

***COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY* SEBAGAI METODE
PEREKAMAN DATA SITUS BANGKAI PESAWAT LOCKHEED P-38
LIGHTNING DI PERAIRAN PULAU LAE-LAE**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian
Guna memperoleh gelar Sarjana Sastra
pada Fakultas Ilmu Budaya
Universitas Hasanuddin

OLEH

**CHEERYLL FHARIZA OXISIA RAMADHANI
F61115503**

**DEPARTEMEN ARKEOLOGI
FAKULTAS ILMU BUDAYA
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2021

UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS ILMU BUDAYA

LEMBAR PENGESAHAN

Sesuai Surat Tugas Dekan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin Nomor:
559/UN4.9.1/KEP/2019 tanggal 18 Juni 2019, dengan ini kami menyatakan
menerima dan menyetujui skripsi ini.

Makassar, 03 Juni 2021

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Eng Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis
Nip. 196908251999031001



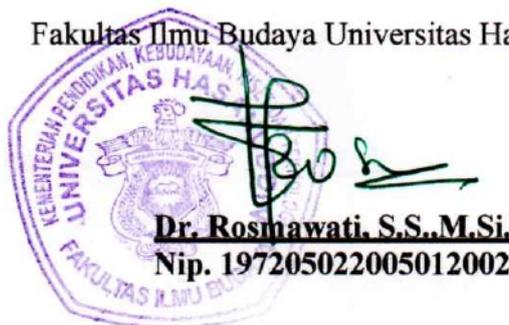
Nur Ihsan D., S.S., M.Hum.
Nip. 198511052019031011

Disetujui untuk diteruskan
Kepada Panitia Ujian Skripsi.

Dekan,

u.b. Ketua Departemen Arkeologi

Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin



Dr. Rosmawati, S.S., M.Si.
Nip. 197205022005012002

SKRIPSI

**COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY SEBAGAI METODE
PEREKAMAN DATA SITUS BANGKAI PESAWAT LOCKHEED P-38
LIGHTNING DI PERAIRAN PULAU LAE-LAE**

Disusun dan diajukan oleh

**Cheeryll Fhariza Oxisia Ramadhani
F611 15 503**

Telah dipertahankan di depan panitia ujian skripsi

Pada tanggal 13 Agustus 2021

Dinyatakan telah memenuhi syarat

**Menyetujui
Komisi Pembimbing,**

Pembimbing I



Dr. Eng Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis

Nip: 196908251999031001

Pembimbing II



Nur Ihsan D. S.S., M.Hum.

Nip: 198511052019031011

Dekan
Fakultas Ilmu Budaya
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Akin Duli, M.A.

Nip: 196407161991031010

Ketua Departemen Arkeologi
Fakultas Ilmu Budaya
Universitas Hasanuddin



Dr. Rosmawati, S.S., M.Si.

Nip: 197205022005012002

**UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS ILMU BUDAYA**

Pada hari Kamis, 19 Agustus 2021 Panitia Ujian Skripsi menerima dengan baik Skripsi yang berjudul :

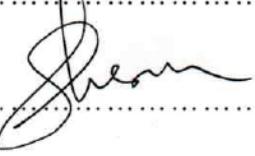
**COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY SEBAGAI METODE
PEREKAMAN DATA SITUS BANGKAI PESAWAT LOCKHEED P-38
LIGHTNING DI PERAIRAN PULAU LAE-LAE**

Yang diajukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat ujian skripsi guna memperoleh gelar Sarjana Sastra pada Departemen Arkeologi Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin.



Makassar, 16 Agustus 2021

Panitia Ujian Skripsi

- | | | |
|---|---------------|---|
| 1. Dr. Eng Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis | Ketua |  |
| 2. Nur Ihsan D. S.S., M. Hum. | Sekretaris |  |
| 3. Prof. Dr. Akin Duli, M.A. | Penguji I |  |
| 4. Dr. Muhammad Nur, M.A. | Penguji II |  |
| 5. Dr. Eng Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis | Pembimbing I |  |
| 6. Nur Ihsan D. S.S., M. Hum. | Pembimbing II |  |

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Cheeryll Fhariza Oxisia Ramadhani**
Nomor Induk Mahasiswa : **F611 15 503**
Jenjang Pendidikan : **Strata 1 (S1)**
Program Studi : **Arkeologi**

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “*COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY* SEBAGAI METODE PEREKAMAN DATA SITUS BANGKAI PESAWAT LOCKHEED P-38 LIGHTNING DI PERAIRAN PULAU LAE-LAE”. Adalah **Benar** merupakan hasil karya saya sendiri, bukan hasil pemikiran orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa keseluruhan isi Skripsi ini hasil karya orang lain atau dikutip tanpa menyebut sumbernya maka saya siap menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Agustus 2021



Cheeryll Fhariza Oxisia Ramadhani

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahuwata'ala* karena atas limpahan nikmat-Nya, baik itu sehat fisik maupun akal pikiran, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini adalah syarat ujian akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Sastra pada Departemen Arkeologi Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin dengan judul “*Computer-Vision Photogrammetry* Sebagai Metode Perekaman Data Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae”.

Dengan segala keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, penulis menyadari ketidaksempurnaan skripsi ini. Karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A., selaku rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Prof. Dr. Akin Duli, M.A., selaku Dekan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Dr. Rosmawati, S.S., M.A., selaku Ketua Departemen Arkeologi, dan Yusriana, S.S., M.A., selaku Sekertaris Departemen Arkeologi Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin Makassar.

4. Dr. Eng. Ilham Alimuddin, S.T. selaku Pembimbing I, dan Nur Ihsan D., S.S., M.A. selaku Pembimbing II yang senantiasa memberi masukan, koreksi, motivasi, dan nasehat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Akin Duli, M.A. selaku Penguji I, dan Dr. Muhammad Nur, S.S, M.A. selaku Penguji II yang telah memberikan saran kepada penulis agar skripsi ini menjadi lebih baik lagi
6. Yusriana, S.S., M.A. dan Dr. Yadi Mulyadi S.S., M.A., selaku Penasehat Akademik penulis, terima kasih atas kebaikan, tuntunan, dan nasihatnya kepada penulis sejak penulis menginjakkan kaki di Departemen Arkeologi hingga saat ini.
7. Seluruh staf pengajar Departemen Arkeologi Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin, terima kasih atas segala kebaikan dan waktu yang telah diluangkan untuk mengajar penulis selama menempuh studi. Terima kasih yang tak terhingga kepada, Prof. Dr. Akin Duli, M.A., Drs. Iwan Sumantri, M.A., M.Si., Dr. Rosmawati, M.Si., Dr. Muhammad Nur, S.S, M.A., Dr. Hasanuddin, M.A., Dr. Khadijah Thahir Muda, M.Si., Dr. Erni Erawati Lewa, M.Si., Yadi Mulyadi S.S., M.A., Yusriana, S.S., M.A., Supriadi, S.S, M.A., Nur Ihsan D., S.S., M.A., Andi Muhammad Saiful, S.S., M.A., Dott. Erwin Mansyur U. Saraka, Dr. Anwar Thosibo, M.Hum., Asmunandar, S.S, M.A., Dr. H. Bahar Akkase Teng, Lcp., M.Hum, Dr. Muhlis Hadrawi, S.S., M.Hum, Dr. Eng. Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis., dan Ir. H. Jamaluddin, MT.
8. Lukman Hakim S.S., selaku pengelola Laboratorium Arkeologi yang telah membantu dalam menunjang kebutuhan akademik penulis semasa kuliah.

9. Syarifuddin S.E. (Pak Udin), Bunda Marwah, Ibu Rani, dan seluruh staf pegawai Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin atas pelayanan dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama menjalankan masa studi.
10. Drs. Laode Muhammad Akhsa, selaku kepala Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Sulawesi Selatan yang telah memberikan izin kepada penulis untuk mengakses laporan laporan Situs Lockheed P-38 Lightning dan mengunjungi Situs tersebut. Tidak lupa juga penulis haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Abdullah, S.S., M.A. (Kak Dul), Andi Jusdi, S.S. (Kak Anjus), Andriany, S.S., M.Si (Ibu Ani), Dra. Djumiati (Ibu Jum), dan seluruh tim Unit Pengendalian Cagar Budaya Bawah Air BPCB Sulsel yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk ikut belajar di beberapa penelitian cagar budaya bawah air.
11. Seluruh keluargaku di KAISAR FIB-UH. Ingat*ki* kekeluargaan*ta*, karena hanya kekeluargaan*ta* yang bisa bikin*ki* betah berproses.
12. Saudara-saudari seangkatanku Pillbox 2015: A. Sitti Hadiyanti (Dian), Abdul Rahman Khadafi (Bibo), Adrianus Dipo Ramelan (Dipo), Andi Nurul Afizah, S.S (Lulu), Andoni (Jon), Anwar (Awa), Arini (Arini), Arwin (Arwing), Syarwan Zaman, Darfin, Evi Siti Rosdiyanti (Evi), Fery Indrawan (Petong), Heradiani (Olong), Hetika Sari (Hetika), Iqbal Usman (Iqbal), Jamaluddin (Jamal), Lia Islamiah (Lia), Marwan, Moch. Taufiqurrachiem (Omang), Muhamad Tulus Abdi Satya (Tulus), Muh. Zulfikar Eka Putra (Fifi), Nun Maghfirah Ismail (Lebu), Nuradityo Tri Wicaksono (Ndit), Nurul Khumairah (Yuyun), Nurwana (Wana), Salmia (Mia), Siska (Cika), Sri Sucjiati Razak

(Suci), Sunaryo Mad Arab (Naryo), dan Yustika (Tika). Terima kasih pernah ada, pernah berjuang bersama, pernah tertawa bersama, pernah dikecewakan bersama, walau akhirnya tidak lulus bersama. *Sukseski!*

13. Kak Ian, Kak Ayya, dan Kak Faqrun yang memberikan pencerahan dan referensi kepada penulis.

14. Salmia (*room mate* ramsis sekaligus *house mate* NHP), dan Nun (*house mate* seperjuangan skripsi), terima kasih sudah mau sama-sama berproses. *Cheers to the next step of life!*

15. Sahabat penulis, Kiki, Dian, Tesa, Yuyun, ada rindu yang harus kita tuntaskan.

16. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebut satu persatu .

Terkhusus untuk kedua orang tua penulis Ayahanda Drs. Iwan Sumantri, M.A., M.Si., dan Ibunda Andi Muliati, S.H.; dan kakak penulis Chiquita Shabrina Dhiafah Aprilia, S.Par, ucapan terima kasih yang seluas-luasnya Samudera dan sedalam-dalamnya Palung Mariana kiranya tidak akan pernah cukup untuk membalas perjuangan, doa, dukungan materil maupun moril, kesabaran dan kasih sayangnya sehingga penulis sampai pada tahap ini. Akhir kata untuk semua yang membaca skripsi ini, *risk something or forever sit with your dream.*

Makassar, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	5
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	6
1.4. Metode Penelitian	6
1.5. Komposisi Bab	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Penelitian yang Relevan	9

2.2. Fotografi	11
2.2.1. Fotografi Lingkungan Bawah Air	16
2.2.1.1. Tantangan Melakukan Fotografi di Bawah Air	17
2.2.1.1.1. Pembiasan Cahaya	17
2.2.1.1.2. Absorpsi Cahaya	20
2.3. Fotogrametri	23
2.3.1. Sejarah dan Perkembangan Fotogrametri	23
2.4. Computer-vision Photogrammetry Lingkungan Bawah Air	26
2.5. Agisoft Metashape	28
BAB III DESKRIPSI SITUS	34
3.1. Profil Wilayah	34
3.1.1. Letak Administratif dan Geografis.....	34
3.1.2. Karakter Oseanografi Perairan Pulau Lae-lae.....	36
3.2. Kondisi Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning	38
BAB IV METODE PEREKAMAN : SEBUAH USULAN	46
4.1. Akuisisi Data	46
4.1.1. Perlengkapan Kamera	46
4.1.2. Sistem Referensi Geografis	55
4.1.3. Metode Akuisisi Data	60
4.1.3.1. Pengaturan Kamera	60
4.1.3.2. Tumpang Tindih Gambar dan Jalur Renang.....	61
4.2. Pengolahan Data	64
4.2.1. Membangun Model Tiga Dimensi Situs.....	64

4.2.1.1. <i>Align Photos</i> (Penyelarasan Foto).....	64
4.2.1.2. <i>Build Dense Cloud</i>	66
4.2.1.3. <i>Build Mesh</i>	67
4.2.1.4. <i>Build Texture</i>	68
4.3. Pascapengolahan Data	68
4.3.1. Georeferensi Model Fotogrametri Tiga Dimensi Situs	69
4.3.2. Membangun Digital Elevation Model DEM.....	69
4.3.3. Membangun Ortofoto.....	70
4.3.4. Mengekspor Model.....	71
4.4 Bagan Alir Rekomendasi Perekaman Data Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning dengan metode CVP	72
BAB V PENUTUP	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan alur penelitian	7
Gambar 2. Ilustrasi perbandingan ukuran sensor kamera.....	13
Gambar 3. Ilustrasi cakupan gambar pada ukuran sensor yang berbeda	13
Gambar 4. Ilustrasi bagian-bagian kamera	14
Gambar 5. Ilustrasi perbandingan cakupan area pada tiap fokal lensa.....	14
Gambar 6. Ilustrasi cakupan sudut tiap fokal lensa	15
Gambar 7. Arah rambat sinar datang dan sinar bias pada dua medium.....	18
Gambar 8. Ilustrasi pembiasan cahaya pada lensa permukaan datar	19
Gambar 9. Ilustrasi pembiasan cahaya pada lensa dengan <i>dome port</i>	20
Gambar 10. Ilustrasi proses penyerapan cahaya di bawah air	21
Gambar 11. Ilustrasi penyerapan cahaya dari lampu strobo di bawah air	23
Gambar 12. Teknik pengambilan gambar berdasarkan kondisi objek.....	32
Gambar 13. Lokasi Situs Pesawat Lockheed P-38 Lightning	34
Gambar 14. Pulau Lae-lae	35
Gambar 15. Peta Batimetri Perairan Lokasi Lockheed P-38 Lightning	35
Gambar 16. Pola pergerakan angin musim barat.....	37
Gambar 17. Pola pergerakan angin musim timur	37
Gambar 18. Kondisi bangkai pesawat saat ditemukan	39
Gambar 19. Kondisi pipa pemanas kabin	40
Gambar 20. Pipa pendingin <i>turbo-supercharge</i>	40
Gambar 21. Turbin pendingin uap (<i>exhaust turbine</i>)	41
Gambar 22. Kondisi kokpit Lockheed P-38 Lightning.....	42

Gambar 23. Laras senapan mesin	42
Gambar 24. Magasin bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning	43
Gambar 25. Roda bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning	44
Gambar 26. Radiator pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning.....	45
Gambar 27. Sketsa situs Lockheed P-38 Lightning.....	45
Gambar 28. Lensa Sony FE 16-35mm F4 ZA OSS.....	48
Gambar 29. Sony A7II.....	51
Gambar 30. <i>Housing</i> Sea&sea MDX-A7II.....	52
Gambar 31. Model fotogrametri Situs Galiić <i>Shipwreck</i>	53
Gambar 32. Lampu strobo Ikelite DS-125.....	54
Gambar 33. Posisi lampu strobo bila jarak objek dengan kamera jauh.....	54
Gambar 34. Posisi lampu strobo bila jarak objek dengan kamera dekat	54
Gambar 35. Penempatan GCP	57
Gambar 36. GCP untuk bawah air	57
Gambar 37. <i>Master board D1</i>	58
Gambar 38. <i>Locator</i>	58
Gambar 39. <i>Receiver kit</i>	58
Gambar 40. Sistem kerja Water Linked Underwater GPS	59
Gambar 41. Ilustrasi pemasangan Water Linked Underwater GPS.....	59
Gambar 42. Ilustrasi tumpang tindih kedepan dan kesamping.....	62
Gambar 43. Rekomendasi jalur renang untuk membangun pemodelan	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan ekuivalen fokal lensa	16
Tabel 2. Panjang gelombang tiap spektrum cahaya.....	21
Tabel 3. Perkiraan cakupan area satu foto berdasarkan ukuran sensor APS-C	47
Tabel 4. Perkiraan cakupan area satu foto berdasarkan ukuran sensor <i>fullframe</i> ..	48
Tabel 5. Perkiraan harga kamera <i>full frame</i> dan <i>housingnya</i>	51
Tabel 6. Jarak antar pengambilan gambar berdasarkan panjang fokal lensa.....	63

DAFTAR ISTILAH

- Aperture* : Ukuran besar kecilnya bukaan iris/diafragma lensa yang dinyatakan dalam satuan *f/*. Semakin kecil angka *aperture* maka bukaan iris semakin besar, ruang fokus semakin sempit, dan cahaya yang masuk ke sensor kamera lebih banyak. Begitupun sebaliknya.
- Computer Vision Photogrammetry* : Sub-bidang fotogrametri yang mengandalkan algoritma perangkat lunak yang terpasang di komputer untuk menyusun titik-titik yang sama pada tiap foto hingga membentuk model 3D suatu objek.
- Crop factor* : Potongan cakupan sudut pada lensa.
- Dome port* : Aksesori kamera yang terbuat dari kaca atau akrilik berbentuk kubah setengah lingkaran yang dipasang di depan lensa kamera.
- Fotogrametri : Secara terminologi, fotogrametri terdiri dari dua kata yaitu “fotogram” dan “metri”. Dimana kata fotogram adalah *photograph* yang berarti dihasilkan oleh kamera, dan metri yang berarti ukuran. Fotogrametri didefinisikan sebagai metode mengumpulkan informasi suatu objek dari pengukuran beberapa foto yang tumpang tindih.

- Housing* : Pelindung kamera anti air yang didesain khusus berdasarkan model tertentu agar penggunaan kamera digital di bawah air menjadi memungkinkan.
- ISO : Tingkat sensitivitas sensor kamera terhadap cahaya. Semakin tinggi pengaturan ISO, maka semakin terang gambar yang dihasilkan namun *noise* yang dihasilkan juga semakin banyak.
- Lampu strobe : Alat yang mengeluarkan kilatan cahaya (*blitz*) untuk memberi penerangan pada foto bawah air. Blitz/flash/strobo bisa berasal dari dua jenis yaitu lampu strobo internal atau lampu strobo eksternal.
- Noise* : Berkaitan dengan titik-titik warna yang tidak dikehendaki yang hadir dalam foto. Kehadirannya ini membuat foto menjadi tidak terlihat halus, mulus, dan rata.
- Pesawat Lockheed P-38 Lightning : Jenis pesawat petarung, pengebom, dokumenter dan pemburu yang diproduksi pertama kali di Amerika Serikat pada tahun 1939.
- Shutter speed* : Kecepatan rana (buka tutup jendela sensor) atau durasi sensor menerima cahaya. *Shutter speed* diukur dalam satuan detik, semakin lambat *shutter speed* maka gambar yang dihasilkan semakin terang dan semakin

lambar pula sensor kamera membekukan gambar,
begitupun sebaliknya.

Studi kepustakaan : Kajian teoritis, referensi serta literatur ilmiah lainnya
yang berkaitan dengan budaya, nilai dan norma yang
berkembang pada situasi sosial yang diteliti.

ABSTRAK

CHEERYLL FHARIZA OXISIA RAMADHANI. “COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY SEBAGAI METODE PEREKAMAN DATA SITUS BANGKAI PESAWAT LOCKHEED P-38 LIGHTNING DI PERAIRAN PULAU LAE-LAE”, dibimbing oleh Ilham Alimuddin dan Nur Ihsan Djanas.

Keletakan Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae yang dekat dengan pemukiman mengancam kelestarian situs itu sendiri. Oleh sebab itu dibutuhkan perekaman data yang terukur dalam rangka mempertahankan kelestariannya. Upaya BPCB Sulsel untuk merekam data situs Lockheed P-38 Lightning pada 2016 berperan penting dalam pelestarian situs tersebut namun menyisakan beberapa kendala teknis yang berdampak pada akurasi data yang dihasilkan, khususnya penerapan fotogrametri.

Membuat usulan skenario penerapan metode *computer vision photogrammetry* skala 1:1 merupakan fokus skripsi ini. Skenario penerapan metode tersebut untuk mengisi urgensi perekaman data tiga dimensi pada Situs Lockheed P-38 Lightning secara akurat sehingga dapat digunakan sebagai data arkeologis untuk kepentingan analisis ke depannya. Skripsi ini menguraikan metode untuk membangun model tiga dimensi fotogrametri pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae berdasarkan tinjauan metode-metode yang digunakan untuk membangun model tiga dimensi fotogrametri pada penelitian-penelitian arkeologis sebelumnya.

Singkatnya ada tiga tahap utama yang harus diperhatikan saat membangun model tiga dimensi fotogrametri pada Situs Lockheed P-38 Lightning, yaitu metode akuisisi data, pengolahan data, dan pascapengolahan data. Di mana pada tahap metode akuisisi data memuat pemilihan peralatan kamera, sistem referensi geografis, dan metode akuisisi data (pengambilan gambar). Pada tahap pengolahan data memuat proses pembangunan model tiga dimensi situs dengan menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape, perangkat lunak ini dipilih karena fitur yang mudah digunakan, semi-otomatis, dan menghasilkan hasil yang andal. Sedangkan pada tahap pascapengolahan data memuat pembangunan georeferensi model, pembangunan DEM, pembangunan ortofoto, dan mengekspor model tiga dimensi.

Kata Kunci: pelestarian, Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning, *computer vision photogrammetry*

ABSTRACT

CHEERYLL FHARIZA OXISIA RAMADHANI. “COMPUTER-VISION PHOTOGRAMMETRY FOR LOCKHEED P-38 LIGHTNING AIRPLANE WRECK SITE RECORDING METHOD IN THE SEA OF LAE-LAE ISLAND”, Supervised by Ilham Alimuddin and Nur Ihsan Djanas.

The Lockheed P-38 Lightning Airplane Wreck Site located by The Sea of Lae-lae Island which is close to settlements has threatened the sustainability of the site itself. Therefore, data recording method is necessary to maintain its preservation. BPCB Sulsel to record Lockheed p-38 Lightning Airplane Wreck Site data in 2016 played an important role in preserving the site, but it left several technical weakness that impacted the accuracy of the generated data, especially the application of photogrammetry.

Creating scenarios for the application of the 1:1 scaled computer vision photogrammetry method is the focus of this thesis. The application of this method is to fill the urgency of recording 3D data on the Lockheed P-38 Lightning Airplane Wreck Site accurately so that it can be used as archaeological data for future analysis purposes. This thesis describes the method to build a 3D photogrammetric model on the Lockheed P-38 Lightning Airplane Wreck Site in the Sea of Lae-lae Island based on the methods used to build a 3D photogrammetric model in previous archaeological studies.

Shortly, there are three main stages that must be considered in building photogrammetric 3D model on the Lockheed P-38 lightning airplane wreck site: data acquisition method, data processing, and data post-processing. Data acquisition method includes selection of camera equipment, geographic reference system, and methods of data acquisition (capturing images). The data processing method include the process of building a 3D model of the site using Agisoft Metashape software. This software was chosen because of its features that are easy to use, semi-automatic, and produce reliable results. Meanwhile, the post-processing stage consists of georeferencing model, exporting 3D models, and DEM and orthophoto development.

Keywords: *preservation, Lockheed P-38 Lightning Airplane Wreck Site, computer vision photogrammetry*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perang dunia ke-2 yang berlangsung pada tahun 1939 hingga 1945 membentuk dua aliansi militer yang saling bertentangan: Blok Sekutu (Amerika Serikat, Inggris, Perancis, Uni Soviet, dan Cina) dan Blok Poros (Jerman, Jepang, dan Italia). Pendudukan Jepang di Indonesia yang saat itu tergabung dalam Blok Poros secara tidak langsung membuat Indonesia terlibat perang. Bukti sisa-sisa perang dunia ke-2 di Selat Makassar saat itu terekam pada Pesawat Lockheed P-38 Lightning. Pada tahun 2016, Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan (BPCB Sulsel) melakukan survei di Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae sebagai tindak lanjut dari kegiatan pengecekan situs tersebut yang dilaksanakan pada tahun 2011. Bangkai pesawat tersebut ditemukan atas laporan nelayan di perairan Pulau Lae-lae pada kedalaman 23-25 meter dengan jarak pandang kurang lebih 3 meter.

Berdasarkan hasil analisis BPCB Sulsel, bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning yang ditemukan di Perairan Pulau Lae-lae adalah milik sekutu yang jatuh pada perang dunia II. Saat ditemukan, kondisi bangkai pesawat tersebut masih relatif *intact* dengan persentase sekitar 70%. Pada awal penemuan, bangkai pesawat berada dalam kondisi terbungkus tali-tali tambang berukuran besar, dan jaring yang digantungi dengan besi-besi berbentuk pengait, serta ditutupi oleh berbagai macam sampah plastik (BPCB Sulsel, 2016)

Kemudian pada tahun 2019 Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38

Lightning ditetapkan sebagai Cagar Budaya Peringkat Provinsi Sulawesi Selatan. Penetapan tersebut mengacu pada Surat Keputusan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor: 323/II/Tahun 2019, tertanggal 04 Februari 2019 (Makmur, 2020). Sebagaimana diatur dalam Undang-Undang No. 11 Tahun 2010, cagar budaya yang telah ditetapkan harus dilestarikan dan dikelola sebaik-baiknya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan.

Meskipun telah ditetapkan sebagai Cagar Budaya Peringkat Provinsi Sulawesi Selatan, namun kenyataannya peninggalan Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning terancam kelestariannya. Berdasarkan Alokasi Ruang Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (WP3K) pada Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Selatan Nomor 2 Tahun 2019 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2019-2039, situs tersebut terletak pada Kawasan Pemanfaatan Umum (KPU) zona wisata¹, zona pertambangan², zona perikanan tangkap, dan jalur pelayaran. Selain itu, faktor alamiah juga memengaruhi tingkat kerusakan Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning. Kondisi arus dan angin yang cukup kuat memacu gelombang tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya erosi, pergeseran dasar laut (*seabed*) dan sedimentasi yang membuat Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning rentan

¹ Pantai Lae-lae termasuk dalam sub zona wisata bentang laut (KPU-W-BL) dan sub zona wisata olah raga air (KPU-W-OR). Pulau Samalona termasuk dalam sub zona wisata alam pantai/pesisir pulau-pulau kecil (KPU-W-P3K) dan sub zona wisata olah raga air (KPU-W-OR).

² Arah pengembangan Kawasan Pemanfaatan Umum Zona Tambang sub zona pertambangan pasir laut (KPU-TB-P) salah satunya meliputi Blok Spermonde, gugusan pulau karang yang terletak di selat Makassar di pesisir barat daya Pulau Sulawesi yang tersebar dari kabupaten Takalar berbatasan dengan laut Jawa sampai kabupaten Barru-Sulawesi Selatan, termasuk di dalamnya Pulau Lae-lae dan Pulau Samalona.

terhadap kerusakan fisik dan mekanik, serta kerusakan kimiawi (korosi) yang disebabkan oleh perubahan iklim. Karena keletakannya, Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning tidak terlepas dari ancaman pencemaran lingkungan dari aktivitas penduduk, aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan, pencurian besi tua bawah laut, isu pertambangan dan reklamasi, dan kerusakan akibat faktor alamiah (Ikhsan, 2019; BPCB Sulsel, 2016 : 1; Makmur, 2020 : 46).

Melihat nilai penting dan ancaman pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning, maka perlu dilakukan perekaman data yang terukur dalam rangka mempertahankan kelestariannya. Survei BPCB Sulsel pada 2016 melakukan pengumpulan data lapangan dengan metode pencarian lokasi, perekaman data verbal yaitu pendeskripsian dan penggambaran kondisi situs, perekaman data topografi (batimetri), perekaman data digital dengan foto dan video, dan fotogrametri (BPCB Sulsel, 2016). Kemudian BPCB Sulsel kembali pada 2017 dengan agenda pemetaan dan penggambaran Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning. Salah satu output agenda tersebut menghasilkan foto mozaik bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning yang disusun menjadi satu sehingga keseluruhan tampak atas bangkai pesawat tersebut dapat terlihat (BPCB Sulsel, 2017 dalam Ikhsan, 2019 : 10).

Penelitian arkeologi bawah air dihadapkan berbagai situasi yaitu waktu penyelaman terbatas, jarak pandang, kedalaman, suhu, dan arus. Hal inilah yang menuntut kecepatan, dan akurasi pada perekaman data situs arkeologi bawah air (Yamafune et al., 2017; Semaan & Salama, 2019). Metode-metode perekaman data yang dipilih pada suatu penelitian arkeologi bawah air memiliki pengaruh

yang besar pada analisis suatu situs (Balletti et al., 2015).

Dibandingkan dengan arkeologi bawah air, metode perekaman data pada arkeologi terestrial mengalami perkembangan yang pesat dalam beberapa tahun ini. Pengukuran manual dan penggambaran secara manual, telah dibantu oleh *total station*, *distometer*, *laser scanner*, dan fotografi dengan menggunakan kamera. Jika dibandingkan dengan perekaman data secara manual, perekaman data dengan metode digital lebih akurat dan efektif. Tidak terlepas dari kelemahan, perekaman data secara digital sebagian besar -kecuali fotografi- memerlukan biaya yang besar, memerlukan keahlian khusus, dan tidak dapat digunakan di bawah air. Perkembangan kamera dan komputer sejak awal abad 21 hingga saat ini mampu menjembatani kelemahan antara perekaman data secara manual dan perekaman data secara digital salah satunya dengan menggunakan metode *Computer Vision Photogrammetry (CVP)* (Damme, 2015 : 1-3; Kjellman, 2012).

Perekaman data Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning yang dilakukan BPCB Sulsel melahirkan data dalam bentuk dua dimensi dan tiga dimensi. Upaya BPCB Sulsel untuk merekam data situs Lockheed P-38 Lightning tersebut berperan penting dalam pelestarian situs namun menyisakan beberapa kendala teknis yang berdampak pada akurasi data yang dihasilkan, khususnya penerapan fotogrametri. Fotogrametri yang diterapkan menghasilkan model tiga dimensi situs, namun untuk menggunakan model tiga dimensi situs sebagai data arkeologi, penting untuk membuat skala 1:1 model tersebut.

Menghubungkan model tiga dimensi situs dengan skala dan referensi geografis adalah kunci untuk membuat skala 1:1 situs tersebut. Referensi

geografis model tiga dimensi situs dibentuk dengan membangun sistem koordinat. Tanpa koordinat, model tiga dimensi situs mengambang di bidang tridimensional yang tidak tentu. Untuk mengatur model ke posisi yang benar, sistem koordinat harus disematkan pada model. Tanpa koordinat tersebut, model tidak dapat diekspor ke perangkat lunak pemetaan dengan posisi yang benar (Yamafune, 2016). Setelah model digital tiga dimensi memuat skala dan informasi geografis, arkeolog dapat mengekstraksi informasi dimensi, DEM (Digital Elevation Model) dan peta kontur, *orthophoto*, *siteplan 2D*, dan data ilmiah lainnya yang tidak menutup kemungkinan dapat digunakan untuk keperluan analisis di kemudian hari.

Membuat skenario penerapan metode CVP skala 1:1 merupakan fokus penelitian ini. Penerapan metode tersebut untuk mengisi urgensi perekaman data tiga dimensi pada Situs Lockheed P-38 Lightning secara akurat sehingga dapat digunakan sebagai data arkeologis untuk kepentingan analisis kedepannya.

1.2. Permasalahan

Melihat nilai penting dan ancaman pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning, sebagai upaya penyelamatan data maka perlu dilakukannya perekaman yang dapat menghasilkan informasi bentuk, ukuran, tekstur dalam bentuk tiga dimensi dengan menggunakan metode CVP. Merujuk dari uraian di atas pertanyaan penelitian yang penulis ajukan adalah:

1. Bagaimana skenario penerapan metode CVP pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan merupakan sasaran yang ingin dicapai dalam tulisan ini dan mengacu pada pertanyaan penelitian yang telah diajukan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran penerapan metode CVP pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae dari segala aspek mulai dari waktu yang tepat untuk melakukan penyelaman di situs tersebut, rekomendasi alat yang digunakan, cara kerja, hingga pengolahan datanya.

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

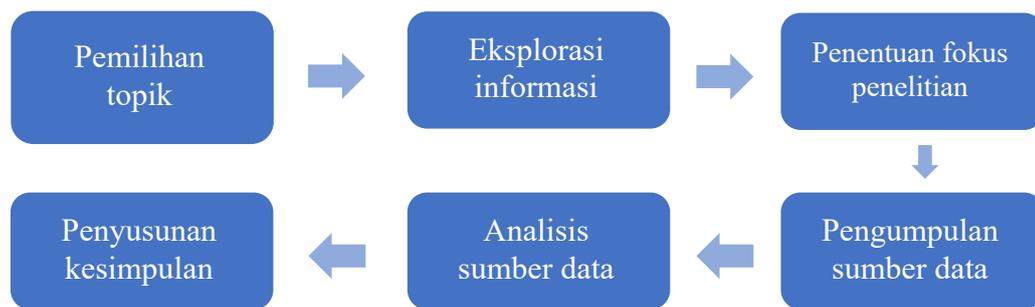
1. Dapat menjadi referensi terkait metode pengumpulan data arkeologi di bawah air yang efektif dan efisien.
2. Model tiga dimensi yang akan dihasilkan dari metode pengumpulan data tersebut dapat digunakan untuk monitoring kerusakan situs ataupun kepentingan analisis lainnya di kemudian hari.

1.4. Metode Penelitian

Penelitian pada skripsi ini bersifat studi kepustakaan, yaitu mengumpulkan informasi dan data, serta pengkajian kritis secara mendalam dari berbagai literatur, buku, catatan, majalah, jurnal, hasil penelitian sebelumnya yang relevan, serta referensi lainnya untuk mendapatkan landasan teori, jawaban pertanyaan penelitian, dan penarikan kesimpulan yang berkenaan dengan penerapan CVP pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning. Kegiatan dilakukan secara sistematis untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyimpulkan data dengan menggunakan metode/teknik tertentu guna mencari jawaban atas permasalahan yang dihadapi. Penulis memanfaatkan sumber kepustakaan untuk sumber data

penelitian tanpa melakukan penelitian lapangan, sehingga pembahasannya diulas secara kualitatif. Studi kepustakaan adalah pilihan yang tepat mengingat kondisi pandemi COVID-19 saat ini yang cukup membatasi ruang gerak dan waktu penelitian.

Prosedur studi kepustakaan yang penulis laksanakan mengacu pada Mirzaqon dan Purwoko (2017) dengan modifikasi sesuai kebutuhan penulis.



Gambar 1. Bagan alur penelitian

Pada tahap pemilihan topik dan eksplorasi informasi, penulis mengumpulkan referensi penelitian terdahulu terhadap Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning untuk menentukan topik penelitian penulis. Data yang dihimpun pada tahap ini yaitu hasil survei yang dilakukan oleh BPCB Sulsel dan skripsi. Dari data yang dikumpul kemudian melahirkan judul “*Computer-Vision Photogrammetry* sebagai Metode Perekaman Data Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae”.

Pada tahap penentuan fokus penelitian, penulis menyusun hipotesa dari pertanyaan penelitian. Hipotesa itu yang kemudian yang mengantar penulis menentukan batasan pengumpulan sumber data. Yang menjadi sumber data penelitian ini adalah buku, jurnal, laporan penelitian, skripsi, tesis, disertasi, situs

internet, dan referensi lainnya. Penulis membatasi sumber data dengan menyaring referensi yang terkait dengan topik yang telah dipilih saja.

Kemudian pada tahapan analisis data, Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis isi (*Content Analysis*). Dalam analisis ini dilakukan proses memilih, membandingkan, menggabungkan dan memilah sumber data berdasarkan isi sumber data. Dalam tahap ini pula penulis meresume sumber data untuk memperoleh informasi penting yang terdapat pada sumber data tersebut. Instrumen penelitian dalam penelitian ini adalah penulis dan daftar referensi untuk membantu penulis mengklasifikasi himpunan sumber data.

1.5. Komposisi Bab

Bab I, dengan judul Pendahuluan berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan dan manfaat penelitian ini dilakukan, dan metode penelitian dalam penyusunan skripsi ini.

Bab II berjudul Tinjauan Pustaka. Bab ini berisi pembahasan teori yang dijadikan landasan membangun skema penerapan metode CVP pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning.

Bab III, berjudul Deskripsi yang menguraikan deskripsi situs, dan objek situs yaitu bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning.

Bab IV berjudul Metode Perekaman yang berisi skema penerapan CVP pada Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning.

Bab V berjudul Penutup yang berisi kesimpulan penelitian dan rekomendasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Sejak dimulainya penelitian arkeologi bawah air, sebagian besar metode manual yang digunakan untuk mengumpulkan data primer mencakup deskripsi situs dan artefak, pengukuran langsung, penggambaran dengan skala, fotografi dan videografi, teknik *baseline*, *offset measurement*, *trilateration measurements*, penggambaran dengan *grid frame*, *right angle survey*, *radial survey* (Staniforth dan Nash, 2006; Green, 2004; Damme, 2015). Perekaman data dengan metode-metode ini dapat merekam data arkeologi secara dua dimensi dengan kelebihan yaitu mudah diaplikasikan dan biaya relatif rendah.

Dalam kurun waktu 10 tahun belakang ini, metode yang digunakan untuk mengumpulkan data primer pada situs arkeologi bawah air di Indonesia mencakup observasi, *radial survey*, *baseline*, fotografi bawah dan videografi bawah air. Sofian (2011) melakukan survei arkeologis di perairan Karang Kijang-Belitung dan mendapatkan temuan berupa keramik dengan motif flora yaitu naga dan kura-kura, keramik-keramik tersebut berbentuk mangkuk, buli-buli, guci, serta fragmen kapal. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data primer yaitu pengumpulan data melalui observasi di bawah air dengan menggunakan peralatan SCUBA dan fotografi bawah air.

Penelitian arkeologi bawah air yang bersifat eksploratif dilakukan oleh Shinatria Adhityatama dan Priyatno Hadi Sulistyarto (2015) pada Situs Pulau Buton di perairan Kepulauan Natuna dengan temuan yaitu keramik bergaya

Dinasti Qing, poci, dan fragmen kayu kapal. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data primer yaitu *radial*, *baseline*, fotografi dan videografi bawah air.

Pada tahun selanjutnya, Dwi Sumaiyyah Makmur (2016) melakukan penelitian pada situs kapal karam di Perairan Pulau Sagori Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa kapal karam di Perairan Pulau Sagori merupakan KPM Reijnst milik *N.V. Koninklijke Paketvaart Maatschappij, Batavia, Hindia Belanda* yang dibangun tahun 1890 oleh *Kon. Fabriek van Stoom & Andere Werktuigen, Amsterdam* dengan jenis kapal uap dan berfungsi sebagai kapal barang dan penumpang atau *Cargo passenger ship*. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data primer yaitu pengumpulan data melalui observasi di darat maupun di bawah air dengan menggunakan peralatan SCUBA, dan fotografi bawah air.

Pada tahun yang sama, Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan (BPCB Sulsel) (2016) melakukan survei di Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning di Perairan Pulau Lae-lae. Hasil penelitian mengungkap bahwa tinggalan tersebut merupakan bangkai pesawat tempur bekas perang dunia ke-II, Pesawat Lockheed P-38 Lightning yang berada di kedalaman sekitar 23-25 meter dengan *visibility* (jarak pandang) kurang lebih 3 meter. Metode yang digunakan untuk pengumpulan data primer pada situs ini yaitu perekaman data verbal, perekaman data topografi (batimetri), perekaman data dengan fotografi dan videografi, dan fotogrametri.

Dari keseluruhan penelitian yang sudah diuraikan, metode-metode yang dilakukan sudah membantu penelitian untuk mengumpulkan data primer. Namun di sisi lain, perekaman data secara manual tidak luput dari beberapa kelemahan yaitu tidak begitu akurat, memakan waktu, dan subyektivitas tinggi. Lebih jauh, metode-metode manual tersebut hanya menghasilkan representasi dua dimensi dari suatu situs, metode-metode tersebut tidak dapat membuat representasi tiga dimensi – kecuali fotogrametri yang dilakukan oleh BPCB Sulsel pada tahun 2016 - suatu situs secara detail (Damme, 2015; McCarthy & Jonathan, 2014).

Metode perekaman fotogrametri yang dilakukan oleh BPCB Sulsel pada tahun 2016 di Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning melahirkan pemodelan tiga dimensi situs, namun menyisakan beberapa kendala teknis yang berdampak pada akurasi data yang dihasilkan. Pemodelan tiga dimensi situs yang dihasilkan tidak memuat skala dan tidak terintegrasi dengan referensi geografis, sehingga informasi ukuran situs tidak dapat diketahui melalui pemodelan tersebut dan pemodelan yang dihasilkan mengambang pada bidang tridimensional yang tidak tentu. Tanpa sistem referensi geografis, pemodelan situs tidak dapat diekspor ke perangkat lunak pemetaan dengan posisi yang benar.

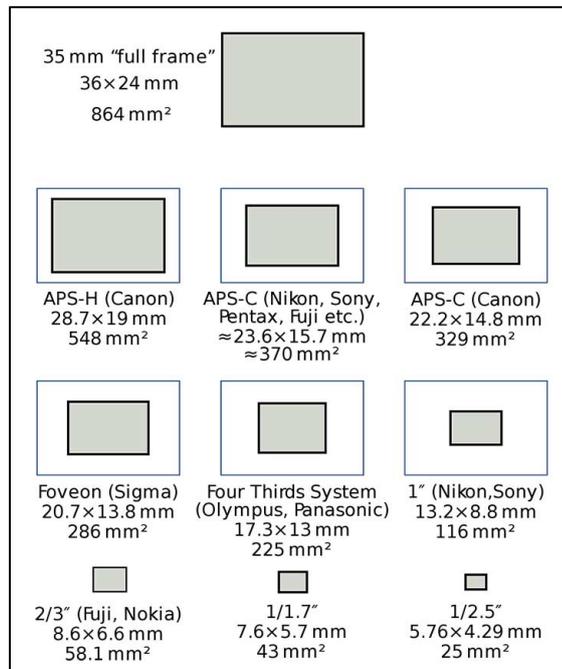
2.2. Fotografi

Fotografi merupakan alat visual efektif yang mampu memvisualisasikan suatu keadaan menjadi lebih konkret dan akurat. Suatu keadaan yang terjadi ditempat lain dapat dilihat oleh orang yang berada jauh dari tempat kejadian dan setelah kejadian tersebut berlalu melalui sebuah foto. Produk akhir dari fotografi adalah foto dan orang yang melakukan pengambilan gambar dengan teknik

fotografi disebut fotografer. Secara umum, fotografi adalah sebuah kegiatan atau proses menghasilkan suatu seni gambar/foto melalui media cahaya dengan alat yang disebut kamera dengan maksud dan tujuan tertentu.

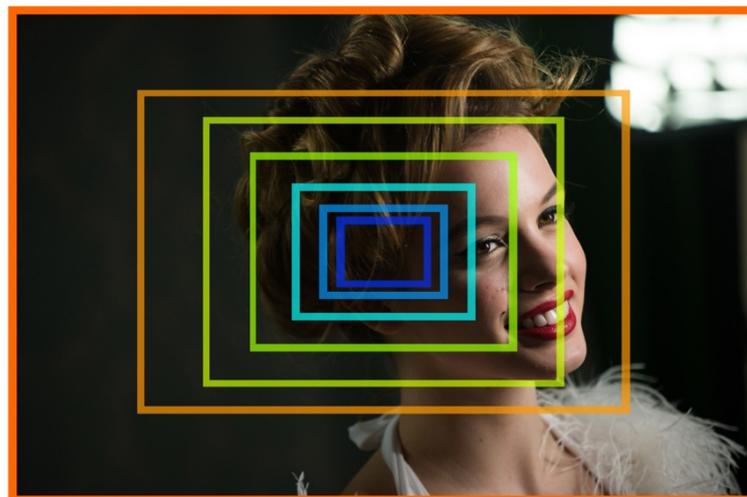
Anatomi kamera digital yang utama terdiri dari badan kamera dan lensa kamera. Di dalam badan kamera digital sendiri terdapat sensor, yaitu komponen yang bertugas untuk mengubah gambar yang ditangkap oleh lensa. Sensor tersebut terdiri dari berbagai sel yang tersusun membentuk persegi panjang. Tiap satu sel sensor merepresentasikan satu piksel, jadi banyaknya sel dalam satu sensor kamera menentukan besarnya gambar yang terekam.

Dalam memilih kamera, penting untuk memperhatikan sensor yang dimiliki suatu kamera. Ukuran sensor yang lebih besar pada umumnya mampu menghasilkan kualitas gambar yang lebih baik karena ukuran pixel lebih besar akan menghasilkan *noise* yang lebih sedikit. Ukuran sensor terbesar adalah *full frame* dengan ukuran 36mm x 24mm, sedangkan yang terkecil adalah 1/2,5" dengan ukuran 5,76mm x 4,29mm. Ukuran sensor juga berpengaruh terhadap luasan area yang ditangkap oleh kamera (Crisp, 2013).



Gambar 2. Ilustrasi perbandingan ukuran sensor kamera

Sumber: <https://studioantelope.com/mengupas-sensor-pada-kamera-dan-aneka-ragam-ukurannya/>



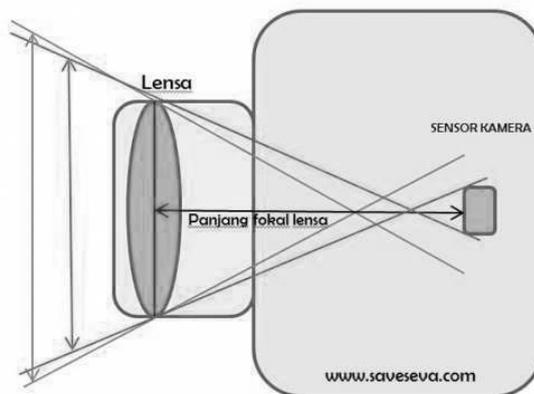
Full Frame APS-C MFT 4/3" 1" 2/3" 1/2.3" 1/3.2"

Gambar 3. Ilustrasi cakupan gambar pada ukuran sensor yang berbeda jika menggunakan lensa yang sama

Sumber: Crisp, 2013

Dalam memilih lensa, penting untuk memperhatikan panjang fokal. Fokal lensa secara sederhana adalah jarak dari lensa yang digunakan hingga ke sensor yang ada dalam badan kamera, semakin dekat jarak antara lensa dengan sensor,

maka sudut pandang yang bisa ditangkap lensa akan semakin besar. Fokal lensa pada lensa dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Semakin pendek fokal lensa maka semakin jauh jarak peristiwa dari lensa dan semakin luas peristiwa yang dapat dilihat oleh lensa, yang artinya lensa dengan fokal lensa 12mm dapat menangkap gambar 2 kali lebih lebar dibanding lensa dengan fokal lensa 24mm. Dengan begitu pemotretan dapat dilakukan lebih dekat ke objek namun tetap mempertahankan luas cakupan area yang ditangkap. Menjaga jarak pemotretan dekat dengan objek bertujuan untuk menangkap detail-detail objek agar hasil foto lebih akurat dan detail.

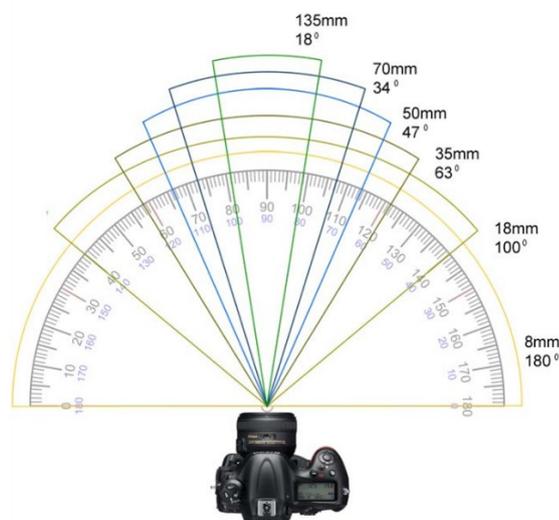


Gambar 4. Ilustrasi bagian-bagian kamera
Sumber: www.saveseva.com



Gambar 5. Ilustrasi perbandingan cakupan area pada tiap fokal lensa

Fokal lensa tertulis dalam satuan milimeter (mm) yang menunjukkan kemampuan cakupan sudut gambar lensa tersebut. Sebagai contoh, lensa dengan fokal lensa 18mm cakupan sudutnya 100 derajat (lebar), lensa dengan fokal lensa 135mm sudutnya 18 derajat (sempit). Namun pedoman tersebut berlaku untuk lensa yang dipasangkan dengan kamera sensor *full frame*. Sedangkan fokal lensa lensa khusus sensor yang lebih kecil (misalnya sensor APS-C), dibuat mengacu pada sudut gambar ekuivalen 35mm full frame. Sebagai contoh, lensa dengan fokal 18mm yang dibuat khusus untuk sensor APS-C, tetap akan mengalami *crop factor* sehingga sudut yang dibentuk akan setara dengan 28mm pada *full frame*. Untuk bisa merasakan sudut ekstra lebar seperti fokal lensa 15mm, maka pada kamera APS-C perlu dipasang lensa dengan fokal lensa 10mm. Untuk mengetahui ekuivalen fokal lensa APS-C dapat dihitung dengan mengalikan fokal lensa yang tertulis dengan 1,5 untuk Sony APS-C dan Nikon APS-C, 1,6 untuk Canon APS-C, dan 2 untuk Micro 4/3. Lebih lanjut, lihat tabel berikut (Mulyadi, 2015).



Gambar 6. Ilustrasi cakupan sudut tiap fokal lensa
Sumber: Mulyadi, 2015

Jenis Lensa	Full Frame (x1)	Canon APS-C (x1,6)	Sony, Nikon APS-C (x1,5)	Micro 4/4 (x2)
Ultra Wide	15	9	10	7
	16	10	11	8
	18	11	12	9
Wide	24	15	16	12
	28	17	18	14
	35	22	24	17,5
Normal	40	24	28	20
	50	30	35	25
Telefoto	85	50	55	42,5
	135	85	90	70
	150	100	105	75
	200	125	135	100
Super Telefoto	250	150	165	125
	300	185	200	150
	400	250	265	200
	500	300	350	250
	600	375	400	300

Tabel 1. Perbandingan ekuivalen focal lensa (dalam satuan mm)

2.2.1. Fotografi Lingkungan Bawah Air

Muncul di abad ke 19, fotografi menjadi salah satu metode perekaman data yang utama pada penelitian-penelitian arkeologi. Tujuan pemotretan/fotografi dalam penelitian arkeologi yaitu untuk mencatat atau merekam kegiatan dan hasil kegiatan dalam bentuk digital. Fotografi mampu menggambarkan objek arkeologi sesuai aslinya, baik itu dalam kesesuaian bentuk maupun warna. (Puslitbangarkenast, 2008). Dengan menggunakan *housing* anti air atau kamera anti air, fotografi untuk objek arkeologi yang berada di bawah air menjadi memungkinkan (Doorninck, 1967; Bass dan Doorninck, 1982; Green, 2004; Damme, 2015; Yamafune, 2016; McCarthy, *et al.*, 2019).

2.2.1.1. Tantangan Melakukan Fotografi di Bawah Air

Bekerja di bawah air membutuhkan pengalaman dan pengetahuan tentang berbagai faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi keberhasilan penelitian. Berbeda dengan lingkungan terestrial, melakukan fotografi di lingkungan bawah air menyisakan tantangan tersendiri yaitu pembiasan cahaya dan penyerapan cahaya (Damme, 2015; Yamafune, 2016; McAllister, 2018).

2.2.1.1.1. Pembiasan Cahaya

Pembiasan cahaya adalah peristiwa membeloknya berkas cahaya ketika cahaya melintas dari suatu medium ke medium lain yang kerapatan optiknya berbeda, misalnya dari udara ke air. Cahaya yang melalui bidang batas antara dua medium yang berbeda mengalami perubahan arah rambat. Peristiwa perubahan arah rambat cahaya pada batas dua medium berbeda tersebut pada dasarnya disebabkan adanya perbedaan kecepatan (v) rambat cahaya pada satu medium ke medium yang lain. Pada tahun 1621, Willbrord Snell melakukan eksperimen untuk mencari hubungan antara sudut datang dengan sudut bias (Damme, 2015; Diamanti, et al, 2011; Anshari, 2015; Sutadi, 2013). Hasil eksperimen tersebut dikenal dengan nama Hukum Snell kedua [2], yang berbunyi:

- a. Sinar datang, garis normal, dan sinar bias terletak pada satu bidang datar
- b. Perbandingan sinus sudut datang (i) dengan sinus sudut sinar bias (r) selalu konstan. Nilai konstanta dinamakan indeks bias (n).

Jika cahaya datang dari medium kurang rapat (indeks bias kecil), yaitu udara ke arah medium yang lebih rapat (indeks bias besar) yaitu air, maka arah rambat cahaya akan belok mendekati garis normal sehingga sudut datang (r) lebih

kecil dari sudut bias (i). Sedangkan jika cahaya datang dari medium rapat (indeks bias besar) ke medium kurang rapat (indeks bias kecil), maka arah rambat cahaya akan dibelokkan menjauhi garis normal, sehingga sudut datang (r) lebih besar dari sudut bias (i).

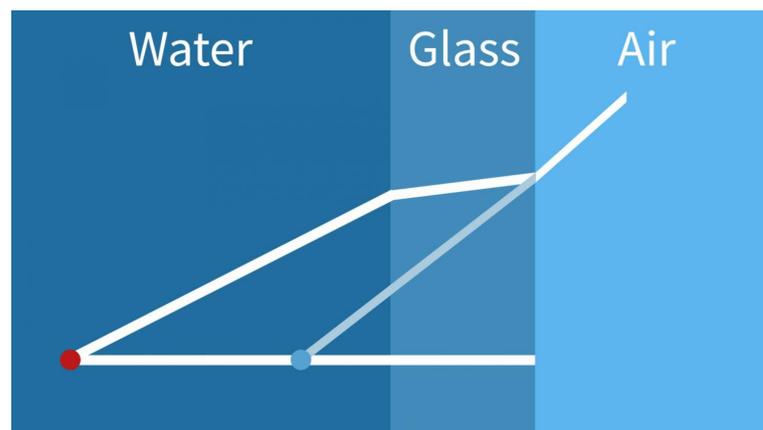


Gambar 7. Arah rambat sinar datang dan sinar bias pada dua medium dengan kerapatan optik yang berbeda
Sumber: www.ruangguru.com

Dalam fotografi bawah air, cahaya biasanya melintasi beberapa medium sebelum mencapai sensor kamera: melewati medium air, lalu ke *housing* dan terakhir ke lensa kamera. Medium yang berbeda ini memiliki indeks bias yang berbeda. Indeks bias air bervariasi tergantung pada tekanan, suhu dan salinitas. Akibatnya sulit untuk menentukan secara akurat parameter kalibrasi kamera bawah air, karena hal ini tergantung pada penggunaan *housing* serta pada lingkungan di mana kamera digunakan (Damme, 2015).

Pembiasan cahaya menyebabkan distorsi perspektif, seperti yang diilustrasikan oleh eksperimen 'pensil patah'. Fenomena ini juga terlihat saat menyelam, ketika cahaya membias dari air ke udara pada masker selam, objek di bawah air tampak lebih besar dan dekat dari yang sebenarnya. Begitu pula yang terjadi pada proses pemotretan di bawah air, cahaya merambat dari air ke udara yang ada pada lensa kamera (Damme, 2015; Yamafune 2016).

Nilai indeks bias pada lensa dengan permukaan datar adalah 1,33, menghasilkan objek yang terlihat dan 33% lebih besar daripada sebenarnya. Pembiasan pada lensa dengan permukaan datar juga menyebabkan panjang fokus kamera ditingkatkan sekitar 1/3%, yang menghasilkan foto 25% lebih dekat. Menggunakan lensa sudut lebar dan menambahkan *dome port* pada *housing* dapat meminimalkan distorsi optik. Hasil penggunaan lensa normal akan menjadi lensa telefoto di bawah air, sedangkan hasil penggunaan lensa sudut lebar akan menjadi normal di bawah air (Roll 2001: 21-22, Bass et al. 1967: 23). Penggunaan lensa sudut lebar juga yang memungkinkan penyelam memotret cakupan area lebih luas dari jarak lebih dekat. Bentuk *dome port* membelokkan pembiasan cahaya ke lensa secara tegak lurus menjadi sebagaimana mestinya, sehingga dapat meminimalkan pembiasan (Somerville, 2017; disertasi Yamafune).



Gambar 8. Ilustrasi pembiasan cahaya pada lensa permukaan datar di bawah air
Sumber: <https://oceanity.com.au/blog/view/understanding-flat-port-and-dome-port-theory>



Gambar 9. Ilustrasi pembiasan cahaya pada lensa dengan *dome port* di bawah air
 Sumber: <https://oceanity.com.au/blog/view/understanding-flat-port-and-dome-port-theory>

2.2.1.1.2. Absorpsi Cahaya

Absorpsi cahaya adalah peristiwa penyerapan cahaya oleh suatu bahan yang dilewati oleh cahaya tersebut. Saat cahaya bergerak melalui air, cahaya diserap secara bertahap. Penyerapan ini disebabkan oleh interaksi antara radiasi cahaya dan molekul H₂O. Absorpsi cahaya oleh medium air beserta komponennya merupakan bagian dari sifat optik perairan, dimana sifat optik ini dipengaruhi oleh medium air dan komponen air tersebut (Damme, 2015; Nababan et. al, 2015).

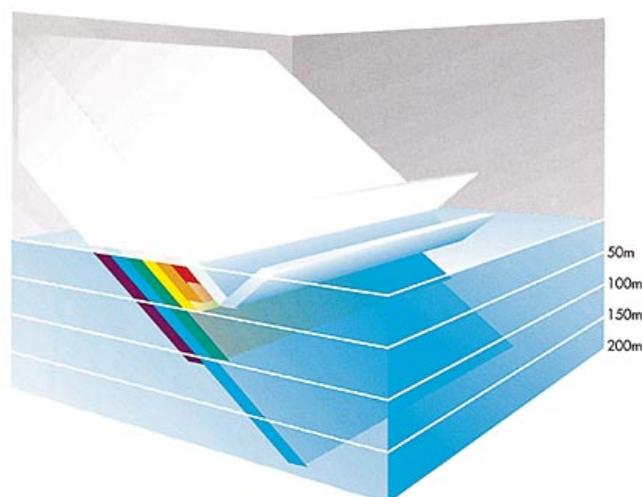
Spektrum warna merupakan bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata manusia. Gelombang elektromagnetik pada jarak ini sering disebut dengan spektrum cahaya tampak. Spektrum cahaya tampak memiliki jarak panjang gelombang dari sekitar 700 nanometer (nm) hingga 400 nm yang terdiri dari warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, ungu.

Warna	Panjang gelombang	Frekuensi	Energi foton
-------	-------------------	-----------	--------------

Ungu	380-450 nm	668-789 Thz	2,74-3,26 eV
Biru	450-495 nm	606-668 Thz	2,50-2,75 eV
Hijau	495-570 nm	526-606 Thz	2,17-2,50 eV
Kuning	570-590 nm	508-526 Thz	2,10-2,17 eV
Jingga	590-620 nm	484-508 Thz	2,00-2,10 eV
Merah	620-750 nm	400-484 Thz	1,62-2,00 eV

Tabel 2. Panjang gelombang tiap spektrum cahaya

Kepadatan air 600 kali lebih padat dibandingkan udara. Ketika gelombang cahaya melewati, gelombang cahaya tersebut akan tersaring dan terserap oleh air. setiap spektrum warna memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda. Semakin pendek gelombang warna tersebut maka semakin besar kekuatannya untuk menembus kedalaman. Saat kedalaman meningkat dan sinar matahari berkurang, warna pertama yaitu merah terserap setelah satu meter, kemudian diikuti oleh warna lain pada spektrum cahaya yang lebih hangat yaitu oranye, kuning, ungu dan hijau sampai akhirnya menyisakan cahaya yang terdiri dari spektrum gelombang pendek yaitu biru (McAllister, 2018)



Gambar 10. Ilustrasi proses penyerapan cahaya di bawah air
 Sumber: <https://firdausnuzula.wordpress.com/2013/04/18/cahaya-dalam-laut/>

Dalam praktek fotografi di bawah air, absorpsi cahaya di bawah air (khususnya pada kedalaman di bawah 10 meter) menghasilkan gambar dengan informasi objek yang tidak akurat. Hal ini tentu berpengaruh pada kualitas fotogrametri yang dihasilkan. Algoritma komputer akan kesulitan mendeteksi titik pada foto dengan kontras rendah untuk membangun model tiga dimensi. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan bantuan cahaya dari sumber cahaya buatan yaitu lampu strobo untuk memunculkan warna objek yang sebenarnya (Diamanti, 2013; McAllister, 2018; Yamafune, 2017, Skarlatos, 2012).

Namun sama halnya dengan cahaya matahari yang terserap di air, pada jarak tertentu hal ini berlaku pula pada penggunaan lampu strobo di bawah air. Misalnya, jika sebuah gambar diambil dengan lampu strobo pada jarak 5 m dari objek, cahaya dari lampu strobo harus menempuh jarak 10 m (ke objek dan memantul kembali) sebelum akhirnya mencapai sensor kamera agar informasi spektrum warna nampak di sensor kamera. Saat menerapkan cahaya buatan saat mengambil foto, keberadaan partikel dalam air menyebabkan adanya *backscatter* (hamburan balik). Oleh karena itu penting untuk memperhatikan jarak antara kamera dengan objek namun tetap mencakup area seluas mungkin. (Roll, 2001; McAllister, 2018; Damme, 2015; Skarlatos, 2012).



Gambar 11. Ilustrasi penyerapan cahaya dari lampu strobo di bawah air
 Sumber: www.uwphotographyguide.com

2.3. Fotogrametri

Fotogrametri terdiri dari dua kata yaitu “fotogram” dan “metri”. Dimana kata fotogram adalah *photograph* yang berarti dihasilkan oleh kamera, dan metri yang berarti ukuran (Sutopo, 2014: 12). Fotogrametri didefinisikan sebagai metode mengumpulkan informasi suatu objek dari pengukuran beberapa foto yang tumpang tindih (Damme, 2015; Mason, 2000). Lebih lanjut beberapa ahli mendefinisikan fotogrametri sebagai gabungan ilmu, seni, dan teknologi untuk mendapatkan informasi metrik dari foto yang tumpang tindih (Lillesand and Kiefer, 1994; ASP dalam Paine, 1987; Tao, 2002).

2.3.1. Sejarah dan Perkembangan Fotogrametri

Perkembangan fotogrametri bergantung pada perkembangan ilmu pengetahuan secara umum. Fase-fase utama perkembangan fotogrametri dipengaruhi oleh perkembangan fotografi, pesawat terbang, dan komputer. Secara umum, sejarah perkembangan fotogrametri terdiri dari empat fase berdasarkan pendekatannya yaitu *plane table photogrammetry*, *analog-stereo*

photogrammetry, analytical photogrammetry, dan digital photogrammetry (Fosfer & Halbstein, 2014:7; Konecny, 2014).

Fotogrametri pertama kali ditemukan oleh Nicépore Niépce dan Louis Daguerre pada 1839. Bentuk awal fotogrametri pada fase ini adalah metode manual untuk mengukur titik dan jarak individu dalam sebuah pemandangan, atau yang biasa disebut dengan *plane table photogrammetry* (fotogrametri tabel bidang). Teknik ini membutuhkan gambar dari ketinggian misalnya atap atau dengan menggunakan bantuan layang-layang atau balon. Teknik ini menggunakan prespektif linear dan persamaan matematika sederhana untuk membandingkan ketinggian yang diketahui dalam gambar, yang memungkinkan pengukuran jarak atau titik yang tidak diketahui dalam gambar. Setelah itu J.H. Lambert menyatakan bahwa asas perspektif dapat dimanfaatkan untuk membuat peta. Pembuatan peta dengan prinsip fotogrametri pada masa itu dibuktikan dengan keberhasilan Kolonel Aime4 Laussedat (Korps Ahli Teknik Angkatan Darat Perancis) pada tahun 1849, dan Kapten Deville (pimpinan surveyor Kanada) pada tahun 1886 dalam membuat peta topografi untuk kebutuhan militer (Schenk, 2005; McAllister, 2018; Hadi, 2007).

Generasi kedua, biasanya disebut sebagai *analog-stereo photogrammetry* (fotogrametri analog-stereo), dicirikan oleh penemuan stereofotogrametri oleh Pulfrich pada tahun 1901. Fotogrametri ini berkembang seiring dengan pemanfaatan pesawat dan kamera yang memiliki peran penting selama perang dunia pertama. Berbeda dengan pendekatan teodolit yang digunakan dalam *plane*

table photogrammetry (fotogrametri tabel bidang), *analog-stereo photogrammetry* didasarkan pada prinsip baru yaitu konsep paralaks (Damme, 2015).

Paralaks didefinisikan sebagai perubahan kedudukan sudut dari dua titik diam, yang diamati oleh seorang pengamat yang bergerak. Secara sederhana, paralaks merupakan pergeseran yang tampak dari suatu objek (titik 1) terhadap latar belakang (titik 2) yang disebabkan oleh perubahan posisi pengamat. Fenomena ini bisa dimanfaatkan untuk menentukan jarak antar satu titik dengan titik yang lain.

Ada beberapa perdebatan mengenai siapa orang pertama yang menerapkan konsep paralaks pada fotogrametri, yaitu fisikawan Jerman Carl Pulfrich dan peneliti Afrika Selatan Henry George Fourcade keduanya secara independen mengembangkan perangkat *analog-stereo photogrammetry* pada tahun 1901. Karena kesamaan mekanisme antar keduanya, perangkat tersebut secara kolektif disebut sebagai 'Stereokomparator Pulfrich-Fourcade' yang hasilnya menjadi landasan teknik pemetaan. Penerapan konsep paralaks pada fotogrametri ini juga diaplikasikan dengan menggunakan perangkat fotogrametri yang lebih baru yaitu stereoplotter yang pada awalnya digunakan untuk survei udara (Damme, 2015; Konecny, 2010; Schenk, 2005).

Tahap perkembangan fotogrametri selanjutnya yaitu *analytical photogrammetry* umumnya mengandalkan perangkat komputer untuk membantu kalkulasi dan akurasi dalam prosesnya. Ketersediaan perangkat komputer meningkatkan hasil pemrosesan fotogrametri digital. Dengan bantuan teknologi komputer, Uuno Vilho mematenkan plotter analitik pertama pada 1957. Proses

kerja plotter analitik adalah plot analitik masih menggunakan gambar analog, dan dioperasikan dengan cara yang sama seperti *stereoplotters* analog, namun perbedaan utamanya adalah titik-titik yang diidentifikasi dalam citra stereo yang tumpang tindih diproses oleh komputer untuk menghitung koordinat peta yang dihasilkan, yang kemudian secara otomatis digambar di atas kertas menggunakan motor servo yang dikendalikan computer. Kelebihan utama dari pendekatan ini adalah peningkatan akurasi berkat penyesuaian kuadrat terkecil dan alur kerja menjadi lebih otomatis (Schenk, 2005; Koenecny, 2010; Damme, 2015).

Fase terakhir yaitu *digital photogrammetry* dengan cepat muncul sebagai disiplin baru dalam fotogrametri. Semakin berkembang dan semakin mudahnya perangkat komputer didapatkan, proses digitalisasi dan otomatisasi semakin berkembang. Gambar pertama bumi yang dapat dibaca komputer yang dikirim dari orbit berasal dari Landsat pada tahun 1972. Begitupun dengan foto, pada tahun 1980-an dimulainya pemindaian film analog menjadi digital. Selain itu, banyak perangkat plotting fisik seperti *stereoplotters* digantikan oleh teknologi penginderaan jauh *Light and Range Detecting* (LIDAR) yang menggunakan laser dibandingkan menggunakan citra analisis stereo untuk memetakan informasi kedalaman dan jarak (Konecny, 2010; Schenk, 2005; Fosfer & David, 2014).

2.4. Computer Vision Photogrammetry Lingkungan Bawah Air

Sebelum abad 20, fotografi hanya mampu menghasilkan data dalam bentuk dua dimensi. Perkembangan komputer, aplikasi komputer, dan kamera membantu fotografi melampaui batas-batasnya. Perkembangan lebih lanjut bahkan memungkinkan fotografi menghasilkan data dari situs arkeologi bawah air

dalam bentuk tiga dimensi dengan menggunakan metode CVP (Suarez, et al., 2019).

Fotogrametri pertama kali digunakan untuk penelitian arkeologi bawah air pada tahun 1960 oleh Dr. George Bass dan Dr. Fredrick Van Dornick untuk ekspedisi bawah air Yassi Ada, Turki. Kamera dipasang pada rel dan diposisikan secara horizontal di dasar laut untuk menghasilkan peta lokasi dalam bentuk dua dimensi (Doorninck, 1982; Bass, 1972; Bass dan Doorninck, 1982).

‘Fotogrametri’ yang diterapkan pada ekspedisi bawah air Yassi Ada bukanlah sistem perekaman data yang menghasilkan model tiga dimensi suatu situs. Sejak tahun 1990-an dan 2000-an ‘fotogrametri’ berarti sebuah sistem yang menggunakan kamera kalibrasi untuk menghitung koordinat XYZ pada tiap-tiap foto suatu situs dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Photomodeler. Photomodeler dapat mengkalkulasikan informasi koordinat XYZ pada foto yang dihasilkan oleh kamera kalibrasi untuk membuat peta lokasi dari foto yang tumpang tindih (Green, 2004; Yamafune, 2017). Bagaimanapun, penerapan fotogrametri pada situs Yassi Ada enam puluh tahun yang lalu membuka potensi penggunaan fotogrametri pada situs-situs arkeologi bawah air hingga kita sampai pada fotogrametri dalam konteks masa kini.

Computer-vision adalah sub-disiplin ilmu komputer yang dirancang untuk membantu perangkat komputer dan robotik melihat dan memahami lingkungan sekitarnya. Pengaplikasian *computer-vision* dapat dilihat di kehidupan sehari-hari pada berbagai bidang seperti; pengawasan, pencitraan medis, pendeteksi wajah, pencocokan sidik jari, dan penyambungan foto (beberapa foto dari sebuah adegan

digabungkan untuk membuat pemandangan panorama adegan tersebut) (Damme, 2015; Szelski 2010).

Berkat algoritma *computer-vision*, berbagai perangkat lunak dirancang agar mampu mendeteksi titik-titik dalam gambar yang tumpang tindih secara otomatis untuk menyelaraskan gambar. Algoritma ini kemudian diadaptasi menjadi suatu pendekatan fotogrametri baru yang disebut dengan *computer-vision photogrammetry*. Istilah CVP mengacu pada satu prinsip kerja fotogrametri pada umumnya yaitu triangulasi, namun dengan menggunakan pendekatan komputer dalam melakukan perhitungan matematis untuk membuat representasi suatu objek.

Pada tahun 2010, Agisoft PhotoScan³ dirilis serta perangkat lunak CVP yang lain seperti Autodesk 123D Catch dan Photomodeler Scanner. Agisoft PhotoScan menjadi perangkat lunak CVP yang paling sering digunakan arkeolog karena kemudahannya dan fitur-fitur yang tidak dimiliki perangkat lunak serupa yang dapat menunjang penelitian-penelitian arkeologi. Rilisnya berbagai perangkat lunak tersebut kemudian mengubah arkeolog memandang istilah ‘fotogrametri’, hampir semua ‘fotogrametri’ yang dilakukan arkeolog mengacu pada suatu sistem yang menghasilkan model tiga dimensi suatu objek arkeologi.

2.5. Agisoft Metashape

Jumlah penelitian arkeologi terpublikasi yang menggunakan Agisoft PhotoScan mencerminkan popularitas program perangkat lunak untuk disiplin ini. Secara khusus, banyak artikel yang berfokus pada perangkat lunak ini untuk

³ Sebelumnya bernama ‘Agisoft PhotoScan’ kemudian berganti nama menjadi ‘Agisoft Metashape’ sejak 2019.

membangun model fotogrametri tiga dimensi suatu situs arkeologi (Demesticha et al. 2014; McCarthy 2014; McCarthy dan Benjamin 2014; Plets et al. 2012b; Verhoeven 2011 ; Damme, 2015; Yamafune 2016). Kombinasi fotogrametri multi-gambar dan *computer vision* memenuhi kebutuhan akan akuisisi data yang cepat dan implementasi algoritma yang memungkinkan para arkeolog mengekstrak data spasial tiga dimensi yang akurat, tanpa memerlukan spesialis ahli sebelumnya di bidang fotogrametri (Plets et al. 2012a : 887). Agisoft Metashape adalah program perangkat lunak lintas *platform* yang ramah pengguna yang memungkinkan arkeolog non-spesialis membangun model fotogrametri tiga dimensi di situs arkeologi.

Diiklankan sebagai 'perangkat lunak solusi pemodelan tiga dimensi berbasis gambar yang ditujukan untuk membuat konten tiga dimensi berkualitas profesional dari gambar diam' Agisoft PhotoScan awalnya dirilis pertengahan tahun 2010 oleh perusahaan perangkat lunak Agisoft LLC, yang berbasis di St. Petersburg, Florida, Amerika. Sejak saat itu perangkat lunak tersebut telah mengalami berbagai pembaruan hingga pada tahun 2019 berganti nama menjadi **Agisoft Metashape**.

Algoritma fotogrametri yang diadaptasi oleh perangkat lunak Agisoft Metashape memungkinkan arkeolog untuk membuat rekonstruksi tiga dimensi suatu situs atau artefak berdasarkan foto dua dimensi secara otomatis. Adapun langkah kerja Agisoft Metashape untuk membangun rekonstruksi tiga dimensi berdasarkan foto terbagi menjadi tiga tahapan yaitu pengambilan gambar, rekonstruksi, dan pascarekonstruksi (Agisoft LCC, 2021);

a. Pengambilan Gambar

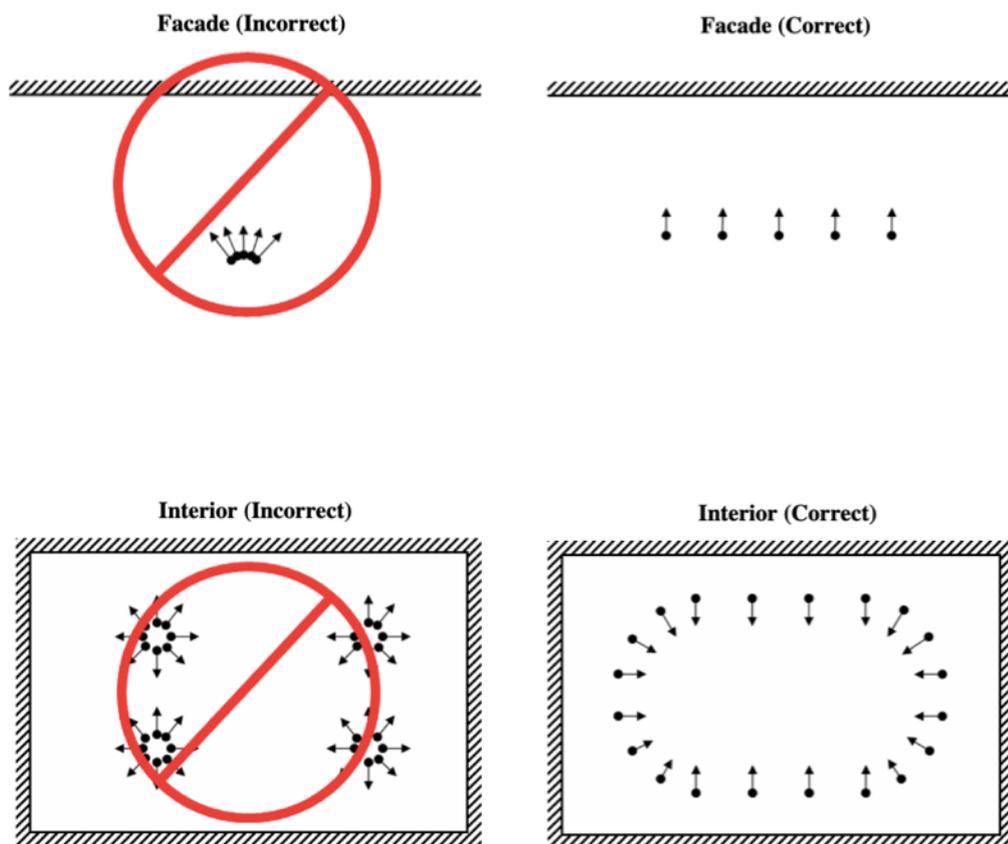
Foto yang sesuai untuk rekonstruksi model tiga dimensi di Metashape dapat diambil dengan kamera digital apa pun (baik metrik maupun non-metrik), selama mengikuti beberapa pedoman pengambilan yang spesifik. Pedoman tersebut mencakup rekomendasi spesifikasi kamera dan cara pengambilan gambar berdasarkan kondisi objek.

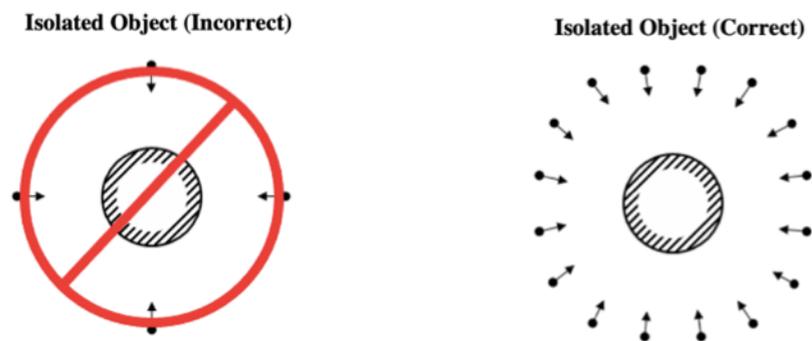
Kamera yang digunakan memiliki resolusi minimal 5MP dan gambar yang berurutan harus tumpang tindih sekitar 60-80% (untuk foto udara, persyaratan tumpang tindih yaitu 60% *side overlap* dan 80% *forward overlap*). Mengambil gambar dengan format RAW pada kamera yang kemudian dikonversi ke TIFF pada proses pemrosesan data lebih direkomendasikan karena data JPEG yang langsung dari kamera lebih berpotensi memiliki *noise* yang lebih banyak. Karena titik harus dideteksi dalam setiap gambar, gambar sebaiknya juga dibuat setajam mungkin (aperture tinggi), memiliki penerangan yang baik dan mengandung noise sedikit mungkin (ISO rendah). Selain itu, area yang sangat homogen dan tidak bertekstur (misalnya dinding putih sempurna) atau permukaan mengkilap harus dihindari karena perangkat lunak akan kesulitan mendeteksi fitur yang berbeda pada gambar tersebut.

Jika ingin model rekonstruksi yang dihasilkan memiliki ukuran yang presisi, disarankan untuk menempatkan dua penanda dengan jarak yang diketahui pada objek, penggaris ataupun skala batang dapat menjadi alternatif. Sedangkan untuk memenuhi informasi georeferensi, dibutuhkan *Ground Control Point* (GCP) yang disematkan pada permukaan objek atau lingkungan

objek (setidaknya 10 di seluruh area yang akan direkonstruksi) untuk mencapai hasil dengan kualitas terbaik, baik dalam hal ketepatan geometris dan akurasi georeferensi. Namun, AgisoftMetashape juga dapat menyelesaikan tugas rekonstruksi dan georeferensi tanpa GCP (Agisoft LCC, 2021).

Secara umum, ada tiga jenis kondisi objek yang dapat direkonstruksi, yaitu *facade*, *interior*, dan *isolated object*. Di bawah ini merupakan teknik pengambilan gambar berdasarkan kondisi objek tersebut.





Gambar 12. Teknik pengambilan gambar berdasarkan kondisi objek
 Sumber: Agisoft LCC, 2021

b. Rekonstruksi

Setelah gambar diunggah ke Metashape, gambar diproses mengikuti alur kerja fotogrametri *computer-vision*, yang diimplementasikan dalam empat langkah pemrosesan langsung: 1) *Align Photos*, 2) *Build Dense Cloud*, 3) *Bangun Mesh* dan 4) *Build Texture*. Pada proses ini, Agisoft (2021) menguraikan konfigurasi spesifikasi minimal dan rekomendasi spesifikasi komputer untuk menjalankan perangkat lunak Metashape.

a. Konfigurasi minimal:

- Windows 7 atau lebih baru (64 bit), Mac OS High Sierra atau lebih baru, Debian/Ubuntu dengan GLIBC 2.19+ (64 bit)
- Intel Core 2 Duo processor atau setara
- RAM 4 GB

b. Rekomendasi konfigurasi:

- Windows 7 SP 1 atau lebih baru (64 bit), Mac OS Mojave atau lebih baru, Debian/Ubuntu dengan GLIBC 2.19+ (64 bit)
- Intel Core i7 atau AMD Ryzen 7 processor

- Discrete NVIDIA atau AMD GPU
- RAM 32 GB

Untuk masing-masing dari empat langkah ini, pengaturan pemrosesan yang berbeda dapat dipilih untuk menyempurnakan prosedur pemrosesan dengan kebutuhan urutan gambar tertentu. Selain itu, pada setiap langkah pemrosesan utama, pengguna memiliki kesempatan untuk melakukan modifikasi tambahan untuk meningkatkan hasil akhir. Modifikasi ini termasuk masking gambar, menghapus titik yang salah, mengimpor posisi kamera dari file eksternal, mengatur kotak pembatas rekonstruksi, dan sebagainya. Setelah diproses, hasil tiga dimensi akhir kemudian dapat diekspor sebagai *point cloud*, *mesh* (bertekstur), model elevasi digital atau orthophoto. Sebagai alternatif, model tiga dimensi dapat diunggah ke platform online Sketchfab dan Verold.

c. Pascarekonstruksi

Tahapan ini merupakan tahapan lanjutan dimana model tiga dimensi yang telah dihasilkan dari perangkat lunak Metashape akan dimodifikasi sesuai kebutuhan. Langkah-langkah pada tahapan ini beragam bergantung pada tujuan pemodelan tiga dimensi serta dapat menggunakan perangkat lunak lain berbasis tiga dimensi seperti AutoCad, SketchUp, dan Adobe Acrobat Pro, serta perangkat lunak lain yang dapat memproses informasi spasial berbasis SIG seperti ArcGis, Quantum GIS, Google Earth, dan Global Mapper (Agisoft LLC, 2021)

BAB III

DESKRIPSI SITUS

3.1. Profil Wilayah

3.1.1. Letak Administratif dan Geografis

Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning terletak di Perairan Pulau Lae-lae. Secara administratif Pulau Lae-lae masuk dalam wilayah Kelurahan Lae-lae, Kecamatan Ujung Pandang, Kota Makassar. Secara astronomis Pulau Lae-lae terletak pada $05^{\circ}06'47,7''$ - $05^{\circ}08'20,70''$ LS dan $119^{\circ}23' 35,60''$ - $119^{\circ}24' 2,23''$ BT dengan luas area sekitar $0,22 \text{ km}^2$ (Tampubolon et al., 2017: 5).



Gambar 13. Lokasi Situs Pesawat Lockheed P-38 Lightning
Sumber: Google Earth 2019

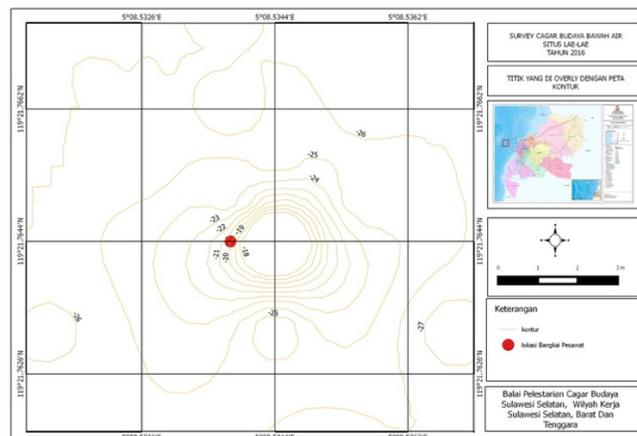
Pulau Lae Lae adalah sebuah pulau kecil yang termasuk dalam gugusan Kepulauan Spermonde Sulawesi Selatan. Pulau ini berjarak 1,25 km dari dermaga Kayu Bangkoa Makassar dan dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih 15 menit dari dermaga tersebut. Pulau Lae lae adalah pulau dengan kepadatan tinggi dimana $0,22 \text{ km}^2$ luas wilayahnya dihuni oleh 1.563 penduduk yang terdiri atas 793 laki-laki dan 790 perempuan dengan jumlah kepala keluarga (KK) adalah 431

orang dengan mata pencaharian penduduknya sebagian besar adalah nelayan (Radja, 2013).



Gambar 14. Pulau Lae-lae
Sumber: Google Earth, 2019

Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning terletak pada kedalaman 23-25 meter di bawah permukaan air laut. Penampang dasar perairan adalah dataran terdiri dari pasir dan lumpur, dengan kondisi minim cahaya. Kedua faktor ini menyebabkan jarak pandang menjadi pendek sekitar 1-5 m, terutama apabila ada pergerakan yang memicu teraduknya sedimen tersebut (Ikhsan, 2019; BPCB Sulsel 2016). Di bawah ini adalah peta batimetri perairan Situs Lockheed P-38 Lightning.



Gambar 15. Peta batimetri perairan lokasi Lockheed P-38 Lightning
Sumber: BPCB Sulsel 2016

3.1.2. Karakter Oseanografi Perairan Pulau Lae-lae

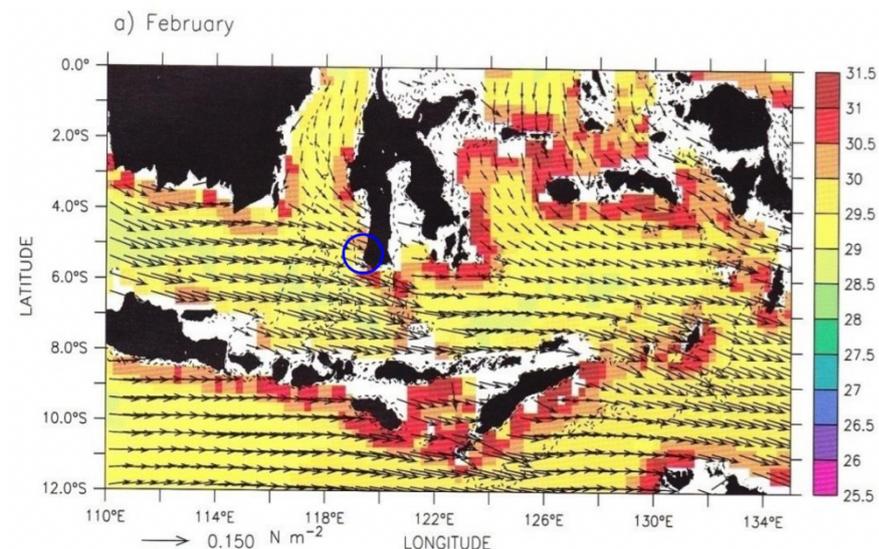
Perairan Spermonde merupakan perairan yang mengelilingi pulau-pulau Spermonde dengan dangkalan yang berada di sebelah barat daya Sulawesi Selatan, termasuk di dalamnya perairan Pulau Lae-lae. Perairan Pulau Lae-lae dengan karakter perairan yang dangkal dan dekat dengan daratan menyebabkan lingkungan perairan cenderung berfluktuatif.

Hoeksema (1900) membagi paparan Spermonde ke dalam tiga zona, yaitu:

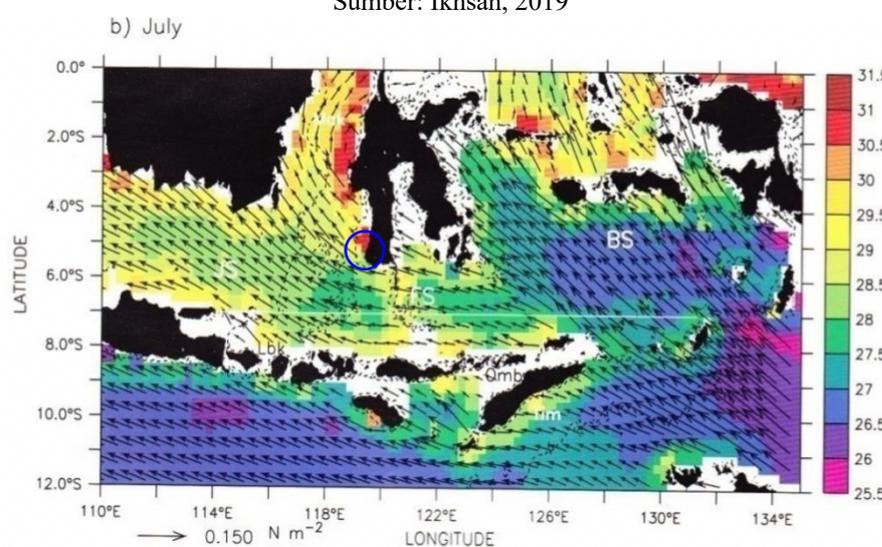
1. Zona pertama, yaitu zona bagian dalam yang merupakan perairan di sepanjang garis pantai dataran Makassar.
2. Zona kedua, yaitu zona tengah yang terdiri dari banyak pulau. Zona ini berjarak kurang lebih 5-12,5 km dari garis pantai Makassar dengan kedalaman perairan berkisar 30 meter atau lebih.
3. Zona ketiga, yaitu zona terluar yang banyak terdapat gusung yang menjafi *barrier reef* (terumbu penghalang), sejauh 30-50 km.

Sama seperti perairan Indonesia pada umumnya, kondisi oseanografi perairan Pulau Lae-lae dipengaruhi oleh pola angin muson, yaitu angin yang bertiup dari barat daya menuju timur laut dan sebaliknya dalam dalam satu periode. Berdasarkan arah hembusannya yang disebabkan oleh perbedaan tekanan udara yang terdapat di Benua Asia dan Australia, angin muson dibagi menjadi tiga periode yaitu musim barat, musim timur, dan musim peralihan. Pada musim barat, angin bertiup dari barat daya (Asia) ke arah timur laut (Australia) selama bulan Desember hingga Februari. Karena angin muson barat melalui Samudra Hindia, angin muson barat mengandung banyak uap air sehingga musim barat diikuti

dengan musim penghujan di Indonesia. Sedangkan musim timur angin bertiup dari arah sebaliknya yaitu dari arah timur laut ke arah barat daya selama bulan Juni hingga September. Angin tersebut melewati gurun yang luas di Australia sehingga bersifat kering atau kemarau. Oleh karena itu di Indonesia mengalami musim kemarau selama musim timur. Sedangkan musim peralihan terjadi pada Maret hingga Mei dan Oktober hingga November (Jalil 2013; Jalil et. al, 2020).



Gambar 16. Pola pergerakan angin musim barat
Sumber: Ikhsan, 2019



Gambar 17. Pola pergerakan angin musim timur
Sumber: Ikhsan, 2019

Pada parameter kecepatan arus, kecepatan arus rata-rata adalah 0,043 m/s. Kecepatan arus tertinggi sebesar 0,078 m/s sedangkan kecepatan arus terendah sebesar 0,01 m/s. Meskipun arus yang terdapat di perairan Pulau Lae-lae tidak terlalu besar, namun pada saat musim timur dan peralihan akhir cenderung lebih sesuai untuk melakukan penyelaman di Situs Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning daripada saat musim barat dan peralihan awal (Nugroho dan Kusnendar; Ikhsan, 2019).

Adapun parameter suhu pada Pulau Lae Lae berkisar antara 27 - 28⁰ C. Hal ini tentunya masih sesuai dengan standar suhu tropik di perairan yaitu 20- 33⁰ C. Dimana pengaruh suhu erat kaitannya dengan tingkat penetrasi cahaya pada suatu perairan. Karena semakin tinggi penetrasi cahaya maka semakin tinggi pula suhu pada suatu perairan.

3.2. Kondisi Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning

Bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning ditemukan pada kedalaman 23-25 m di bawah permukaan air laut (bergantung pasang surut air laut) dengan persentase keutuhan 70%. Pada awal penemuan, bangkai pesawat berada dalam kondisi terbungkus tali-tali tambang berukuran besar, dan jaring yang digantungi dengan besi-besi berbentuk pengait, serta ditutupi oleh berbagai macam sampah plastik. Beberapa bagian dari bangkai pesawat ada yang sudah tertanam ke dasar perairan.



Gambar 18. Kondisi bangkai pesawat saat ditemukan
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

Berdasarkan laporan survei BPCB Sulsel (2016) dan Ikhsan (2019), beberapa bagian badan pesawat yang dapat diidentifikasi antara lain:

1. Pipa pemanas kabin

Kondisi pipa pemanas kabin bangkai pesawat tempur Lockheed P-38 Lightning ini masih utuh terletak pada bagian atas sayap kiri. Posisi pipa tersebut tepat berada di tengah-tengah pipa pendingin *turbo-supercharger*⁴ dengan ukuran yang lebih panjang. Pipa pemanas kabin berguna untuk menyalurkan udara panas ke kabin agar suhu di kabin menjadi hangat.

⁴ Kompresor turbin yang bias menghisap udara luar lalu menekan udara tersebut dan memasukkan ke dalam saluran *intake manifold* mesin untuk menambah tenaga mesin.



Gambar 19. Kondisi pipa pemanas kabin
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

2. Pipa pendingin *turbo-supercharge*

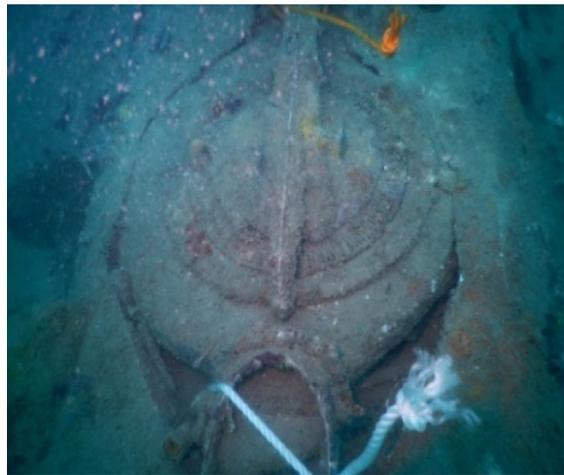
Kondisi pipa pendingin pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning masih utuh. Pipa pendingin ini berbentuk kecil dan terletak di samping kanan dan kiri pipa pemanas kabin. Pipa pendingin *turbo-supercharger* berfungsi untuk mendinginkan suhu yang terdapat pada *turbo-supercharger* ketika komponen tersebut bekerja.



Gambar 20. Pipa pendingin *turbo-supercharge*
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

3. Turbin pembuangan uap (*exhaust turbine*)

Turbin pembuangan atau *exhaust turbine* berbentuk seperti corong dan terletak pada sebelah kanan dan kiri masing-masing badan pesawat. Turbin pembuangan berfungsi untuk menyerap energi gas maupun uap dan membuangnya melalui lubang pembuangan yang terdapat di belakang turbin tersebut atau yang biasa disebut *exhaust waste gate outlet*.



Gambar 21. Turbin pembuangan uap (*exhaust turbine*)
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

4. Kokpit

Kokpit atau *flight deck* adalah sebuah ruangan khusus untuk pilot mengendalikan pesawat terbang. Kokpit terdiri dari *flight instrument* (instrumen penerbangan) dan *flight control* (kontrol penerbangan) yang memungkinkan pilot untuk mengendalikan pesawat. Kondisi kokpit pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning ini sudah tidak utuh, *flight instrument* dan *flight control* pada pesawat sudah tidak pada tempatnya, dan penutup atas atau kanopi yang juga berfungsi sebagai pintu kokpit pesawat ini sudah tidak ada. Penutup pada bagian belakang kokpit terdiri dari dua lapisan,

yaitu lapisan akrilik pada bagian dalam dan kaca pada bagian atas, beberapa



Gambar 22. Kondisi kokpit Lockheed P-38 Lightning
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

bagian pada lapisan kaca telah pecah tepatnya pada bagian atas kokpit.

5. Senapan mesin dan kanon

Pada bagian depan bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning terdapat senapan mesin kaliber 0,5 mm dan dan satu kanon kaliber 20 mm. Senapan mesin pada bangkai pesawat ini berupa laras yang dikelilingi lubang-lubang kecil pada seluruh sisinya.



Gambar 23. Laras senapan mesin
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

6. Magasin

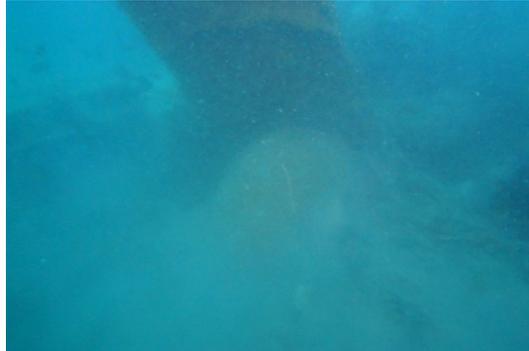
Magasin adalah alat penyimpanan dan pengisian amunisi yang menyatu atau dipasang pada senjata api. Fungsi dari magasin adalah mendorong peluru dari dalam magasin masuk ke dalam senjata api secara otomatis ataupun secara manual. Pesawat Lockheed P-38 Lightning memiliki empat magasin yang terletak pada bagian belakang senapan mesin yang masih lengkap dengan peluru berukuran 20 mm.



Gambar 24. Magasin bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

7. Roda pesawat

Pesawat Lockheed P-38 Lightning memiliki tiga roda yaitu satu roda yang terletak pada bagian tengah pesawat (*nose gear*) dan dua lainnya yang terletak pada masing-masing kiri dan kanan badan pesawat yang berfungsi sebagai penopang utama beban pesawat (*main landing gear*). Pada bangkai Pesawat Lockheed P-38 Lightning yang terlihat hanya satu buah roda saja yaitu roda sebelah kanan.



Gambar 25. Roda bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning
Sumber: BPCB Sulsel, 2016

8. Sayap

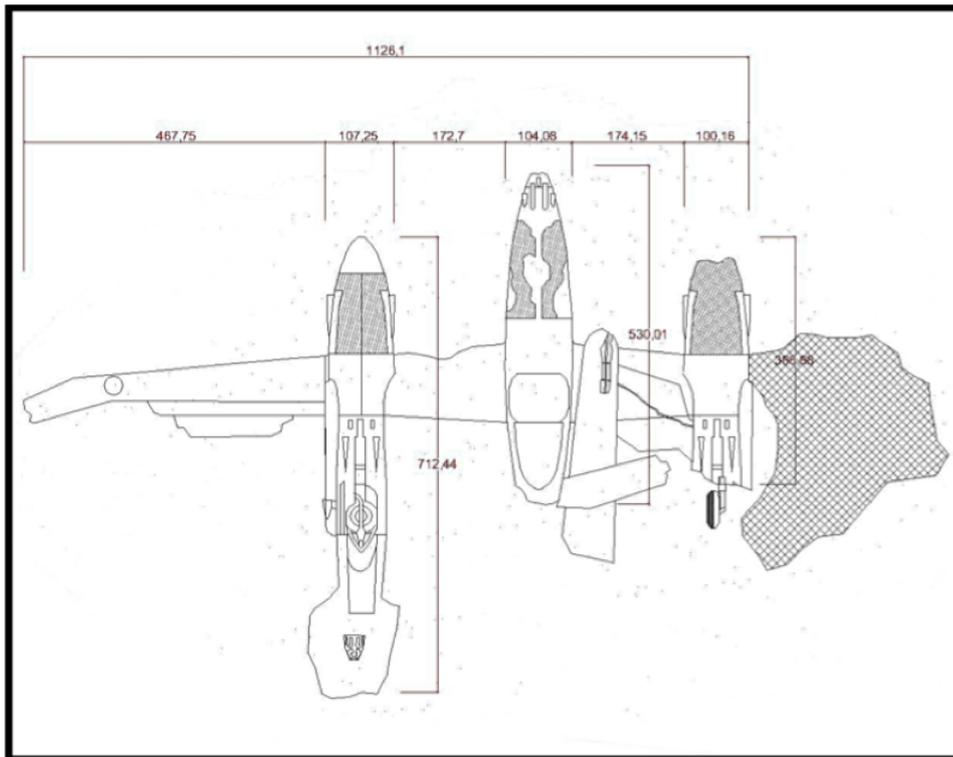
Sayap pesawat berfungsi sebagai penghasil gaya angkat sehingga pesawat tersebut dapat terangkat ke udara. Kondisi sayap pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning sudah tidak utuh, hanya sayap sisi kiri yang tersisa dengan kondisi telah keropos dan di beberapa bagian struktur penutup aileron atau pengendali pesawat hilang. Sedangkan sayap kanan telah hancur dan tertutup terumbu karang.

9. Radiator

Radiator pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning kondisinya sudah tidak utuh dan terpisah dari badan pesawat ketika ditemukan. Berdasarkan tulisan yang terdapat pada plat radiator tersebut tercantum informasi model pesawat, nama dan nomor bagian, jumlah bahan bakar, serta pabriknya.



Gambar 26. Radiator pada bangkai pesawat Lockheed P-38 Lightning



Gambar 27. Sketsa Situs Lockheed P-38 Lightning
Sumber: BPCB Sulsel, 2017