini banyak digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek bawah laut. Sistem akustik sangat efektif untuk mengeksplorasi lingkungan bawah laut (Blondel, 2009). Pengembangan metodologi yang memungkinkan memasukkan metrik 3D ke dalam pemantauan terumbu karang sangat diperlukan. Proporsi tutupan karang hidup di terumbu adalah salah satu metrik yang paling banyak digunakan untuk menilai kesehatan terumbu (Leujak & Ormond, 2007). Hal ini digunakan sebagai proxy untuk menghitung biomassa terumbu karang dan membangun kemampuan hampir semua teknik yang digunakan untuk menilai perkiraan planar linear atau horisontal. Namun, 2D saja tidak cukup untuk memperkirakan tutupan terumbu karang (Bamford & Forrester, 2003), sedangkan metode 3D untuk pengukuran terumbu karang menyediakan informasi berharga tentang kesehatan terumbu karang (Dickens *et al.*, 2011). Luas permukaan dan volume 3D dapat memberikan metrik kelimpahan karang yang lebih dekat, dengan demikian memungkinkan menangkap perubahan pada terumbu karang yang lebih akurat (Muhsoni & Irawan, 2023).

Penelitian ini membandingkan metode 2D dan 3D untuk pemantauan terumbu karang. Pemodelan 3 Dimensi adalah penyajian data yang paling efektif untuk menggambarkan kerusakan pada terumbu karang, Perbandingan fotogrametri dan model 3D memberikan cara yang cepat, mudah, dan metode non-invasif (Lange & Perry, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan teknik pengukuran terumbu karang menggunakan metode 2D dan 3D di Pulau Gili Labak.

MATERIAL DAN METODE

kedalaman 5 meter, peta penelitian tampak pada **Gambar 1**.

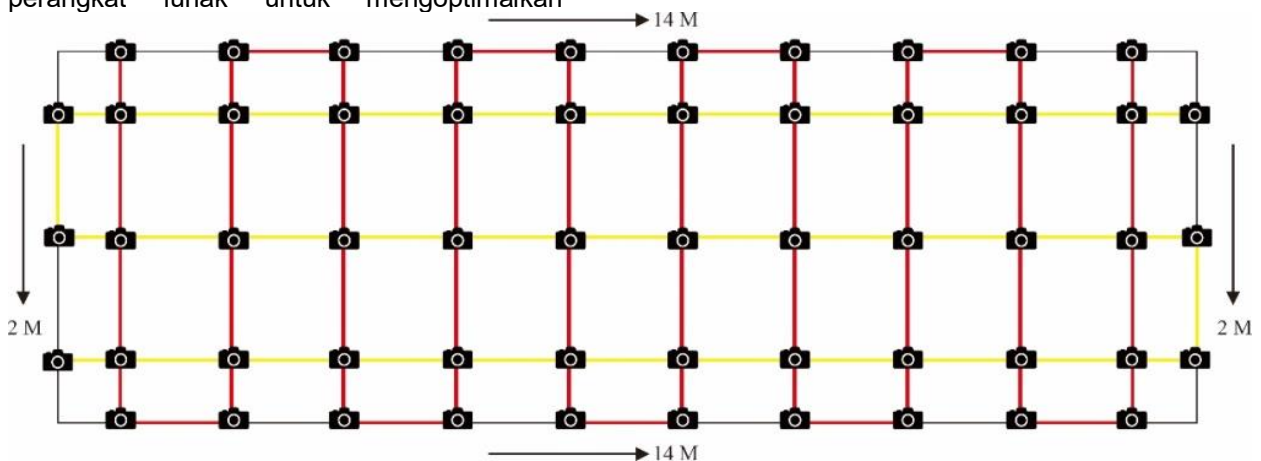
Penelitian ini dilakukan di pulau Gili Labak kecamatan Talango Kabupaten Sumenep pada



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pemotretan foto bawah air 3D dilakukan secara terus menerus baik dari sudut planar maupun miring untuk mendapatkan foto yang menangkap seluruh permukaan koloni dengan overlap 70-80% (Bythell & Pan, 2001) Luas pengambilan 3D dalam penelitian ini adalah lebar 2 meter dan panjang 14 meter. Penanda secara manual ke semua GCP, dan lokasi setiap penanda ditinjau dan dikoreksi di semua foto yang berisi GCP. Nilai x,y,z yang diketahui untuk setiap GCP dimasukkan ke dalam perangkat lunak untuk mengoptimalkan

penyelarasan gambar dan memastikan orientasi interior dan eksterior yang akurat dari model yang dihasilkan (Burns *et al.*, 2015) . 1. Analisis foto 3 dimensi menggunakan software agisoft; 2. Koreksi setiap jenis karang menggunakan software argcis; 3. Analisis hasil volume 3 dimensi menggunakan agisoft dengan mengimport hasil koreksi setiap jenis karang ke dalam software agisoft. Pengambilan foto *underwater* fotogrametri terlihat pada **Gambar 2**.



Keterangan

- Pengambilan foto secara vertikal
- Pengambilan foto secara horizontal

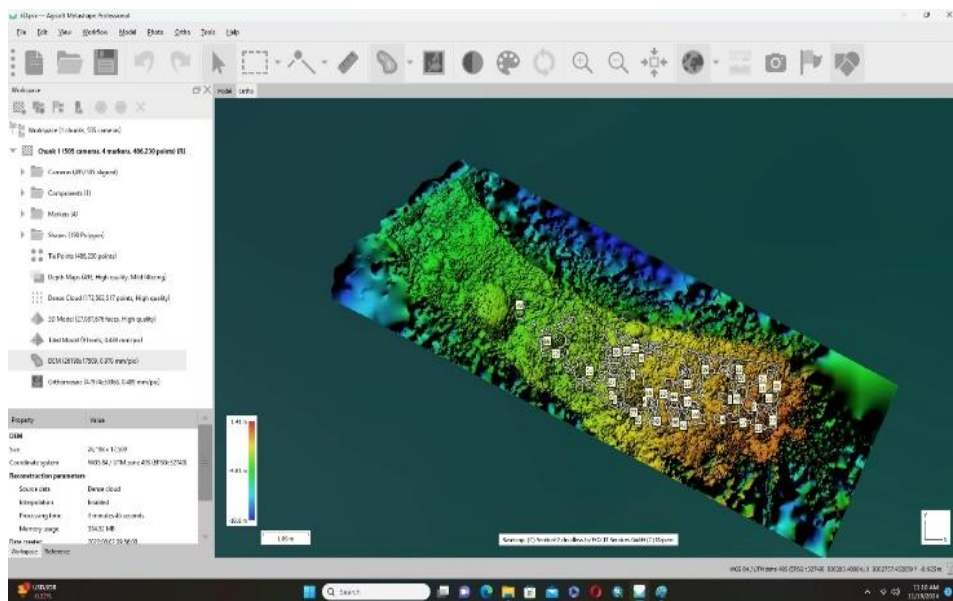
Gambar 2. Ilustrasi pengambilan foto 2D dan 3D

Hasil foto karang dianalisis menggunakan software Agisoft Metashape Professional. Tahapan sebagai berikut : (i) memperkirakan kualitas gambar foto bawah air sebagai fungsi ketajaman, eksposur, fokus, resolusi, dan kedalaman bidang gambar; (ii) menyelaraskan kamera dan *Build Dense Cloud* dengan perangkat lunak; (iii) menskalakan menggunakan skala; (iv) membangun *dense point cloud*, dengan informasi kedalaman untuk setiap kamera dan algoritma densifikasi; (v) membangun jaring 3D. *Build Texture (opsional)* meskipun langkah ini tidak diwajibkan untuk melakukan pengukuran dan analisis 3D. Semua model diorientasikan oleh proyeksi planar menggunakan tampilan fotografi, kemudian diisolasi (model koloni karang

“pembersihan” dari elemen rekonstruksi lain seperti pondasi terumbu) dan pengeditan Agisoft Metashape. Model diekspor untuk analisis kuantitatif dan penghitungan volume (de Oliveira *et al.*, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil foto yang diambil di lapang dikoreksi dan diolah menggunakan software agisoft, hingga menghasilkan DEM. Hasil koreksi 2D dan 3D terumbu karang dapat di lihat pada **Gambar 3** dan **4**. Adapun Persentase tutupan terumbu karang yang didapatkan pada pengamatan perbandingan metode 2D dan 3D setelah melakukan koreksi dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 3. Hasil analisis data DEM 2d dan 3D



Gambar 4. Hasil analisis data 2D dan 3D

Tabel 1. Hasil pengamatan 2D dan 3D terumbu karang di Pulau Gili Labak

No.	Type coral	Wide 2D (m ²)	Percentage	Wide 3D	
				m ³ (dalam 14 m ²)	Percentage
1	ACB	8.1390173	29.068%	0.6361	24.3788%
2	R	1.7070428	6.097%	0.0612	2.98378%
3	ACD	0.5257649	1.878%	0.0347	1.79284%
4	ACE	0.3438717	1.228%	0.0372	22.7036%
5	ACS	4.4742653	15.980%	0.5876	0.04960%
6	ACT	1.1806316	4.217%	0.0838	3.95435%
7	CB	0.0905221	0.323%	0.0083	0.49607%
8	CE	0.0107582	0.038%	0.0006	0.05056%
9	CHL	0.0209169	0.075%	0.0090	0.53379%
10	CM	3.4964641	12.487%	0.6725	25.6253%
11	CME	0.0336105	0.120%	0.0007	0.05911%
12	CMR	0.1775549	0.634%	0.0019	0.13354%
13	CS	0.1820742	0.650%	0.0184	1.01843%
14	DC	1.5842758	5.658%	0.0327	1.70126%
15	DCA	2.7666448	9.881%	0.1079	4.96056%
16	CF	2.9011469	10.361%	0.1559	6.90137%
17	OT	0.0184102	0.066%	0.0003	0.02518%
18	ROCK	0.1475755	0.527%	0.0083	0.50127%
19	S	0.1994523	0.712%	0.0042	0.27131%
Total		28	100.%	2.4621	100%

Table 1. menunjukkan hasil kombinasi metode 2D dan 3D menunjukkan persentase tutupan terumbu karang di tempat penelitian mencapai 77.125 %, dan mendapatkan 13 *lifeform*, jenis *lifeform* yang mendominasi adalah *Acropora branching* (ACB) sebanyak 29.068 %, *Acropora Submasif* (ACS) sebesar 15.980 % dan *Coral Foliose* (CF) sebanyak 10.361 %. Total luas 2 Dimensi m² adalah 28 meter m², total hasil luas 3 Dimensi volume adalah 2.462155 m³. Kategori tutupan karang coral atau karang hidup pada lokasi penelitian mencapai 77.125 % termasuk dalam katagori baik sekali, dan didominasi oleh karang *Acropora branching* hal ini disebabkan karena lokasi pengamatan berada di perairan yang berhadapan langsung dengan daerah tertutup dengan hampasan ombak yang tidak kuat. *Acropora Branching* ditemukan tumbuh di tempat yang lebih dalam. hal ini merupakan seleksi alam bagi hewan ini untuk menjaga koloninya dari kerusakan (Yehiel H *et al.*, 2019). Tipe terumbu karang di perairan sekitar Pulau Gili Labak adalah terumbu karang tepi (*fringing reef*). Bentuk dasar koloni karang lengkap, yaitu karang masif (*massive*), bercabang (*branching*), mengerak (*encrusting*), dan lembaran (*foliaceous*). Jenis dan jumlah *lifeform* khususnya yang mempunyai bentuk koloni bercabang dan masif cukup tinggi sehingga sangat mendukung kehidupan organisme laut. Tingginya persentase ACB, didukung oleh

kondisi perairan yang jernih dan jauh dari sedimentasi sehingga penetrasi cahaya matahari dapat menembus perairan sampai 100% pada kedalaman 3-10 m. Perairan yang jernih atau sedimentasi yang rendah, akan lebih banyak ditemukan karang dalam bentuk bercabang dan tabulate (Yehiel H *et al.*, 2019). Pengembangan metode 2D dan 3D dilakukan dengan menggunakan metode yang dapat mengukur *lifeform* karang dan mendapatkan data volume karang dengan memadukan beberapa *software* yaitu argics dan agisoft sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik dan dapat melengkapi metode-metode yang ada yang umum digunakan sebelumnya.

Hasil pengamatan *lifeform* karang hidup di pulau Gili Labak adalah sebesar 77,125 % dan karang mati sebesar 22,874%. Hasil ini menunjukkan terumbu karang pulau Gili Labak dalam katagori baik sekali. Persentase penutupan *lifeform* karang pulau Gili Labak khususnya di area snorkelling didominasi oleh karang hidup sebanyak 74% dan unsur abiotik sebesar 22%. Jenis karang yang mendominasi pulau Gili Labak adalah *Acropora Branching* sebesar 19,88% dan *Coral Foliose* sebesar 10,25% (Insafitri *et al.*, 2021). Kualitas perairan diambil sebagai data pendukung untuk kehidupan terumbu karang di pulau Gili Labak. Hasil Kualitas perairan dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Kualitas perairan di pulau Gili Labak

No.	Waktu	Suhu (°C)	pH	Kecerahan (%)	Sanilitas (‰)	DO (mg/l)	Kecepatan Arus (m/s)
1	Pagi	28.8	8.29	100	31	11.2	21
2	Siang	31.9	8.47	100	30	14.4	17.22
3	Sore	31	8.48	100	34	13.9	11.49

Tabel 2. menunjukkan hasil pengukuran kualitas perairan di pulau Gili Labak suhu pada pagi hari 28.8 °C, siang hari 31.9 °C, sore hari 31 °C. pH pada pagi hari 8.28, siang hari 8.47 dan pada sore hari 8.48, kecerahan pagi, siang, dan sore hari mencapai 100%, sanilitas pada pagi hari 31‰, siang hari 30‰ dan pada sore hari 34 ‰, DO pada pagi hari 11.2 mg/l, siang hari 14.4 mg/l, dan sore hari 13.9 mg/l, dan kecepatan arus pada pagi hari 21 m/s, siang hari 17.22 m/s dan pada sore hari 11.49 m/s.

Pengukuran parameter fisika dan kimia perairan dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kesesuaian antara parameter fisika dan kimia air dengan kebutuhan karang. Hasil pengukuran kondisi fisik-kimia perairan pulau Gili Labak berada pada kondisi baik. Hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 51 tahun 2004. Parameter perairan derajat keasaman (pH) yang diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata waktu adalah 8.41. Nilai tersebut dikatakan baik untuk pertumbuhan terumbu karang. Kisaran nilai pH yang sesuai untuk terumbu karang yaitu 7 hingga 8 (Irawan *et al.*, 2023). Selain pengukuran parameter

kimia, parameter fisika perairan seperti kecerahan dan suhu perairan juga dilakukan. Suhu yang optimal bagi pertumbuhan biota karang yaitu berkisar antara 25-30°C. Namun suhu 30-35°C dapat ditoleransi oleh terumbu karang. Berdasarkan hasil pengamatan, suhu perairan rata-rata yaitu 30°C. Tingkat kecerahan yang tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan terumbu karang, kecerahan berhubungan langsung dengan tingkat intensitas cahaya yang masuk kedalam kolom perairan. Kecerahan yang tinggi membawa dampak positif bagi zooxanthellae karena dapat memudahkan melakukan fotosintesis dan dapat membantu pertumbuhan. Tingkat kecerahan rata-rata pengamatan memiliki nilai 100% pada kedalaman 8 meter. Kondisi perairan di lokasi penelitian memiliki arus yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Namun demikian karang masih tetap bertahan untuk hidup, karena arus diperlukan karang untuk memperoleh makanan dalam bentuk zooplankton dan oksigen serta dapat membersihkan karang dari sedimen. Kekurangan metode 2D dan 3D dapat dilihat pada Table 3.

Tabel 3. Kekurangan dan kelebihan Metode 2 Dimensi dan 3 Dimensi

No.	Metode 2D		Metode 3D	
	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan
1.	Tidak mendapatkan nilai volume	Analisis lebih mudah data lebih cepat	Analisis lebih lama dan membutuhkan software lebih canggi	Dapat melihat tutupan persegi dan volume (3D)
2.	Hasil data hanya dipermukaan (2D)	Tidak membutuhkan perangkat lunak dengan spesifikasi yang tinggi	Membutuhkan perangkat piranti komputer dengan spesifikasi tinggi	Data yang didapatkan lebih akurat, bisa diambil dari permukaan dan seluruh sisi terumbu karang

(Irawan *et al.*, 2023)

KESIMPULAN DAN SARAN

persentase tutupan terumbu karang di tempat penelitian mencapai 77.125 %, dan mendapatkan 13 *lifeform*, jenis *lifeform* yang mendominasi adalah *Acropora branching* (ACB) sebanyak 29.068 %, *Acropora Submasif* (ACS) sebesar 15.980 % dan *Coral Foliose* (CF) sebanyak 10.361 %. Total luas 2 Dimensi m² adalah 28 meter m², total hasil luas 3 Dimensi volume adalah 2.462155 m³. Kategori tutupan karang coral atau karang hidup pada

lokasi penelitian mencapai 77.125 % termasuk dalam katagori baik sekali, Pengukuran kondisi fisik-kimia perairan pulau Gili Labak berada pada kondisi baik. Hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 51 tahun 2004.

DAFTAR PUSTAKA

Bamford, D. R., & Forrester, P. L. (2003). Managing planned and emergent change within an operations management

- environment. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(5), 546–564. <https://doi.org/10.1108/01443570310471857>
- Benjamin, C. S., Cadelina, P. L. P., Yñiguez, A. T., & Villanoy, C. L. (2019). Development and application of a low-cost rapid assessment system for coastal benthic habitats. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7808-2>
- Blondel, P. (2009). The Handbook of Sidescan Sonar. *The Handbook of Sidescan Sonar*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-49886-5>
- Burns, J. H. R., Delparte, D., Gates, R. D., & Takabayashi, M. (2015). Utilizing Underwater Three-Dimensional Modeling To Enhance Ecological And Biological Studies Of Coral Reefs. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5(W5), 61–66. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-61-2015>
- Bythell, J. C., & Pan, P. (2001). Three-dimensional morphometric measurements of reef corals using underwater photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, 20, 193–199. <https://doi.org/10.1007/s003380100157>
- de Oliveira, L. M. C., Lim, A., Conti, L. A., & Wheeler, A. J. (2021). 3D Classification of Cold-Water Coral Reefs: A Comparison of Classification Techniques for 3D Reconstructions of Cold-Water Coral Reefs and Seabed. *Frontiers in Marine Science*, 8(March). <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640713>
- Dickens, L. C., Goatley, C. H. R., Tanner, J. K., & Bellwood, D. R. (2011). Quantifying relative diver effects in underwater visual censuses. *PLoS ONE*, 6(4), 6–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018965>
- Fukunaga, A., & Burns, J. H. R. (2020). Metrics of coral reef structural complexity extracted from 3D mesh models and digital elevation models. *Remote Sensing*, 12(17), 1–18. <https://doi.org/10.3390/RS12172676>
- Hoegh-Guldberg, O., Pendleton, L., & Kaup, A. (2019). People and the changing nature of coral reefs. *Regional Studies in Marine Science*, 30, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100699>
- Insafitri, Asih, E. N. N., & Nugraha, W. A. (2020). Marine tourism in gili labak island: Willingness to pay method as an effort to preserve coral reef in gili labak island, madura, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 13(6), 3789–3797.
- Insafitri, I., Asih, E. N. N., & Nugraha, W. A. (2021). Dampak Snorkeling Terhadap Persen Tutupan Terumbu Karang Di Pulau Gili Labak Sumenep Madura. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(2), 151–161. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i2.30160>
- Irawan, D., Mukti, A. T., Andriyono, S., & Muhsoni, F. F. (2023). Assessment of coral reef condition using upt (underwater photo transect) method on gili labak island madura indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1273(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1273/1/012062>
- Lange, I. D., & Perry, C. T. (2020). A quick, easy and non-invasive method to quantify coral growth rates using photogrammetry and 3D model comparisons. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 714–726. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13388>
- Leujak, W., & Ormond, R. F. G. (2007). Comparative accuracy and efficiency of six coral community survey methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351(1–2), 168–187. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.028>
- Muhsoni, F. F. (2016). Analisa Daya Dukung Pemanfaatan Pulau Gili Labak dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Seminar Nasional Perikanan Dan Kelautan VI FPIK UB*, 1–6.
- Muhsoni, F. F. (2017). *Potensi dan Pengelolaan Pulau Gili Labak*. UTM PRESS.
- Muhsoni, F. F., & Irawan, D. (2023). Calculation of coral reef volume using 3D underwater photos on Gili Labak Island, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 16(3), 1210–1219.
- Nurrahman, Y. A., Kelautan, J. I., Tanjungpura, U., Barat, K., Kelautan, D., Padjadjaran, U., Barat, J., Nasional, T., & Karang, T. (2020). Kondisi Tutupan Terumbu Karang Di Pulau Panjang Taman Nasional Condition of Coral Reefs Cover in Panjang Island , Seribu Islands National Park , Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1), 27–32.
- Riskiani, I., Budimawan, B., & Bahar, A. (2019). The Analysis of Coral Reef Fishes Abundance Based on Coral Reef Condition in Marine Tourism Park of the

Kapoposang Islands, South Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(4), 1012–1017.
<https://doi.org/10.22161/ijeab.4418>

Yehiel H, Pattiasina, T. F., & Tapilatu, R. F. (2019). *Evaluasi Kondisi Terumbu Karang Di Pulau Mansinam Median*. 11, 1–12.