



Kajian Predasi

Telur Penyu Sisik Oleh Biawak di Ramsar Site Suaka Margasatwa Pulau Rambut 2026

Judul:

**Kajian Predasi Telur Penyu Sisik Oleh Biawak di *Ramsar Site* Suaka
Margasatwa Pulau Rambut**

Ketua Tim Penyusun:

Prof. Dr. Ir. Mirza D. Kusrini, Msi

Anggota Tim Penyusun:**Tim PPLH LRI-LPI IPB:**

Prof. Dr. Ani. Mardiasuti, M.Sc

Andi Anisya Anindya Asrijaya, S.Si

Risma Aprilianti, S.Hut

Luluk Dwi Wulan Handayani, S.P, M.Si

Vidya Nur Trissanti, S.Hut

Gilang Munggaran, S.Si, M.Si

Tim Environment PHE ONWJ:

Arif Rahman

Nurfitriya Rosa

LM Alfin Agushara Bena Ahmad

Salman

Tim BKSDA Jakarta:

M. Irfani, S.Hut., M.Si.

Dede Dicky Permadi, S.HI

Warsa Jaya

Marsul

Chokih Kosasih Hendra

Saputra

Desain Sampul:

Kintan Alifioni, S.Hut

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Riset Internasional-Lingkungan dan Perubahan
Iklim IPB (PPLH LRI-LPI IPB) – Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ) –
Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) Jakarta

Bogor – Indonesia

2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas Rahmat dan Karunia-Nya, Dokumen Kajian Predasi Telur Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricata*) oleh Biawak Air asia (*Varanus salvator*) sebagai upaya dalam meningkatkan penyelamatan jumlah telur penyu sisik dan penetasannya ini untuk mendukung Perjanjian Kerja sama Penguatan Fungsi Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Dukungan Program Konservasi penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) di *Ramsar Site* Suaka Margasatwa Pulau Rambut, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta dapat disusun dengan baik dan lancar.

Sebagai tindak lanjut telah disahkannya Rencana Pelaksanaan Program Perjanjian Kerja Sama antara Kepala Balai KSDA Jakarta dengan General manager Zona 5 PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ), dalam upaya Penguatan Fungsi Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Dukungan Program Konservasi penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) di *Ramsar Site* Suaka Margasatwa Pulau Rambut, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta, untuk kelancaran pelaksanaan kerja sama tersebut maka telah disusun kerangka acuan kerja berupa Rencana Kerja Tahunan (RKT) Tahun III (2025), dan salah satu program/kegiatan yang ingin dicapai adalah dukungan pengawetan flora dan fauna melalui dokumen kajian predasi telur penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) oleh biawak air asia (*Varanus salvator*) untuk mendapatkan data terkait jumlah populasi, kondisi dan pengelolaan habitat biawak (*Varanus salvator*) yang dapat menghasilkan rekomendasi ahli dalam pengendaliannya.

Dengan disusunnya dokumen kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan pertimbangan untuk tindak lanjut pengelolaan biawak di Suaka Margasatwa Pulau Rambut yang diharapkan dapat mendukung Perjanjian Kerja Sama Penguatan Fungsi Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Dukungan Program Konservasi Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricata*) di *Ramsar Site* Suaka Margasatwa Pulau Rambut, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta. Dengan demikian, maka proses pelaksanaan kerja sama dapat menjadi lebih baik, terukur, berkontribusi dalam penyelesaian masalah dan memberikan manfaat bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian dokumen laporan kajian predasi ini.

Jakarta, Maret 2026

PHE ONWJ

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
1. PENDAHULUAN	I - 1
1.1. Latar Belakang.....	I - 1
1.2. Tujuan	I - 2
2. METODOLOGI	II - 1
2.1. Estimasi Ukuran Populasi Biawak di Suaka Margasatwa Pulau Rambut	II - 1
2.2. Tumpang Tindih Antara Habitat Jelajah Biawak dengan Lokasi Sarang Penyu Sisik, serta Risiko Predasi Terhadap Sarang Penyu	II - 3
2.3. Pengembangan GPS tracker dan uji coba pemasangan GPS tracker pada habitat terkontrol	II - 4
2.3.1. Pengujian Alat	II - 7
3. HASIL DAN PEMBAHASAN	III - 1
3.1. Estimasi Ukuran Populasi Biawak	III - 1
3.2. Tumpang Tindih Antara Habitat Jelajah Biawak Dengan Lokasi Sarang Penyu Sisik, Serta Risiko Predasi Terhadap Sarang Penyu	III - 3
3.3. Efektivitas Alat GPS Tracker Untuk Biawak Air	III - 9
3.3.1. Pengembangan Alat	III - 10
3.3.2. Pemakaian Alat	III - 16
3.3.3. Pengujian Alat Tracking.....	III - 18
3.3.4. Hasil Uji Jaringan	III - 21
3.3.5. Pemasangan Alat.....	III - 24
4. PENUTUP	IV - 1
4.1. Kesimpulan.....	IV - 1
4.2. Rekomendasi.....	IV - 1
DAFTAR PUSTAKA	DP - 1

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jumlah perjumpaan <i>V. salvator</i> berdasarkan tipe habitat	III - 6
Tabel 3.2. Resiko predasi <i>Varanus salvator</i> terhadap sarang penyu sisik berdasarkan tumpang susun antara kelas kepadatan biawak dan jumlah sarang penyu sisik	III - 7
Tabel 3.3. Tabel Perbandingan Ublox M6 dan M10	III - 14
Tabel 3.4. Hasil pengujian lapangan.....	III - 19
Tabel 3.5. Kondisi teknologi jaringan di Pulau Rambut	III - 22
Tabel 3.6. Hasil pengukuran dari aplikasi OpenSignal	III - 2
Tabel 3.7. BandWidth masing-masing operator	III - 23
Tabel 3.8. Rekomendasi penggunaan provider	III - 24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokasi penelitian di Suaka Margasatwa Pulau Rambut, yang berada di kawasan pesisir DKI Jakarta	II - 1
Gambar 2.2. Penentuan jalur strip transect untuk inventarisasi biawak air Asia pada tutupan lahan Suaka Margasatwa Pulau Rambut, yang diilustrasikan tumpang tindih antara jalur Gumilang et al. (2018) dengan grid sensus penelitian	II - 2
Gambar 2.3. Pemasangan kamera jebak di SM Pulau Rambut (atas), biawak yang tertangkap kamera jebak (bawah)	II - 4
Gambar 2.4. Tes Akurasi GPS	II - 5
Gambar 2.5. Uji Coba Jarak LoRa	II - 6
Gambar 2.6. Pemasangan transmitter pada kura-kura Sulawesi (<i>Leucocephalon yuwonoi</i>) ...	II - 7
Gambar 2.7. Kandang terkontrol pada uji coba ke-1	II - 8
Gambar 3.1. Estimasi kepadatan populasi (individu/ha) dan populasi <i>V. salvator</i> di Pulau Rambut dari 2001-2025 (sumber data dari Gumilang (2001), 2003 dan 2018 berasal dari data internal BKSDA Jakarta)	III - 1
Gambar 3.2. Struktur kelas umur pada <i>V. salvator</i> di Pulau Rambut (Angka di dalam balok menunjukkan jumlah individu)	III - 3
Gambar 3.3. Distribusi <i>V. salvator</i> di Pulau Rambut	III - 4
Gambar 3.4. Peta tumpang susun antara lokasi penemuan sarang penyu sisik dan perjumpaan biawak air asia (semakin gelap warna menunjukkan peningkatan perjumpaan biawak)	III - 6
Gambar 3.5. Alur Komunikasi Data	III - 10
Gambar 3.6. Prototype I	III - 11
Gambar 3.7. Prototype II	III - 11
Gambar 3.8. Karakteristik untuk masing-masing u-blox M6 dan u-blox M7	III - 12
Gambar 3.9. Tampilan Data Tersimpan di Google Drive	III - 13
Gambar 3.10. Prototype IV	III - 14
Gambar 3.11. Prototype Final	III - 15
Gambar 3.12. Prototype GPS Tracker Final & Harness	III - 15
Gambar 3.13. Perbandingan Spreading Factor, ToA dan Sensitivitas.....	III - 16
Gambar 3.14. Grafik Tes Penggunaan Daya LoRa Pada Beberapa Mode Operasi	III - 17
Gambar 3.15. Harness H tipis untuk kucing (kiri, tengah); harness H ukuran sedang berwarna merah (kanan)	III - 24
Gambar 3.16. Harness baru dengan bahan yang lebih tebal	III - 25
Gambar 3.17. Pemasangan alat dengan tambahan velcro	III - 25
Gambar 3.18. Harness hasil modifikasi	III - 26



01

Pendahuluan

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kajian mengenai predasi telur penyu sisik (*E. imbricata*) oleh biawak air asia (*V. salvator*) di Suaka Margasatwa Pulau Rambut merupakan bentuk implementasi dari Rencana Kerja Tahunan (RKT) Tahun ke-III (2025). Kegiatan kajian telah tercantum pada RKT dalam Program kegiatan yang berjudul Dukungan Pengawetan Flora dan Fauna. RKT tersebut mengacu pada Rencana Pelaksanaan Program (RPP) yang disusun berdasarkan adanya Perjanjian Kerja Sama (PKS) antara Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ) dan Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) Jakarta yang tertuang dalam surat perjanjian Nomor: PKS.01/K.13/TU/EVLAPKERHUM/07/2023 dan Nomor: 0506/PEP60000/2023-S0 tentang Kerjasama Penguatan Fungsi Konservasi Keanekaragaman Hayati Melalui Dukungan Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricata*) di Ramsar Site Suaka Margasatwa Pulau Rambut (SMPR), Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta.

PKS merupakan salah satu wujud kepedulian terhadap keberlangsungan dan keberlanjutan sumber daya alam. Kerja sama tersebut merupakan program yang dilakukan secara bersama-sama dan sinergis atas dasar kesepahaman dan kesepakatan oleh para pihak, sesuai dengan amanat Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam (KSA) dan Kawasan Pelestarian Alam (KPA) yang menyatakan bahwa penyelenggaraan KSA dan KPA dapat dikerjasamakan. Pelaksanaan kerja sama berlandaskan pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.85/Menhut-II/2014 tentang Tata Cara Kerjasama Penyelenggaraan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.44/MENLHK/SETJEN/KUM.1/6/2017 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.85/Menhut-II/2014 tentang Tata Cara Kerjasama Penyelenggaraan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam.

SMPR terletak di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta dengan luas daratan dan lautan masing-masing 45 ha yang merupakan habitat bersarang berbagai jenis burung. Kawasan konservasi ini menjadi stasiun transit bagi burung-burung migran dari belahan bumi utara ke belahan bumi selatan seperti di Australia dan sebaliknya (Ramsar 2011). Pulau ini memiliki tiga jenis ekosistem hutan yang berbeda yaitu hutan dataran rendah, hutan pesisir, dan hutan mangrove (Firdausy et al. 2021). Tumbuhan/pepohonan yang terdapat di kawasan ini merupakan tempat bersarangnya berbagai jenis burung, sehingga dikenal sebagai surga burung (BKSDA 2015).

Selain dikenal sebagai habitat bagi berbagai jenis burung air, SMPR juga menjadi salah satu lokasi penting penyebaran penyu sisik. Penyu sisik (*E. imbricata*) merupakan salah satu dari enam jenis penyu yang menyebar di seluruh perairan Indonesia. Seperti juga jenis penyu lainnya, sebagian besar siklus hidup penyu sisik berada di laut. Hanya penyu betina yang akan ke darat untuk bertelur. Setelah menetas, tukik akan kembali ke laut. Sebagian besar induk penyu akan kembali ke pantai peneluran yang pernah disinggahinya untuk bersarang, sementara anakan betina yang ditetaskan pada lokasi tertentu akan kembali untuk bertelur di tempat dimana penyu menetas (Bowen dan Karl 2007; Brothers dan Lohmann 2015).

Umumnya, penyu sisik menyukai pantai peneluran yang berpasir, sepi, tidak ada sumber bising, jauh dari keramaian manusia dan cahaya. Musim bertelur penyu sisik dimulai dari bulan Januari sampai bulan Agustus. Penyu sisik juga cenderung menyukai pantai peneluran dengan ukuran pantai yang sempit, luas, landai dan bervegetasi (Atuany et al. 2020). Penyu sisik di Indonesia mengalami berbagai ancaman seperti pengambilan telur oleh manusia dan penggunaan karapas untuk perhiasan (Hemelikova et al. 2021; Fatianisa dan Zuhra 2025). Turunnya populasi penyu sisik di Indonesia antara lain terlihat dari penelitian di pantai peneluran di Paloh, Kalimantan Timur (Jakaria et al. 2025).

Status keterancaman penyu sisik saat ini masuk dalam kategori kritis atau *Critically Endangered* berdasarkan daftar merah IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) (Mortimer dan Donnely 2008). Status ini disematkan para peneliti karena populasi penyu sisik secara global yang semakin berkurang akibat berbagai ancaman oleh manusia (pemanenan telur dan karapas), hilangnya habitat bertelur, pencemaran serta pemanasan global. Selain itu, penyu sisik merupakan salah satu spesies yang dilindungi menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.106/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2018 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor P.20/Menlhk/Setjen/Kum.1/6/2018 tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang Dilindungi.

Salah satu masalah dari peneluran penyu sisik adalah keberadaan predator. Beberapa lokasi di Indonesia, dilakukan upaya pemindahan telur penyu untuk melindungi telur dari predator alami maupun manusia, selain untuk memudahkan pengawasan (Firliansyah et al. 2017; Hemelikova et al. 2021; Ubaydillah et al. 2023; Jakaria et al. 2025). Sejak tahun 2018, BKSDA Jakarta secara intensif melaksanakan upaya konservasi penyu sisik, antara lain melalui pembersihan area pantai yang menjadi lokasi peneluran serta peningkatan upaya penyelamatan telur penyu dari ancaman predator. Predator utama telur penyu sisik di SMPR adalah biawak (*Varanus salvator*), yang diketahui sebagai predator oportunistik yang aktif memangsa telur dan tukik penyu.

Selain biawak, ancaman lain juga berasal dari burung pantai, tikus, dan ular yang secara langsung mengganggu keberhasilan reproduksi penyu sisik. Data dari tahun 2018 hingga 2023 mencatat adanya 46 sarang penyu yang ditemukan, dengan 32 sarang diantaranya telah rusak atau dimakan oleh biawak, dan hanya 14 sarang yang berhasil diselamatkan. Beberapa studi sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Gumilang (2003) serta pemantauan dari Balai KSDA Jakarta pada tahun 2003 dan 2018, mengindikasikan bahwa populasi biawak di SMPR cenderung berlebihan. Hal ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk mengkaji tidak hanya jumlah populasi, tetapi juga aspek ekologi secara lebih mendalam, khususnya terkait pola pergerakan dan penggunaan ruang. Kajian ini penting untuk menyusun strategi pengelolaan dan pengendalian populasi biawak berbasis data ilmiah.

Oleh karena itu, pelaksanaan kajian predasi telur penyu sisik (*E. imbricata*) oleh biawak air asia (*V. salvator*) menjadi penting sebagai langkah untuk meminimalkan ancaman predasi terhadap telur penyu sisik, sekaligus tetap memperhatikan keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem di kawasan konservasi SMPR.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji aspek ekologi biawak (*V. salvator*) di SMPR, khususnya yang berkaitan dengan estimasi populasi dan pola pergerakan spasial. Secara spesifik, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menaksir ukuran populasi biawak air asia di SMPR melalui metode survei lapangan yang terstandar.
2. Mengidentifikasi potensi tumpang tindih antara habitat jelajah biawak dengan lokasi sarang penyu sisik, serta mengevaluasi tingkat risiko predasi terhadap telur dan tukik penyu.
3. Mengembangkan GPS tracker dan uji coba pemasangan GPS tracker pada habitat terkontrol

Berdasarkan dari hasil penelitian ini, akan dibuat rekomendasi berbasis ilmiah untuk pengelolaan populasi biawak guna mendukung upaya konservasi spesies lain yang rentan, khususnya penyu sisik.



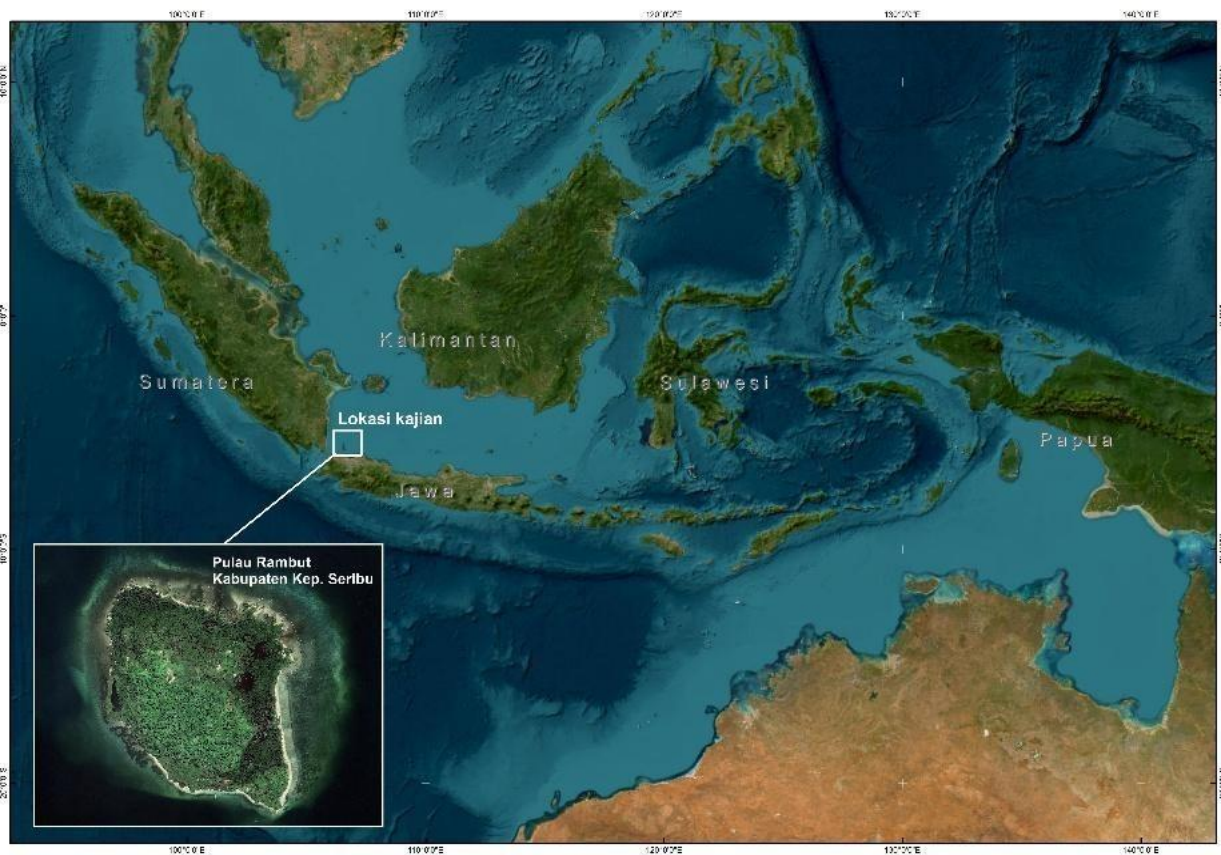
02

Metodologi

II. METODOLOGI

2.1 Estimasi Ukuran Populasi Biawak di Suaka Margasatwa Pulau Rambut

Penelitian dilakukan di Suaka Margasatwa Pulau Rambut (Gambar 2.1). Secara geografis area kajian berada pada koordinat $106^{\circ} 41,355' \text{ E}$ - $106^{\circ} 41,729' \text{ E}$ dan $5^{\circ} 58,225' \text{ S}$ - $5^{\circ} 58,706' \text{ S}$. Pengukuran populasi dilakukan dengan menggunakan metode *Visual Encounter Survey* (VES) pada grid yang ditentukan. VES merupakan metode pengamatan lapangan di mana peneliti melakukan eksplorasi sistematis pada area atau habitat tertentu dalam periode waktu yang telah ditentukan untuk mengidentifikasi keberadaan fauna target dengan intensitas survei diukur dalam satuan orang-jam (Foster 2012). Hasil observasi lapangan di Pulau Rambut menunjukkan bahwa biawak air Asia menampilkan pola aktivitas dominan diurnal sehingga waktu pengamatan akan dilakukan pagi dimulai dari pukul 07.30-11.30 WIB dan siang hari pada pukul 13.00-18.00 WIB.



Gambar 2.1. Lokasi penelitian di Suaka Margasatwa Pulau Rambut, yang berada di kawasan pesisir DKI Jakarta.

Pencarian dilakukan berjalan kaki secara aktif dalam setiap *grid* pada pagi hingga sore hari di hutan sekunder, mangrove primer dan mangrove sekunder. Pencarian juga akan dilakukan di bawah penutup alami (seperti batu-batuan, permukaan atau lubang pada tanah, kayu yang memiliki lubang/yang telah tumbang, dahan-dahan pohon/daun) dan buatan manusia (seperti timbunan sampah). Area-area ini sering menjadi tempat berlindung dan mencari makan bagi reptil biawak air Asia. Penghitungan satwa dilakukan di seluruh *grid* pengamatan secara serentak dan berulang sesuai dengan durasi waktu penelitian, sehingga banyaknya pengulangan akan berkontribusi terhadap validitas dan reliabilitas data yang diperoleh.

Dalam protokol penelitian ini, inventarisasi dilaksanakan menggunakan *strip transect* pada jalur yang telah ditetapkan oleh Gumilang *et al.* (2003) yang berpotensi beririsan di dalam grid penelitian. Sehingga *grid-grid* yang bersinggungan dengan jalur *strip transect* yang telah diperoleh Gumilang *et al.* (2003) akan menjadi objek perbandingan dengan data sampel grid dari sensus penelitian saat ini (di tahun 2025). Seluruh hasil sensus dari keseluruhan grid selanjutnya akan dimanfaatkan untuk menentukan distribusi dan perkiraan kepadatan relatif dari biawak air Asia. Jalur yang telah dibuat berjumlah empat buah dengan panjang 500 meter dan lebar masing-masing kiri dan kanan yaitu 10 meter. Ditempatkan mengelilingi pulau Rambut. Penempatan jalur tersebut ditentukan sebagai berikut (Gambar 2.2):

- Jalur 1: ditempatkan di bagian barat pulau, lokasi yang dilewati jalur tersebut meliputi mangrove sekunder, hutan sekunder dan mangrove primer.
- Jalur 2: ditempatkan di bagian utara pulau, lokasi yang dilewati jalur tersebut adalah mangrove primer dan mangrove sekunder
- Jalur 3: ditempatkan di bagian tengah pulau, lokasi yang dilewati jalur tersebut adalah hutan campuran dan mangrove sekunder
- Jalur 4: ditempatkan di bagian timur pulau, lokasi yang dilewati jalur tersebut adalah mangrove sekunder, pantai dangkal dan mangrove primer.



Gambar 2.2. Penentuan jalur strip transect untuk inventarisasi biawak air Asia pada tutupan lahan Suaka Margasatwa Pulau Rambut, yang diilustrasikan tumpang tindih antara jalur Gumilang *et al.* (2018) dengan grid sensus penelitian.

Untuk mengetahui struktur usia dominan dari *V. salvator*, ditentukan dari ukuran panjang tubuh biawak yang ditemui langsung di lapangan. Pengukuran panjang tubuh dilakukan melalui fotografi tanpa perlu menangkap hewannya. Setiap individu difoto sebanyak tiga kali dengan jarak dan ketinggian kamera yang sama antara pengamat ke objek, agar data yang diperoleh dapat dirataratakan. Gambar akan dianalisis menggunakan aplikasi pengukuran seperti *ARuler* atau *AR Ruler 3D* dengan

satuan pengukuran panjang yaitu centimeter. Opsi lain dapat juga dilakukan dengan menggunakan skala referensi, misalnya pengambilan foto biawak air Asia yang berada di atas kayu atau diantara mangrove, akan menggunakan panjang kayu atau jarak antara mangrove tersebut sebagai acuan pengukuran dalam memperkirakan panjang tubuh. Untuk menghindari kemungkinan penghitungan berulang (*double counting*) karakteristik individu seperti pola dan corak warna, perkiraan panjang dan bekas luka pada ekor akan dicatat (Traeholt 1997) dan diberi kode pada keterangan foto.

Dalam menentukan kelas umur, Bennett (1995) mengklasifikasikan biawak air Asia ke dalam dua kategori yaitu kelas muda (panjang tubuh < 130 cm) dan dewasa (panjang tubuh $\geq$ 130 cm). Sedangkan menurut (Traeholt 1997) ukuran biawak air Asia dibagi menjadi kategori remaja/tukik (panjang total < 100 cm) dan dewasa (panjang total >100 cm).

2.2 Tumpang Tindih Antara Habitat Jelajah Biawak dengan Lokasi Sarang Penyu Sisik, serta Risiko Predasi Terhadap Sarang Penyu

Untuk menggambarkan area tumpang susun antara habitat bersarang penyu sisik dengan area jelajah biawak dilakukan analisis spasial. Pengolahan peta diawali dengan pengumpulan data spasial. Data spasial yang terhimpun antara lain, Raster resolusi tinggi (SAS Planet), sebaran titik sarang penyu sisik (Data BKSDA DKI Jakarta), dan sebaran titik biawak berdasarkan temuan di lapang. Raster resolusi tinggi merupakan data terbuka yang diunduh dari Google earth, sedangkan data BKSDA DKI Jakarta merupakan data monitoring sarang penyu sisik tahunan berjumlah 29 sarang, dan sebaran titik biawak merupakan hasil perjumpaan langsung dan tidak langsung pada kajian tahun 2024 berjumlah 361 perjumpaan.

Tahap pertama yang dilakukan adalah membuat peta sebaran kepadatan dari perjumpaan biawak. Metode Kernel density digunakan untuk menggambarkan area mana saja yang memiliki kepadatan tinggi dari titik sebaran biawak. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut dilakukan pengkelasan sebanyak 5 kelas, dengan rincian kelas 1 (0-1 perjumpaan), kelas 2 (1-3), kelas 3 (3-7), kelas 4 (7-10), kelas 5 (>10). Kemudian, peta kepadatan biawak tersebut ditumpang susun dengan titik sarang penyu sisik.

Untuk mengetahui resiko predasi biawak terhadap sarang penyu dilakukan pemasangan kamera trap atau camera trap pada lokasi yang biasa digunakan indukan penyu untuk bersarang. Setidaknya terdapat empat lokasi yang dipasang kamera jebak. Pemasangan kamera jebak dilakukan selama sembilan hari yaitu dari tanggal 11 – 19 Oktober 2025. Kamera jebak yang digunakan adalah Bushnell dengan tipe 119739 (12 MP). Semua kamera jebak dioperasikan aktif 24 jam dengan mode foto dan video. Setiap kali sensor aktif menangkap gerakan, akan otomatis mengambil 3x foto pada 1 detik. Data pada detik yang sama dianggap sebagai satu data.

Pemasangan kamera jebak di tiap titik lokasi diawali dengan mencari sudut yang memungkinkan penangkapan gambar dari pasir sampai permukaan air. Pemasangan dilakukan pada pohon di sekitar pasir peneluran dengan menggunakan tali sabuk. Ketinggian titik pemasangan kamera jebak berkisar 1 - 1,5 meter dari permukaan pasir. Setelah mendapatkan titik yang sesuai dan kamera jebak terpasang, dilakukan pembersihan rumput atau ilalang di depan area tangkapan. Berikut gambar kamera jebak yang sudah dipasang beserta gambar biawak yang tertangkap kamera jebak (Gambar 3). Data yang telah diperoleh dikelompokkan menjadi satu tally sheet dalam Microsoft excel.



Gambar 2.3. Pemasangan kamera jebak di SM Pulau Rambut (atas), biawak yang tertangkap kamera jebak (bawah).

2.3 Pengembangan GPS *tracker* dan Uji Coba Pemasangan GPS *Tracker* Pada Habitat Terkontrol

Pengembangan dan pengujian GPS tracker dilakukan di Kampus IPB Darmaga (Agustus–Oktober 2025) serta uji pemasangan pada biawak air di IPB dan Suaka Margasatwa Pulau Rambut, dengan persetujuan etik BRIN (No. 110/KE.02/SK/06/2025).

Perangkat terdiri atas ESP32, GPS M10, dan LoRa Ebyte 30 dB. Pengujian difokuskan pada empat parameter utama: (1) akurasi lokasi, (2) jangkauan transmisi, (3) konsumsi daya, dan (4) stabilitas komunikasi. Akurasi dievaluasi melalui perbandingan dengan GPS telepon genggam, menunjukkan adanya deviasi pada mode hemat daya sehingga diterapkan filtering untuk meningkatkan reliabilitas data.

Jangkauan transmisi diuji pada kondisi lingkungan semi-terbuka dan menunjukkan capaian efektif ± 400 m. Data yang telah difilter memiliki tingkat akurasi 0,5–1 m terhadap referensi. Pengujian daya menunjukkan

perangkat mampu beroperasi hingga empat hari dengan interval pengiriman data berkala, meskipun terdapat keterbatasan akuisisi sinyal pada kondisi tertutup vegetasi. Permasalahan konektivitas diatasi melalui penerapan sistem auto-reconnect.

Uji aplikasi pada satwa dilakukan menggunakan kura-kura Sulawesi (*Leucocephalon yuwonoi*) untuk mengevaluasi performa lapangan, serta biawak air untuk menguji metode pemasangan. Pemasangan diawali dengan pengukuran morfometrik untuk memastikan bobot alat <10% dari berat tubuh pada kandang terkontrol (Gambar 2-4). Transmitter dipasang menggunakan harness dan pouch pada bagian punggung, kemudian diuji secara berulang dalam kondisi terkontrol untuk memastikan stabilitas dan keamanan perangkat.



Gambar 2-4. Kandang terkontrol di kampus IPB yang dipakai untuk menguji pemasangan alat GPS trackers pada *Varanus salvator*



03

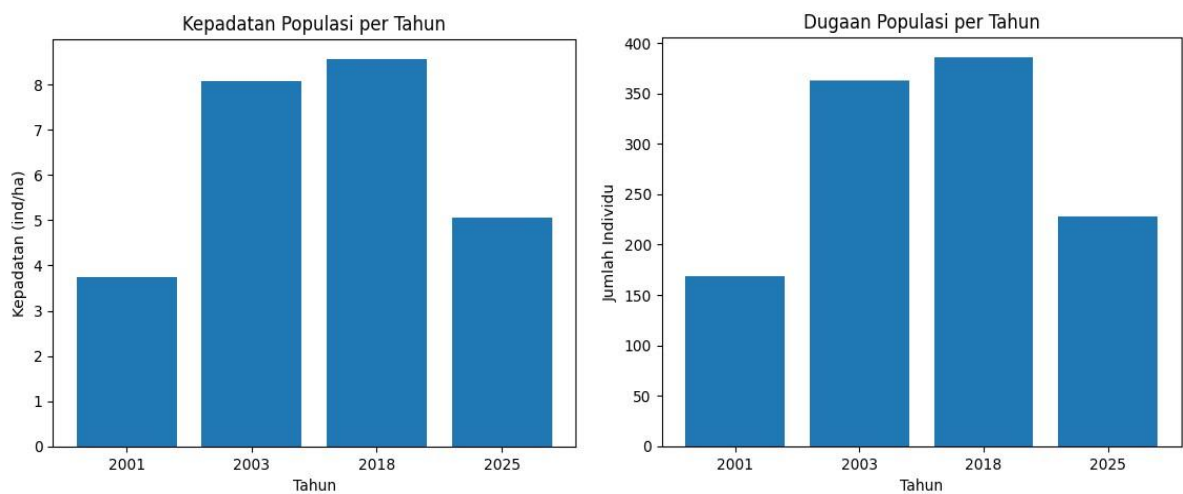
Hasil dan Pembahasan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 Estimasi Ukuran Populasi Biawak

Berdasarkan hasil survei menunjukkan rata-rata ukuran populasi per hari adalah sekitar 16,33 individu sedangkan rata-rata perjumpaannya 8 individu per grid (49 plot). Berdasarkan penyetaraan data, terdapat penurunan ukuran populasi biawak air Asia dibandingkan tahun 2001 (Gambar 3.1). Data menunjukkan populasi biawak air Asia relatif meningkat antara tahun 2001–2018, di mana populasi naik pesat sebesar 128%, yang berarti jumlah populasi dan kepadatan meningkat lebih dari dua kali lipat dalam kurun waktu 17 tahun. Namun demikian, pada tahun 2025 menunjukkan penurunan populasi yang tajam sekitar 40%.



Gambar 3.1. Estimasi kepadatan populasi (individu/ha) dan populasi *V. salvator* di Pulau Rambut dari 2001-2025 (sumber data dari Gumilang (2001), 2003 dan 2018 berasal dari data internal BKSDA Jakarta).

Struktur umur populasi di Pulau Rambut menunjukkan pola piramida terbalik, dengan dominasi individu dewasa (47,4%), diikuti remaja dan anakan dalam proporsi yang lebih kecil. Distribusi ini mengindikasikan bahwa tingkat rekrutmen individu muda relatif rendah atau tingkat mortalitas pada fase awal kehidupan cukup tinggi.



Gambar 3.2. Struktur kelas umur pada *V. salvator* di Pulau Rambut (Angka di dalam balok menunjukkan jumlah individu).

3.1.2 Tumpang Tindih Antara Habitat Jelajah Biawak Dengan Lokasi Sarang Penyusuk, Serta Risiko Predasi Terhadap Sarang Penyusuk

Perjumpaan *V. salvator* di Pulau Rambut menunjukkan pola distribusi yang cenderung berkelompok (*clumped*) pada berbagai spot lokasi yang berbeda. Selama 24 hari kegiatan sensus, tercatat sebanyak 392 individu dengan titik koordinat geografis yang kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kecenderungan spasial berdasarkan klasifikasi tutupan lahan. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa konsentrasi individu lebih dominan ditemukan pada bagian selatan, tenggara hingga bagian timur pulau, khususnya pada kawasan mangrove sekunder, mangrove primer, serta area terbuka. Sebaliknya, jumlah individu relatif lebih rendah terdeteksi di wilayah hutan dan bagian utara pulau. Lokasi sarang *V. salvator*, yang divisualisasikan seperti arah panah ke bawah berukuran tebal berwarna hitam pada peta, juga terkonsentrasi di zona selatan dan tenggara. Baik keberadaan individu maupun sarang umumnya berada di area transisi antar vegetasi, terutama pada batas antara ekosistem mangrove dengan zona pantai berpasir.



Gambar 3.3. Distribusi *V. salvator* di Pulau Rambut

Secara keseluruhan, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa 35% dari total pengamatan *V. salvator* tercatat pada area dengan tutupan lahan mangrove (baik mangrove primer maupun sekunder) (Gambar 3.3). Sementara itu, 51% individu teridentifikasi di kawasan lahan terbuka, dan 14% sisanya tersebar pada

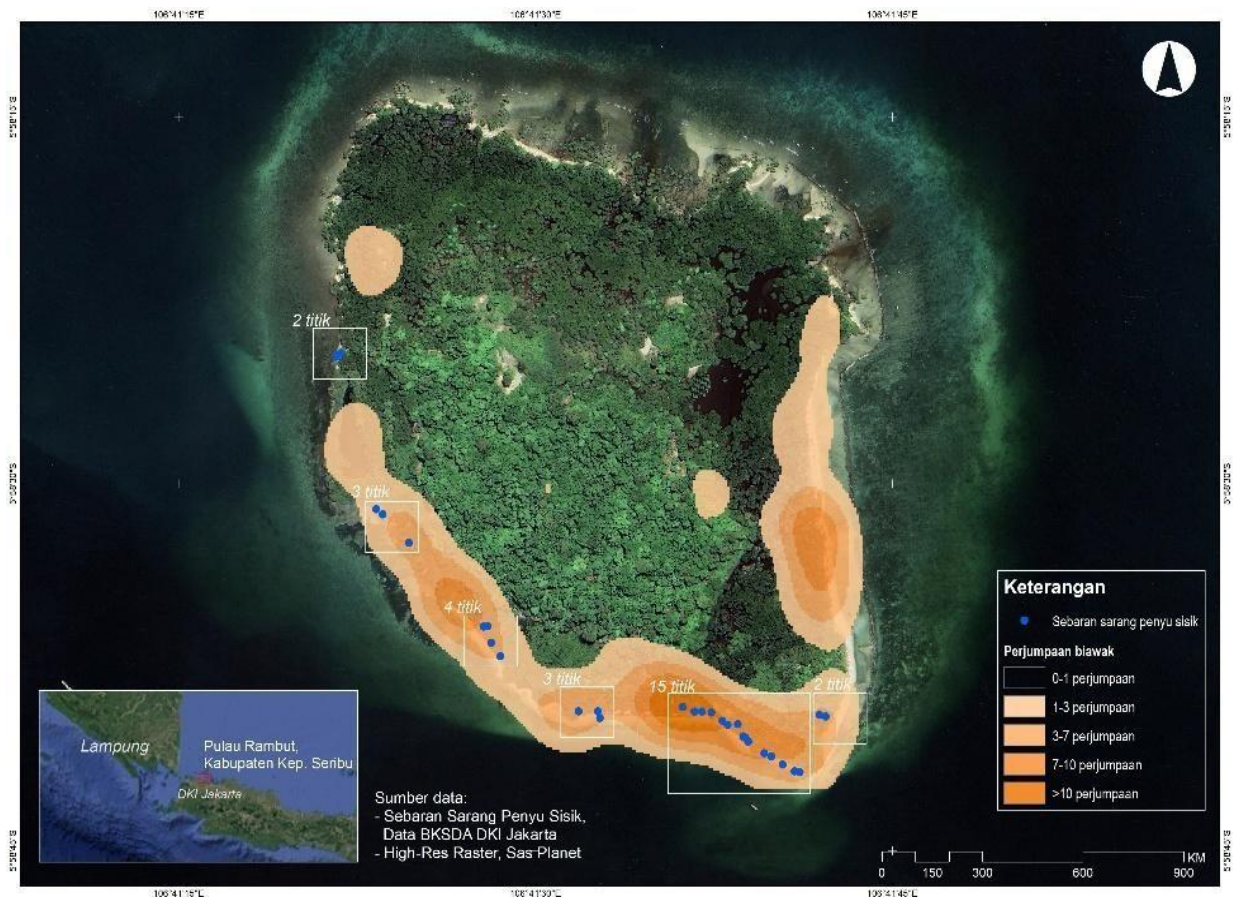
habitat pantai dangkal serta kategori penutup lahan lainnya. Pola pengelompokan spasial terlihat jelas, ditandai dengan keberadaan beberapa individu yang tercatat berdekatan pada wilayah tertentu di dalam pulau. Selain itu, sejumlah perjumpaan individu beserta lokasi sarang ditemukan berasosiasi dengan keberadaan infrastruktur buatan manusia, seperti dermaga kapal, menara pengawas, dan tempat pembuangan sampah. Infrastruktur tersebut sebagian besar terletak di kawasan pantai selatan pulau, yang juga merupakan zona dengan tingkat kehadiran *V. salvator* yang lebih tinggi.

Berdasarkan peta distribusi terkini, teridentifikasi sejumlah titik aktivitas utama *V. salvator*, khususnya pada zona pesisir barat. Kawasan ini memperlihatkan konsentrasi individu yang relatif tinggi, yang diduga berkaitan dengan akumulasi sampah organik maupun anorganik yang berfungsi sebagai sumber daya bagi spesies pemulung, termasuk *V. salvator*. Selain itu, keberadaan laguna di area tersebut juga dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas ekologis, seperti termoregulasi, berenang, dan berjemur. Bagian selatan pulau, yang berfungsi sebagai lokasi tambatan kapal, menunjukkan kondisi serupa, di mana akumulasi sampah dipengaruhi oleh aliran material hanyut dari daratan Jakarta maupun pulau-pulau terdekat seperti Tangerang. Di sisi timur pulau, *V. salvator* lebih sering dijumpai pada ekosistem mangrove, yang juga berperan sebagai habitat penting bagi aktivitas reproduksi burung air. Pola interaksi antarspesies juga teridentifikasi, di mana individu muda sering memanfaatkan pohon mangrove untuk memanjat dan memangsa telur maupun anakan burung yang baru belajar terbang. Sementara itu, individu sub-dewasa dan dewasa lebih sering mencari makan di bawah kanopi mangrove, dengan target utama berupa burung muda serta ikan yang terdampar akibat aktivitas perburuan burung air.

Komposisi tutupan lahan dan jumlah pengamatan *V. salvator* berdasarkan jenis habitat dirangkum dalam Tabel 3.1. Jumlah perjumpaan terbanyak terjadi di Area Hutan Pantai sebanyak 111 perjumpaan (28,32%), sedangkan perjumpaan paling sedikit di area lahan terbuka yang hanya sebanyak 3 perjumpaan (0,76%). Hal ini sesuai dengan karakteristik tempat bersarang biawak air, yaitu ternaungi oleh perakaran pohon atau tanaman lainnya dan dekat dengan sumber air dan makanan. Hasil ini membentuk dasar untuk analisis lebih lanjut tentang penggunaan habitat dan dampak perubahan lingkungan terhadap distribusi spasial spesies.

Tabel 3.1. Jumlah perjumpaan *V. salvator* berdasarkan tipe habitat.

Area	Jumlah Perjumpaan	Persentase (%)
Hutan Pantai	111	28,32
Mangrove	106	27,04
Pesisir	90	22,96
Perairan	45	11,48
Hutan	37	9,44
Lahan terbuka	3	0,76



Gambar 3.4. Peta tumpang susun antara lokasi penemuan sarang penyu sisik dan perjumpaan biawak air asia (semakin gelap warna menunjukkan peningkatan perjumpaan biawak).

Berdasarkan hasil tumpang susun tersebut diketahui seluruh area Pulau Rambut merupakan habitat dari biawak, namun terdapat beberapa area yang menjadi area terpadat yang ditunjukkan dengan banyaknya jumlah individu yang dijumpai. Setidaknya terdapat tiga area dengan kelas kepadatan biawak tinggi (kelas 5), yakni di bagian selatan, timur, dan barat. Bagian selatan merupakan area hamparan pasir pantai dengan sebaran titik sarang penyu sisik paling banyak, setidaknya 20 temuan sarang di sepanjang pesisir pantai bagian selatan (Gambar 3.4). Sedangkan sisi barat merupakan hamparan pasir pantai dengan temuan sarang penyu sisik yang lebih sedikit (9 sarang), dan sisi timur didominasi oleh ekosistem mangrove dan tidak ditemukan sarang penyu sisik. Terakhir sisi utara, tidak ditemukan keberadaan sarang penyu sisik dan masuk ke dalam kelas kepadatan rendah biawak (kelas 1).

Apabila dibuat pengkelasan berdasarkan hasil tumpang susun dari kepadatan biawak dengan sebaran sarang penyu sisik, diketahui sisi selatan merupakan area dengan tingkat tumpang susun tertinggi. Hal ini mengindikasikan adanya konflik habitat berupa predasi, dimana telur dan tukik penyu sisik di buru oleh biawak. Sisi barat berada pada kelas tumpang susun lebih rendah dibandingkan sisi selatan, kemudian diikuti oleh sisi timur, dan sisi utara. Berikut hasil klasifikasi tumpang susun tiap area (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Risiko predasi *Varanus salvator* terhadap sarang penyu sisik berdasarkan tumpang susun antara kelas kepadatan biawak dan jumlah sarang penyu sisik.

Area	Tipe ekosistem	Kelas Kepadatan Biawak	Jumlah Sarang Penyu sisik	Hasil Tumpang susun
Timur	Mangrove	Tinggi	0	Rendah
Selatan	Pantai	Tinggi	20	Tinggi
Barat	Pantai	Tinggi	9	Sedang
Utara	Mangrove	Rendah	0	Rendah

Berdasarkan hasil pemantauan kamera jebak, seluruh rekaman biawak berasal dari kamera CT 2 – A4, dengan total 19 kejadian keberadaan biawak selama periode pengamatan. Setiap kejadian selalu memperlihatkan satu individu, sehingga tidak ada bukti kehadiran lebih dari satu biawak dalam waktu yang sama. Aktivitas biawak terekam pada berbagai waktu, namun pola yang muncul menunjukkan dominasi aktivitas pada pagi hingga sore hari. Pada 12 Oktober 2025, yang menjadi hari dengan jumlah kejadian terbanyak, biawak terekam muncul berulang mulai pukul 07.29 hingga 14.11. Hal ini menunjukkan penggunaan lokasi secara intensif dalam rentang waktu tersebut. Pada 13 Oktober 2025, biawak kembali terekam pada beberapa waktu, dan dua kejadian (pukul 13.52 dan 13.54) memperlihatkan perilaku menjulurkan lidah, yang merupakan perilaku eksplorasi bau (chemoreception). Perilaku serupa juga muncul kembali pada 18 Oktober 2025 pukul 05.29, mengindikasikan bahwa aktivitas pencarian informasi kimia dari lingkungan dilakukan secara konsisten pada beberapa kesempatan berbeda.

Rekaman pada tanggal 14 Oktober 2025 dan 15 Oktober 2025 menunjukkan keberadaan biawak masing-masing satu kejadian pada pagi hari, sedangkan pada 18 Oktober 2025 kemunculannya terjadi menjelang fajar. Variasi waktu ini memperlihatkan bahwa meskipun biawak bersifat diurnal, individu yang terekam juga dapat beraktivitas pada waktu-waktu yang sangat pagi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa titik lokasi kamera CT 2 – A4 merupakan area yang aktif digunakan oleh biawak sebagai bagian dari jalur jelajahnya. Meski tidak ditemukan bukti langsung adanya aktivitas predasi terhadap sarang atau tukik, frekuensi kehadiran yang cukup sering menandakan bahwa biawak secara rutin memanfaatkan area ini, sehingga berpotensi meningkatkan risiko predasi apabila terdapat sumber makanan seperti sarang penyu di lokasi tersebut.

3.3 Efektivitas Alat GPS Tracker Untuk Biawak Air

Hasil uji coba efektivitas pengembangan dan implementasi GPS tracker untuk memantau pergerakan biawak air dilakukan dengan fokus pada tiga aspek utama yaitu kinerja perangkat, sistem komunikasi, dan metode pemasangan pada satwa. Adapun detil laporan teknis bagian ini dapat dilihat pada lampiran.

3.3.1 Kinerja Perangkat

Pengembangan perangkat menunjukkan peningkatan bertahap dari sisi stabilitas daya, akurasi posisi, dan integrasi sistem. Prototipe awal hanya berfungsi sebagai *proof-of-concept* dan tidak layak untuk aplikasi lapangan karena keterbatasan keamanan dan ergonomi. Perbaikan pada sistem daya (baterai permanen dan modul pengisian ulang) serta peningkatan modul GNSS secara signifikan meningkatkan keandalan perangkat.

Integrasi sistem komunikasi berbasis IoT memungkinkan data dikirim dan disimpan secara daring, namun awalnya terkendala oleh instabilitas koneksi. Implementasi mekanisme *auto-reconnect* berhasil mengatasi masalah tersebut dan menjadi komponen kunci dalam operasional jangka panjang.

Pada desain akhir, peningkatan paling signifikan terjadi pada aspek perlindungan lingkungan. Sistem waterproofing berlapis terbukti mampu mempertahankan fungsi perangkat dalam kondisi basah, yang sebelumnya menjadi titik kegagalan utama. Dengan demikian, perangkat final dinilai cukup tangguh untuk kondisi lapangan, meskipun uji jangka panjang masih diperlukan.

Temuan kunci: kinerja perangkat lebih ditentukan oleh desain catu daya dan proteksi fisik dibandingkan spesifikasi sensor atau modul GPS.

3.3.2 Sistem Komunikasi

Pengujian menunjukkan adanya *trade-off* yang jelas antara jangkauan, konsumsi daya, dan stabilitas transmisi. LoRa efektif untuk komunikasi hemat energi, tetapi jangkauan aktual di lapangan terbatas oleh kondisi vegetasi dan topografi. Pengaturan parameter (misalnya spreading factor) meningkatkan jangkauan, namun berdampak langsung pada konsumsi daya. Selain itu, penggunaan mode hemat daya (sleep mode) menghambat komunikasi dua arah.

Sebaliknya, jaringan 4G menawarkan stabilitas komunikasi yang lebih tinggi dan tidak bergantung pada receiver lokal, tetapi memiliki konsumsi daya yang jauh lebih besar dan membutuhkan manajemen energi yang ketat. Penggunaan modem 4G juga sensitif terhadap kualitas sinyal, yang secara langsung memengaruhi konsumsi daya dan keberhasilan transmisi.

Temuan kunci: tidak ada sistem komunikasi yang optimal secara universal; LoRa unggul dalam efisiensi energi, sedangkan 4G unggul dalam keandalan transmisi. Pemilihan sistem harus disesuaikan dengan tujuan monitoring dan keterbatasan logistik.

a) Pengujian Lapangan

Hasil uji lapangan menegaskan bahwa performa sistem sangat bergantung pada kondisi lingkungan, terutama kualitas sinyal dan keterbukaan ruang. Perangkat bekerja optimal pada area dengan sinyal kuat dan pandangan langit terbuka. Sebaliknya, pada area dengan vegetasi rapat dan sinyal lemah, terjadi penurunan performa yang signifikan, baik pada GPS maupun transmisi data.

Faktor paling krusial yang teridentifikasi adalah:

1. Posisi antena GPS – menentukan keberhasilan memperoleh lokasi; hambatan fisik atau enclosure secara signifikan menurunkan performa.
2. Interferensi antar komponen – terutama antara modem dan GPS, yang dapat mengganggu akuisisi sinyal.
3. Stabilitas suplai daya – pemutusan daya yang tidak sempurna menyebabkan kegagalan inisialisasi modem.

Temuan kunci: keterbatasan utama sistem bukan berasal dari perangkat lunak, melainkan dari desain fisik dan integrasi komponen.

b) Kondisi Jaringan

Pulau Rambut hanya didukung oleh jaringan 4G LTE, tanpa dukungan 2G/3G. Kualitas sinyal bervariasi tergantung posisi relatif terhadap sumber BTS, dengan area yang menghadap Pulau Untung Jawa memiliki performa terbaik. Analisis parameter jaringan menunjukkan bahwa latensi relatif rendah dan *bandwidth* cukup untuk aplikasi telemetri. Namun, variasi antar operator menunjukkan bahwa pemilihan *provider* dapat memengaruhi stabilitas sistem secara signifikan.

Temuan kunci: keberhasilan sistem berbasis 4G sangat bergantung pada lokasi pemasangan dan pemilihan operator.

3.3.3. Pemasangan pada Biawak

Pemasangan alat merupakan tantangan utama dalam penelitian ini. Uji coba menunjukkan bahwa harness konvensional tidak mampu mempertahankan perangkat pada tubuh biawak dalam kondisi lapangan. Kegagalan terutama disebabkan oleh:

- perilaku aktif dan kemampuan mekanik biawak dalam melepaskan alat,
- perubahan posisi tubuh saat berenang,
- desain harness yang tidak adaptif terhadap morfologi dan perilaku.

Pengamatan terkontrol menunjukkan bahwa biawak secara aktif dan sistematis berusaha melepaskan harness, termasuk dengan memanfaatkan struktur lingkungan dan gaya gravitasi. Hal ini menunjukkan tingkat kemampuan adaptif yang tinggi. Penggunaan perekat meningkatkan durasi retensi alat, tetapi belum menjadi solusi final. Pendekatan ini menunjukkan potensi, namun masih memerlukan optimasi desain dan evaluasi jangka panjang.

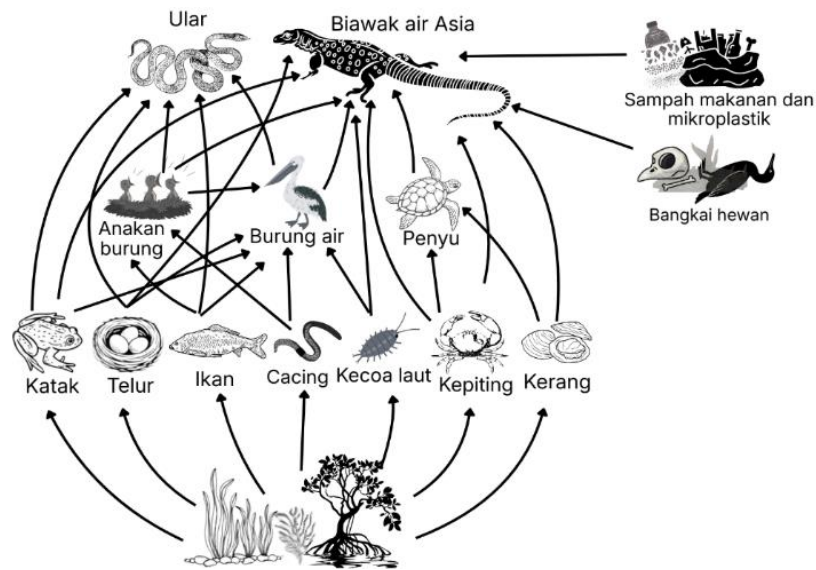
Temuan kunci: tantangan utama bukan pada pemasangan awal, tetapi pada daya tahan alat pada setiap kondisi pergerakan biawak.

3.2 Pembahasan

3.2. 1. *Varanus salvator* sebagai predator dari penyu sisik

Biawak air Asia dikenal sebagai predator oportunistik dengan spektrum pakan yang sangat luas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ikan jarang ditemukan dalam analisis makanan *V. salvator*. Namun, sebagian besar analisis isi perut telah dilakukan pada spesimen yang terperangkap di perkebunan kelapa sawit di mana aliran sungai kecil merupakan habitat perairan (Shine et al. 1998). Di perkotaan *varanus salvator* memakan berbagai satwa domestik seperti kucing (Mardiastuti & Kusri 2023) juga sampah-sampah aktivitas manusia (Uyeda et al. 2014). Sifat oportunistik ini ditemui oleh berbagai penelitian misalnya di Thailand, Malaysia dan Srilanka (Trivalairat dan Srikosamatara 2023; Kulabtong & Mahaprom 2015; Mahaprom & Kulabtong 2018; Karunarathna et al. 2015, Yu et al. 2021). Oleh karena itu pada di pesisir pantai maupun lokasi yang dominan berair, *Varanus salvator* diketahui memakan ikan dengan cara memangsa secara langsung dari air (de Lisle 2007; Trivalairat dan Srikosamatara 2023).

Di Pulau Rambut, diketahui bahwa selain memangsa telur penyu, spesies ini juga memanfaatkan berbagai sumber pakan lain seperti telur burung koloni, ikan, krustasea, bangkai hewan (*scavenging*), hingga limbah organik yang terbawa arus laut (Gambar 3.5). Keberadaan limbah organik ini umumnya terdapat dalam sisa-sisa sampah styrofoam atau plastik yang terbawa dari sekitar Teluk Jakarta. Diketahui bahwa Teluk Jakarta merupakan wilayah yang telah tercemar limbah plastik



Gambar 3.5 Hubungan biawak air Asia dengan satwa lain di Pulau Rambut sebagai mangsa dan pemangsa

Kemampuan untuk beralih pakan (*diet switching*) ini merupakan salah satu kunci keberhasilan ekologis *Varanus salvator* dalam bertahan di habitat yang dinamis. Ketika satu jenis pakan mengalami penurunan, misalnya berkurangnya telur burung akibat perubahan musim reproduksi, biawak dapat mengalihkan konsumsi ke sumber lain seperti telur penyu, ikan di zona intertidal, bangkai ikan yang terdampar, atau bahkan sampah organik antropogenik yang masih mengandung bahan makanan. Hasil penelitian Mardiastuti (2022) menunjukkan bahwa populasi burung air di Pulau Rambut selama 30 tahun terakhir mengalami penurunan yang sangat besar sehingga hal ini dapat mempengaruhi pakan dari *V. salvator*. Sementara itu, informasi dari petugas BKSDA dan Ani Mardiastuti yang meneliti di Pulau Rambut sejak 40 tahun yang lalu menunjukkan bahwa keberadaan sarang penyu sisik di Pulau Rambut baru ada dalam dekade terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan peralihan pakan terjadi pada kasus *V. salvator* di Pulau Rambut. Hasil pemantauan dengan kamera jebak maupun pengamatan langsung menunjukkan bahwa keberadaan *Varanus salvator* di Pulau Rambut sangat erat berhubungan dengan keberadaan pakan. Sisi Pulau Rambut diketahui adalah lokasi dimana kumpulan sarang burung berada (Firdausy et al. 2021) sehingga tidak mengherankan bahwa salah satu hotspot *V. salvator* adalah lokasi ini selain sisi timur dan barat yang merupakan habitat bersarang penyu sisik.

3.2.2 Populasi *Varanus salvator* dan konservasi penyu sisik di Pulau Rambut

Estimasi ukuran populasi merupakan langkah penting dalam memahami kondisi dan dinamika suatu spesies di alam. Pada penelitian mengenai Biawak Air Asia (*V. salvator*), estimasi populasi dilakukan untuk mengetahui jumlah individu yang terdapat pada suatu wilayah serta pola penyebarannya. Informasi mengenai ukuran populasi sangat penting sebagai dasar dalam menilai status keberadaan spesies, tingkat keberhasilan reproduksi, serta potensi ancaman yang dapat memengaruhi kelangsungan hidupnya. Sebagai salah satu reptil semiakuatik yang banyak ditemukan di kawasan Asia Tenggara, biawak air Asia memiliki kemampuan adaptasi yang cukup baik terhadap berbagai tipe habitat, mulai dari sungai, rawa, hingga lingkungan yang berdekatan dengan aktivitas manusia.

Oleh karena itu, pengukuran ukuran populasi menjadi aspek penting dalam kajian ekologi spesies ini, karena dapat memberikan gambaran mengenai kepadatan populasi, struktur umur, serta dinamika populasi yang terjadi di area penelitian. Hasil estimasi kemudian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam upaya pengelolaan dan konservasi populasi biawak di habitat alaminya. Dalam kajian ini khususnya untuk dipertimbangkan eksistensinya sebagai predator telur dan tukik penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) di SMPR.

Survei lapangan tahun 2025 mencatat 392 encounter selama 24 hari pengamatan, dengan estimasi sekitar 35 individu terlihat secara langsung dan kepadatan sekitar 8 individu per hektar. Walaupun angka ini menurun dibandingkan estimasi tahun 2018, kepadatan saat ini masih jauh lebih tinggi dibandingkan pulau kecil lain di Indonesia, seperti Pulau Tinjil yang hanya memiliki 0,04 ind/ha (Uyeda 2009). Nilai ini juga lebih tinggi dibandingkan beberapa studi di luar negeri, seperti di Dusit Zoo Thailand (4,79 ind/ha) (Trivalairat dan Srikosamatara 2023) maupun di Universitas Kasetsart (0,74 ind/ha) (Thongsub et al. 2011).

Dalam konteks ekologi pulau kecil, kepadatan predator setinggi ini merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan karena dapat menimbulkan tekanan signifikan terhadap spesies mangsa dengan laju reproduksi lambat seperti penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*). Tingginya tekanan predasi pada fase telur dan tukik dapat memengaruhi keberhasilan rekrutmen populasi penyu dalam jangka panjang.

Berdasarkan pendugaan fotografi, rata-rata ukuran tubuh *Varanus salvator* yang terukur adalah 117 cm, dengan ukuran terbesar mencapai 200 cm dan terkecil 15 cm. Biawak jantan umumnya memiliki ukuran tubuh lebih besar dibandingkan betina pada umur yang sama (Shine et al. 1996; Shine et al. 1998). Ukuran tubuh ini berkaitan erat dengan strategi reproduksi dan keberhasilan kompetisi antar individu dalam memperoleh sumber daya (Shine et al. 1996; Setyawatiningsih 2016). Dalam sistem pulau kecil, kondisi ini dapat diperparah oleh fluktuasi lingkungan yang ekstrem, predasi intra-spesifik (kanibalisme), serta keterbatasan sumber pakan bagi individu juvenil yang memiliki daya saing lebih rendah dibandingkan individu dewasa (Gibbon et al. 2024).

Bila dibandingkan dengan penelitian di lokasi lain, struktur populasi agak berbeda. Di lahan basah sekitar Dusit Zoo di Thailand, populasi didominasi oleh kelas umur remaja ($n=141$) dengan jumlah anakan relatif lebih tinggi ($n=40$) dibandingkan dewasa tua ($n=10$) (Trivalairat & Srikosamatara 2023). Tingginya frekuensi perjumpaan individu *V. salvator* dengan kelas umur tua/dewasa kemungkinan disebabkan oleh ukuran tubuh mereka yang besar, dapat melebihi panjang total dua meter, termasuk ekor panjangnya. Individu dewasa relatif mudah diamati di lapangan, karena mereka menunjukkan gerakan terbatas dan hanya sedikit atau tidak ada tanda-tanda terancam oleh kehadiran manusia. Sebaliknya, *V. salvator* kelas remaja dan sub-dewasa yang lebih muda sangat aktif, terus-menerus waspada, dan siap melarikan diri.

Individu yang lebih muda sering dengan cepat memanjat atau menyembunyikan diri di lubang atau di bawah penutup alami. Hal ini mengurangi kemungkinan deteksi mereka selama pengamatan lapangan. Menurut Hanjar et al. (2016) menjelaskan bahwa perilaku bergerak pada kelas umur anak banyak dilakukan karena kelas umur anak lebih senang menjelajah untuk mencari hal baru, selain itu juga dilakukan untuk menghindari dari ancaman biawak dewasa. Pada kelas umur remaja aktif bergerak untuk menjelajah dan mencari sumber pakan yang kemudian dijadikan wilayah teritorinya nanti diusia dewasa.

Jika hasil penelitian yang menunjukkan bahwa populasi anakan relatif lebih rendah daripada dewasa bukan karena bias pengamatan, maka bila kondisi ini berlangsung dalam jangka panjang, populasi biawak

air Asia berpotensi mengalami penurunan karena kurangnya individu muda yang akan menggantikan individu dewasa.

Perlu ditekankan bahwa dinamika populasi di pulau kecil bersifat sangat fluktuatif dan tidak selalu menunjukkan tren linier. Kombinasi antara fleksibilitas pakan, kemampuan dispersal antar pulau, serta variabilitas lingkungan menjadikan populasi *Varanus salvator* sebagai sistem yang dinamis, yang memerlukan pemantauan jangka panjang untuk memahami pola perubahan secara lebih komprehensif. Monitoring populasi selama beberapa tahun ini menunjukkan bahwa populasi *V. salvator* secara alami mengalami fluktuasi berupa penurunan dan kenaikan. Pulau kecil umumnya memiliki keterbatasan sumber daya, baik dari sisi ketersediaan pakan maupun air tawar, sehingga populasi predator seperti biawak sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang berubah secara musiman maupun tahunan. Variasi curah hujan, produktivitas pesisir, serta keberadaan koloni burung atau lokasi peneluran penyu secara langsung akan memengaruhi ketersediaan pakan bagi biawak.

Pada pulau kecil yang tidak memiliki sumber air tawar permanen, dinamika populasi biawak air kemungkinan besar juga sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air hujan. Pada musim kemarau panjang, berkurangnya genangan air tawar dapat menyebabkan stres fisiologis hingga kematian individu. Hal ini sejalan dengan laporan lapangan dan informasi dari petugas BKSDA yang menunjukkan adanya kejadian kematian biawak di Pulau Rambut selama periode kering. Pengamatan juga menunjukkan bahwa biawak di pulau ini memanfaatkan genangan air yang terkumpul pada sampah atau cekungan buatan sebagai sumber air tawar alternatif. Ketergantungan terhadap sumber air yang terbatas ini menjadikan populasi sangat rentan terhadap variabilitas iklim.

Di sisi lain, isolasi geografis pulau kecil tidak selalu bersifat absolut. Dalam kasus *Varanus salvator*, terdapat kemungkinan terjadinya pertukaran individu antar pulau (population influx), mengingat spesies ini memiliki kemampuan berenang yang sangat baik (de Lisle 2007; Trivalairat dan Srikosamatara 2023). Paling tidak terdapat satu laporan singkat dari Thailand yang menunjukkan bahwa *V. salvator* dapat menyeberangi pulau dengan jarak antar pulau sekitar 900 m (Borden 2007). Populasi *V. salvator* di Pulau Rambut sangat dekat dengan populasi di Pulau Untung Jawa dimana pengukuran dengan google maps menunjukkan bahwa titik terdekat antara kedua pulau ini adalah sekitar 800 m. Padahal penelitian menunjukkan bahwa di darat pergerakan *V. salvator* dapat mencapai 1 km dalam satu hari (Traeholt 1997; Guerrero-Sanchez et al. 2022). Mengingat kemampuan berenang yang tinggi serta kapasitas jelajah yang luas diperkirakan bahwa ada kemungkinan pertukaran populasi antara P. Rambut dengan pulau lain di sekitarnya. Oleh karena itu, penurunan populasi di suatu pulau tidak selalu bersifat permanen, karena dapat diimbangi oleh masuknya individu dari populasi terdekat. Mekanisme ini penting dalam menjaga keberlangsungan populasi jangka panjang di lanskap kepulauan, meskipun juga bergantung pada jarak antar pulau dan kondisi perairan di sekitarnya (Shine et al. 1996; Uyeda 2009). Oleh karena itu, bila alat GPS tracker yang sedang dalam proses pengembangan berhasil dibuat, maka alat ini akan sangat berharga untuk mengetahui kemampuan jelajah *V. salvator* di Pulau Rambut dan kemungkinan hewan ini dapat berenang menuju pulau lain di sekitarnya.

Populasi *V. salvator* dan juga mangsanya juga dapat mengalami tantangan akibat kondisi lingkungan seperti pencemaran. Diketahui bahwa wilayah teluk Jakarta mengalami tekanan besar dari limbah B3 dan sampah plastik maupun organik (Alisa et al. 2020; Cordova & Nurhati 2019; Dwiyitno et al. 2020; Rochyatun & Rozak 2008; Azizi et al. 2021; van emmerik et al. 2019; Faizal et al. 2022). Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap satwa liar dan tumbuhan yang ada di Pulau Rambut. Tantangan lain adalah keberadaan limbah minyak yang berasal dari tumpahan minyak di sekitar perairan Teluk Jakarta dan

masuk ke dalam pulau Rambut maupun ke Pulau Untung Jawa di dekatnya (Munggaran et al. 2021; Dewantio et al. 2026). Penelitian menunjukkan bahwa keberadaan limbah minyak di Pulau Rambut membuat hutan mangrove di dalamnya mengalami kematian yang diduga mempengaruhi keberadaan burung (Mardiastuti et al. 2020) serta menyebabkan lokasi ini jarang dijumpai *V. salvator*.

Tingginya kepadatan populasi *Varanus salvator* serta intensitas aktivitas hariannya di sekitar pantai peneluran menunjukkan bahwa spesies ini merupakan predator utama yang berpotensi mengancam keberhasilan reproduksi penyu sisik di Pulau Rambut. Oleh karena itu, upaya perlindungan sarang menjadi prioritas, antara lain melalui monitoring intensif oleh petugas serta pemindahan telur secara berkala dari sarang alami ke lokasi yang lebih aman.

Meskipun demikian, translokasi predator bukan merupakan opsi pengelolaan yang efektif. Proses ini memerlukan penanganan individu yang tepat untuk meminimalkan mortalitas, pemilihan lokasi pelepasliaran yang sesuai, yang idealnya memiliki kepadatan *Varanus* rendah, serta dukungan biaya yang besar. Dalam konteks Pulau Jawa, kriteria habitat dengan tekanan populasi *Varanus salvator* yang rendah relatif sulit ditemukan. Selain itu, dinamika populasi di Pulau Rambut bersifat fluktuatif dan terbuka terhadap imigrasi dari pulau-pulau sekitarnya, sehingga pengurangan populasi secara lokal tidak menjamin efektivitas jangka panjang.

Lebih jauh, sejumlah studi menunjukkan bahwa reptil, khususnya spesies semi-akuatik, memiliki kemampuan homing yang kuat, yaitu kembali ke lokasi asal meskipun telah dipindahkan dalam jarak yang cukup jauh (Brunell et al. 2023; Fukuda et al. 2019; Santoro et al. 2025). Dengan demikian, translokasi *Varanus salvator* dari Pulau Rambut tidak direkomendasikan sebagai strategi mitigasi predasi terhadap sarang penyu.



04

Penutup

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Populasi biawak air asia di Suaka Margasatwa Pulau Rambut pada tahun 2025 relatif tinggi yaitu 16,33 individu dengan kepadatan 8 ind/ha, walaupun populasi saat ini jauh lebih rendah daripada populasi sebelumnya. Hal ini dipicu salah satunya oleh struktur kelas umur yang berbentuk piramida terbalik, yang mana kelompok umur dewasa jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan kelas umur remaja bahkan anakan.

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa 35% dari total pengamatan *V. salvator* tercatat pada area dengan tutupan lahan mangrove dan 51% individu teridentifikasi di kawasan lahan terbuka, serta 14% sisanya tersebar pada habitat pantai dangkal serta kategori penutup lahan lainnya. Tumpang tindih titik keberadaan biawak air asia dan sarang penyu serta hasil pemantauan dengan kamera jebak menunjukkan bahwa biawak air asia adalah predator bagi sarang penyu sisik.

Hal ini teridentifikasi melalui hasil pemetaan spasial yang memperlihatkan bahwa biawak tidak tersebar merata di Pulau Rambut, melainkan membentuk pola menggerombol (*clumped*) di zona pesisir selatan dan tenggara. Pada lokasi yang sama, berdasarkan peta sarang penyu sisik yang dianalisis dari kegiatan survei lapangan, ditemukan konsentrasi sarang yang sangat tinggi. Sebaran ini menunjukkan tumpang tindih yang signifikan antara dua komponen ekologi utama: area jelajah biawak dan lokasi peneluran penyu. Interaksi spasial semacam ini secara langsung meningkatkan risiko predasi telur maupun tukik pada saat menetas.

Sementara itu, pemantauan diperlukan pada pergerakan biawak karena mencerminkan pengaruh faktor biotik dan abiotik terhadap penggunaan ruang dan habitat. Dengan data pergerakan yang diperoleh melalui GPS tracker, diharapkan dapat diperoleh informasi spasial yang akurat untuk merancang intervensi konservasi, termasuk potensi zonasi habitat atau pengelolaan populasi yang lebih adaptif di Pulau Rambut. Penggunaan alat pelacak GPS (*GPS tracker*) untuk memantau pergerakan biawak dalam kajian ini telah dilakukan. Namun belum membuahkan hasil, hal ini karena alat masih dalam pengembangan dan adanya kendala pada saat pemasangan alat. Oleh karena itu, penelitian pengembangan alat akan terus dilakukan walaupun kegiatan kajian ini telah selesai.

4.2. Rekomendasi

Dalam konteks perlindungan penyu, dipastikan bahwa *Varanus salvator* adalah predator utama dari sarang penyu sisik di Pulau Rambut. Oleh karena itu, diperlukan upaya-upaya untuk melindungi telur dan tukik penyu sisik dengan tetap memperhatikan eksistensi biawak untuk kelestarian ekosistem di SMPR. Beberapa upaya yang dapat dilakukan diantaranya:

1. Pemindahan Telur Penyu Sisik dari Sarang Alami

Perlindungan telur penyu sisik di sarang alaminya memunculkan berbagai ide dalam upaya keselamatan telur dan tukik penyu dari ancaman predator. Beberapa pendekatan yang diakui secara internasional diterapkan pada lokasi konservasi penyu dapat menjadi acuan (Carmo et al. 2023). Di banyak negara, perlindungan sarang menggunakan *nest protector* berbentuk kerangkeng logam atau jaring kuat terbukti mampu menurunkan tingkat predasi oleh predator tanpa mengganggu kemampuan tukik keluar dari sarang (Riley et al. 2013; O'Connor et al. 2017; Nordberg et al. 2019;

Lavelle et al. 2023). Di SMPR/Pulau Rambut, penerapan metode ini sangat potensial mengingat sebagian besar sarang berada pada klaster yang jelas dan mudah diidentifikasi. Namun demikian, mengingat sarang penyu di Pulau Rambut terletak di pinggiran pantai, pembuatan *nest protector* sulit dilakukan. Untuk itu, pilihan terbaik adalah melakukan pemindahan telur ke tempat yang lebih aman.

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) IPB University sudah terlibat dalam penyelamatan telur penyu sisik di SMPR sejak tahun 2023 sebagai tim ahli dalam mendampingi kegiatan kerjasama yang dilakukan oleh Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ) dengan Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) Jakarta. Salah satu program dalam rencana kegiatan tahunan ke-II tahun 2024 telah terwujud melalui terbangunnya sarang semi alami yang diberi nama Rumah Penyu. Hasil penelitian ini secara tegas menunjukkan bahwa pembuatan rumah penyu yang sudah dilakukan ini sudah sangat tepat dan perlu dipertahankan dalam upaya konservasi penyu sisik (Gambar 32).



Gambar 32. Rumah penyu di SM Pulau Rambut (kiri) dan poster yang menunjukkan rencana kerja penyelamatan penyu sisik di dalam rumah penyu.

2. Pengawasan oleh Petugas Lapangan

Pengawasan malam oleh petugas lapangan yang telah dilakukan oleh pengelola SMPR sangat berperan penting dalam proses pemindahan telur. Waktu peneluran penyu biasanya terjadi pada malam hari, dan sebagian besar kejadian predasi awal terhadap sarang juga berlangsung pada periode yang sama. Di beberapa kawasan konservasi penyu, kehadiran patroli malam terbukti menurunkan frekuensi predator mendekati sarang. Hanya saja, jumlah petugas yang terbatas membuat patroli kadang tidak bisa dilakukan secara optimal sehingga “kalah” oleh predator, dalam hal ini *Varanus salvator*.

3. Pengurangan Daya Tarik Pantai Bagi Biawak

Biawak adalah salah satu reptil yang tertarik pada sampah organik dan bangkai yang terdampar. Biawak air bersifat karnivor, yaitu memakan berbagai jenis makhluk hidup seperti serangga, moluska hingga mamalia dan ada juga sebagian biawak pemakan bangkai (McCoy 1980). Berdasarkan hasil penelitian Yudha et al. (2020) ditemukan biawak air yang berada di tumpukan sampah dan sedang memakan sisa-

[Kajian Predasi Telur Penyu Sisik Oleh Biawak di Ramsar Site Suaka Margasatwa Pulau Rambut](#)

sisia pembalut wanita sekali-pakai di sungai dekat pemukiman. Selain itu, aktivitas mencari makan biawak air pada tumpukan sampah dalam waktu lebih dari 1 jam. Biawak air sering ditemukan sedang memakan bangkai-bangkai ikan dan bangkai ayam (Uyeda et al. 2013). Oleh karena itu, pengelolaan sampah pantai secara rutin perlu dipertimbangkan untuk mengurangi daya tarik biawak, terutama pada musim barat ketika arus membawa banyak sampah dari daratan. Sehingga, dapat menurunkan intensitas biawak berada di sekitar garis pantai.

4. Pengelolaan Populasi Biawak Dengan Pertimbangan Fungsi Ekologis

Pengelolaan populasi biawak air harus dilakukan secara hati-hati, berbasis bukti ilmiah, dan mempertimbangkan fungsi ekologis spesies ini dalam ekosistem pulau. Relokasi tidak perlu dijadikan sebagai strategi pengelolaan utama karena bukti ekologis menunjukkan bahwa metode ini sering tidak efektif pada biawak. Banyak spesies varanid memiliki kemampuan orientasi ruang dan site fidelity yang kuat sehingga individu yang dipindahkan sering kembali ke wilayah jelajah asalnya atau mencoba kembali ke lokasi sebelumnya, terutama jika pemindahan dilakukan dalam skala jarak pendek tanpa perubahan kondisi habitat. Studi pada *Varanus salvator* menunjukkan bahwa spesies ini memiliki kemampuan pergerakan yang tinggi dan dapat menempuh jarak yang cukup jauh dalam aktivitas jelajahnya, sehingga relokasi mikro di dalam pulau kemungkinan besar tidak memberikan dampak pengurangan interaksi dengan sarang satwa lain (Traeholt 1997; Uyeda 2015).

Selain itu, pemindahan ke pulau lain atau ke daratan Pulau Jawa juga tidak dianjurkan karena biawak merupakan predator oportunistik tingkat tinggi yang berperan penting dalam struktur trofik ekosistem pulau, termasuk sebagai pemangsa, pemakan bangkai, dan pengontrol populasi satwa lain. Intervensi berupa relokasi justru berpotensi mengganggu keseimbangan ekologis setempat serta memindahkan potensi konflik ke lokasi baru. Secara ekologis, dinamika populasi biawak di alam juga tidak pernah benar-benar stabil karena sangat dipengaruhi oleh variasi musim, ketersediaan pakan, dan kondisi lingkungan, sehingga fluktuasi populasi merupakan fenomena alami yang tidak selalu memerlukan intervensi pengelolaan (Shine et al. 1998; Uyeda et al. 2015). Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan yang lebih tepat adalah mempertahankan fungsi ekologis biawak di habitat alaminya dan meminimalkan intervensi langsung terhadap populasi.

Beberapa rekomendasi yang telah dijelaskan dapat menjadi rujukan pengelolaan untuk menindaklanjuti ancaman predasi terhadap penyu sisik oleh biawak. Selain itu, upaya jangka panjang yang perlu dipertimbangkan yaitu penelitian lanjutan mengenai perilaku jelajah biawak. Pemanfaatan teknologi seperti penandaan GPS dapat memberikan informasi detail mengenai radius jelajah, kronologi waktu aktivitas, serta respons biawak terhadap perubahan habitat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alisa CAG, Albirqi PMS, Faizal I. 2020. Kandungan timbal dan kadmium pada air dan sedimen di perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Jurnal Akuatika Indonesia*. 5(1):21. doi:10.24198/jaki.v5i1.26523.
- Allan B, Arnould JPY, Martin J, Ritchie EG. 2013. A cost-effective and informative method of GPS tracking wildlife. *Wildlife Research*. 40:1–10. doi:10.1071/WR13069.
- Atuany DJ, Hitipeuw JC, Tuhumury A. 2020. Karakteristik area tempat bertelur penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) Pantai Faong Taman Nasional Manusela. *Makila: Jurnal Penelitian Kehutanan*. 14(2):135–146.
- Azizi A, Setyowati WN, Fairus S, Puspito DA, Irawan DS. 2021. Microplastic pollution in the sediment of Jakarta Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 930(1):012010. doi:10.1088/1755-1315/930/1/012010.
- Bennett D. 1995. *A Little Book of Monitor Lizards*. Great Britain: Viper Press.
- Blamires SJ. 1999. Quantifying the impact of predation on sea turtle nests by varanids at Fog Bay [tesis]. Darwin (AU): Northern Territory University.
- Borden R. 2007. *Varanus salvator* (Asian water monitor) migration. *Biawak*. 1(2):84.
- Bowen BW, Karl SA. 2007. Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Molecular Ecology*. 16(23):4886–4907. doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03542.x.
- Briggs V, Evans P, Klovansh C, Mazzotti F. 2022. A species bioprofile for the Asian water monitor (*Varanus salvator*). *Southeastern Naturalist*. 21:1–12. doi:10.1656/058.021.0302.
- Brothers JR, Lohmann KJ. 2015. Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles. *Current Biology*. 25(3):392–396. doi:10.1016/j.cub.2014.12.035.
- Brunell AM, Deem V, Bankovich B, Bled F, Mazzotti FJ. 2023. Effects of translocation on American crocodile movements and habitat use in South Florida. *Journal of Wildlife Management*. 87(6):e22427. doi:10.1002/jwmg.22427.
- Bundhitwongrut T, Saguensab S, Thirakhupt K, Pauwels OSG. 2008. A case of predation of the water monitor (*Varanus salvator*) on the western snail-eating turtle (*Malayemys macrocephala*) in Bangkok. *Biawak*. 2(3):106–108.
- Cain P, Cross M. 2018. An open-source hardware GPS data logger for wildlife radio-telemetry studies: a case study using eastern box turtles. *HardwareX*. 3:e00028. doi:10.1016/j.ohx.2018.02.002.
- Carmo HMA, Mühlen EV, Monteiro C, Santos AJB, Corso G. 2023. Animal predation of sea turtle nests: a review of occurrence and mitigation methods. *Herpetological Review*. 54(2):185–194.
- Conrad JL, Balcarcel AM, Mehling CM. 2012. Earliest example of a giant monitor lizard (*Varanus*, Varanidae, Squamata). *PLoS ONE*. 7:e41767. doi:10.1371/journal.pone.0041767.
- Conta M. 2011. Mating and intraspecific behavior of *Varanus salvator macromaculatus* in an urban population. *Biawak*. 5:17–23.
- Cordova MR, Nurhati IS. 2019. Major sources and monthly variations in the release of land-derived marine debris from the Greater Jakarta area, Indonesia. *Scientific Reports*. 9:18730. doi:10.1038/s41598-019-55065-2.
- Darwati H, Rosmiyati M, Destiana. 2022. Deskripsi vegetasi zona inti pantai peneluran penyu Desa Sebusus, Kabupaten Sambas. *Jurnal Hutan Lestari*. 20(1):220–230.
- De Lisle HF. 2007. Observations on *Varanus salvator salvator* in North Sulawesi. *Biawak*. 1(2):59–66.

- Dewanti AP, Prasetyo LB, Mardiasuti A. 2026. Land cover changes in oil-spill affected area: a case study in Pulau Rambut Wildlife Sanctuary. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. doi:10.18343/jipi.31.2.245.
- Dwiyitno, Andayani F, Anissah U, Januar HI, Wibowo S. 2020. Concentration and characteristic of floating plastic debris in Jakarta Bay: a preliminary study. *Squalen Bulletin*. 15(3):109–115. doi:10.15578/squalen.v15i3.462.
- Fatianisa F, Zuhra A. 2025. Perdagangan ilegal penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*) di Kalimantan Timur berdasarkan CITES 1973. *Jurnal Reformasi Hukum Trisakti*. 7(2).
- Firdausy MS, Mardiasuti A, Mulyani YA. 2021. Abundance of waterbirds and distribution of nesting trees in Pulau Rambut Wildlife Sanctuary, Jakarta Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 771(1):012028. doi:10.1088/1755-1315/771/1/012028.
- Fukuda Y, Webb G, Manolis C, Lindner G, Banks S. 2019. Translocation, genetic structure and homing ability confirm geographic barriers disrupt saltwater crocodile movement and dispersal. *PLoS ONE*. 14(8):e0205862. doi:10.1371/journal.pone.0205862.
- Gibbon JH, Lim J, González-Abarzúa M, Orozco-Ter Wengel P, Lam TTY, Goossens B. 2024. Active forest nesting site, mating and cannibalistic oophagy behaviour in the Asian water monitor (*Varanus salvator*). *Herpetological Bulletin*. 168:8–11. doi:10.33256/hb168.811.
- Guerrero-Sanchez S, Majewski K, Orozco-terWengel P, Saimin S, Goossens B. 2022. The effect of oil palm-dominated landscapes on the home range and distribution of a generalist species. *Ecology and Evolution*. 12(1):e8531. doi:10.1002/ece3.8531.
- Karunarathna DMSS, Surasinghe TD, Silva MCD, Madawala MB, Gabadage DE, Botejue WMS. 2015. Dietary habits of *Varanus salvator salvator* in Sri Lanka. *Herpetological Bulletin*. 133:23–28.
- Kulabong S, Mahaprom R. 2015. Observation on food items of Asian water monitor (*Varanus salvator*) in urban ecosystems. *Biodiversity Journal*. 6(3):695–698.
- Mahaprom R, Kulabong S. 2018. Feeding habit of *Varanus salvator* on *Duttaphrynus melanostictus*. *Biodiversity Journal*. 9(3):213–216. doi:10.31396/Biodiv.Jour.2018.9.3.213.216.
- Mardiasuti A. 2022. Waterbird community in Pulau Rambut Wildlife Sanctuary, Jakarta Bay. *IOP Conference Series*. 950(1):012031. doi:10.1088/1755-1315/950/1/012031.
- Mardiasuti A, Kusri MD. 2023. Kitten predation by a water monitor (*Varanus salvator*) in an urban residential area. *Herpetological Notes*. 16:653–655.
- Santoro A, Summers V, Chambers JM, Beatty SJ. 2025. Post-translocation movements of a freshwater turtle include homing behaviour. *Aquatic Conservation*. 35(3):e70116. doi:10.1002/aqc.70116.
- Traeholt C. 1997. Activity patterns of free-living water monitor lizards (*Varanus salvator*). *Malayan Nature Journal*. 50:301–315.
- Uyeda L. 2009. Garbage appeal: relative abundance of water monitor lizards (*Varanus salvator*) correlates with presence of human food leftovers on Tinjil Island, Indonesia. *Biawak*. 3(1):9–17.
- Uyeda LT. 2015. The Water Monitor Lizard *Varanus salvator*: Behavior, Ecology, and Human Dimensions in Banten, Indonesia [Dissertation]. University of Washington.
- Uyeda L, Entang I, Aaron W, Randall K. 2013. Nocturnal Activity of *Varanus Salvator* on Tinjil Island, Indonesia. *Biawak* 7(1): 25–30.
- Wiat M-A, Hubert P, Sirguey P, Pouille M-L. 2015. Performance and Accuracy of Lightweight and LowCost GPS Data Loggers According to Antenna Positions, Fix Intervals, Habitats and Animal Movements. *PLoS ONE*. 10. doi:10.1371/journal.pone.0129271.
- Yu X, Mohd Zanudin ABT, Rusli MU, Booth DT, Lei J. 2021. Diet reflects opportunistic feeding habit of the Asian water monitor (*Varanus salvator*). *Animal Biology*. 72(1):27–37. doi:10.1163/15707563-bja10065.

Yudha AP, Kusri MD, Arida E. 2020. Perburuan dan Perdagangan Biawak Air, *Varanus salvator* (Laurenti, 1768) di Daerah Bogor. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Masyarakat Etnobiologi Indonesia ke V*. 20–28.

LAMPIRAN

Efektivitas Alat GPS *Tracker* Untuk Biawak Air

Pergerakan merupakan interaksi satwa yang berlangsung terus-menerus dengan lingkungannya, mencerminkan pengaruh faktor biotik dan abiotik terhadap penggunaan ruang dan habitat. Dengan memahami pola pergerakan satwa, khususnya biawak, maka pengelolaan habitat dan mitigasi konflik dengan spesies lain seperti penyu dapat dirancang secara lebih efektif (Ross et al., 2019). Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk memahami aspek ini adalah dengan penggunaan teknologi GPS tracker yang memungkinkan pemantauan wilayah jelajah individu secara real-time. Wilayah jelajah atau home range adalah area yang dilalui individu dalam aktivitas normal seperti mencari makan, berlindung, dan bereproduksi. Ukuran wilayah jelajah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis kelamin, ukuran tubuh, serta kondisi lingkungan (Slavenko et al., 2016; Ross et al., 2019). Dengan data pergerakan yang diperoleh melalui GPS tracker, diharapkan dapat diperoleh informasi spasial yang akurat untuk merancang intervensi konservasi, termasuk potensi zonasi habitat atau pengelolaan populasi yang lebih adaptif di Pulau Rambut.

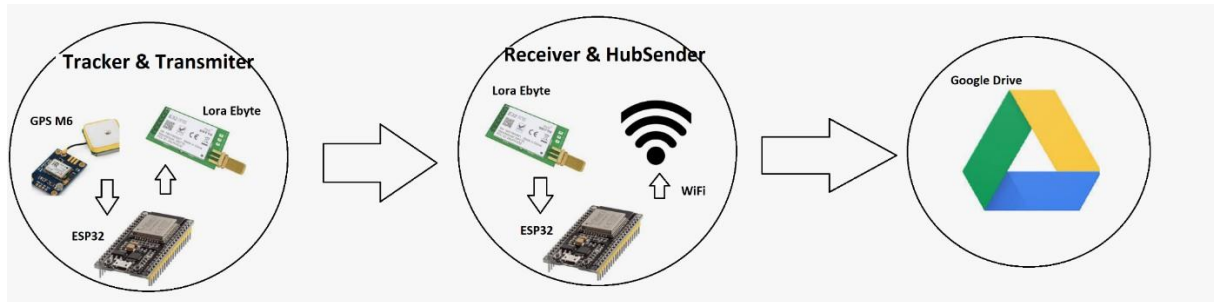
GPS tracking merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengamati pergerakan satwa liar. Teknik ini memungkinkan para peneliti untuk menjaga kontak dengan hewan yang diteliti. GPS tracking digunakan untuk menentukan ekologi spasial suatu spesies, pergerakan dan penggunaan habitat (Allan et al. 2013). Penggunaan GPS tracking dalam pengamatan langsung pergerakan satwa liar dianggap lebih efisien dibandingkan metode pengamatan langsung manual, karena penggunaan GPS tracking dapat menghasilkan data yang lebih akurat dibandingkan metode manual.

Meskipun penggunaan GPS dianggap efektif dan efisien dalam pengamatan pergerakan satwa liar namun harga GPS masih menjadi permasalahan yang utama. Terdapat beberapa pemasok komersial yang berspesialisasi dalam berbagai jenis perangkat pelacakan GPS pada satwa liar. Namun, GPS tracking tetap merupakan metode yang relatif mahal dengan harganya ribuan hingga puluhan ribu dollar (Matthews et al. 2013). Meskipun GPS memiliki banyak manfaat, tantangan utamanya adalah biaya per unit yang bisa mencapai \$2000-\$8000 USD, belum termasuk biaya jaringan opsional untuk mengunduh data (Cain dan Cross 2018). Biaya GPS tracker sendiri berkisar antara \$1000-\$2000 per unit (Wiart et al. 2015), Selain itu, GPS tracker komersial kerap kali harus diimpor ke Indonesia, sehingga meningkatkan biaya pengiriman dan pajak. Biaya tinggi ini dapat membatasi jumlah unit yang dapat dibeli oleh peneliti, sehingga membatasi jumlah individu yang dapat dipantau secara bersamaan.

Penelitian Sawaki (2025) menunjukkan bahwa GPS tracker dapat dibuat secara mandiri dengan harga yang relatif lebih murah dari di pasar. Namun demikian, masih ada kelemahan dari GPS ini yaitu baterai yang hanya bertahan satu minggu. Selain itu, sinyal yang dilepaskan oleh transmitter hanya bisa ditangkap oleh peneliti yang aktif melakukan pencarian menggunakan receiver. Untuk itu diperlukan pengembangan alat yang dibuat Sawaki (2025) apalagi alat yang dibuat saat itu dipasang pada kura-kura yang berbeda morfologinya dengan biawak. Berdasarkan hasil uji coba diketahui terdapat dua masalah utama yang menyangkut pada pengembangan alat GPS tracker yaitu 1) pengembangan alat dan 2) pemasangan alat.

3.3.1 Pengembangan Alat

Terdapat dua alur komunikasi pada pengembangan GPS Tracker (Gambar 3.5). Pertama data lokasi yang sudah diambil dari Modul GPS akan dikirim ke Perangkat penerima data dengan menggunakan jaringan radio komunikasi (LoRa). Langkah ke dua, data yang sudah diterima oleh perangkat penerima akan dikirim ke Google Drive dengan menggunakan jaringan WiFi yang tersedia dan ditampilkan dalam Spreadsheet Google Drive sebagai basis data.



Gambar 3.5. Alur Komunikasi Data.

Dari gambar terlihat bahwa terdapat dua perangkat utama dan satu perangkat tambahan untuk memastikan jaringan komunikasi berjalan dengan baik. pertama adalah perangkat tracker yang berfungsi untuk mengambil lokasi serta mengirimkannya dengan menggunakan komunikasi radio LoRa, serta Receiver sebagai penerima data dan pengirim data ke Basis data menggunakan jaringan WiFi. terdapat satu perangkat virtual yaitu Google Drive yang berfungsi sebagai penerima dan penyimpanan data.

3.3.1.1. Prototype 1

Prototype pertama merupakan tahap eksplorasi dasar, dengan komponen utama berupa ESP32 sebagai mikrokontroler, modul LoRa Ebyte sebagai pengirim data jarak jauh, serta modul GPS u-blox Neo-6M untuk pelacakan lokasi (Gambar 3.6). Daya berasal dari baterai lithium-ion 18650 berdimensi $\varnothing 18 \text{ mm} \times \text{panjang } 65 \text{ mm}$ dengan kapasitas 2300 mAh yang dipasang dalam soket. Kelebihan prototipe pertama adalah fleksibilitas dalam pengujian daya. Dengan soket, baterai bisa dilepas pasang dengan mudah, sehingga tim dapat menguji penggunaan daya. Modul Neo-6M dipilih karena harganya terjangkau dan ketersediaannya luas, sehingga cocok sebagai basis awal pengembangan. LoRa Ebyte memberi keunggulan komunikasi jarak jauh, meskipun masih dalam tahap pengujian dasar. Karakter dari prototipe ini adalah eksperimental. Fokus pengembangan adalah kompatibilitas antar modul.

Kelemahan penggunaan soket baterai adalah adanya kemungkinan pemasangan baterai dengan polaritas terbalik. Pada salah satu uji, kesalahan ini menyebabkan perangkat terbakar. Selain itu, bentuk perangkat yang panjang dari kombinasi soket + baterai 18650 membuatnya tidak ideal untuk aplikasi di lapangan, khususnya jika dipasang pada hewan. Kesimpulannya, Prototype 1 sukses sebagai proof-of-concept tetapi gagal dari sisi keamanan dan ergonomi. Penggunaan soket dianggap terlalu berisiko, sehingga tim memutuskan untuk beralih ke baterai permanen dengan sistem solder pada tahap berikutnya.



Gambar 3.6. Prototype I.

3.3.1.2. Prototype 2 – Baterai Permanen + Charging

Prototype kedua membawa perbaikan penting pada sistem daya (Gambar 3.7). Soket baterai diganti dengan baterai 18650 yang langsung disolder ke papan, sehingga pemasangan menjadi permanen dan lebih aman. Selain itu, modul charging TP4059 ditambahkan agar baterai bisa diisi ulang tanpa dilepas, cukup dengan kabel pengisi daya. Ini membuat perangkat lebih praktis untuk penggunaan jangka panjang. Modul GPS juga ditingkatkan menjadi u-blox Neo-7M, yang menawarkan sensitivitas sinyal lebih baik daripada Neo-6M (Gambar 3.8).



Gambar 3.7. Prototype II.

Karakteristik	u-blox M6 (NEO-6M)	u-blox M7 (NEO-7M)
Generasi / Engine	u-blox 6	u-blox 7
Konstelasi / GNSS yang Didukung	GPS (L1 C/A)	GPS, GLONASS, QZSS, SBAS
Time-To-First-Fix (TTFF)	Cold start ~ 27 s (NEO-6M)	Lebih cepat atau sebanding tergantung kondisi; engine 7 dirancang untuk waktu akuisisi yang kompetitif
Jumlah Channels	~ 50 channels (NEO-6)	Engine 7 juga mendukung banyak channel, tapi spesifikasi bervariasi tergantung varian
Akurasi Posisi	$\pm$ ~2.5 m (horizontal) dalam kondisi ideal	Akurasi sebanding untuk use case GPS + GLONASS / SBAS, tergantung lingkungan

Gambar 3.8. Karakteristik untuk masing-masing u-blox M6 dan u-blox M7

Kelebihan dari desain ini adalah meningkatnya keamanan dan keandalan sistem daya. Dengan solder permanen, risiko kesalahan polaritas dapat dieliminasi sepenuhnya. Penambahan modul charger internal memungkinkan perangkat tetap ringkas dan tidak bergantung pada sistem cas eksternal. Penggunaan GPS Neo-7M juga meningkatkan kualitas penerimaan sinyal dalam kondisi terbuka maupun semi-terhalang.

Karakter prototype kedua adalah lebih matang dibandingkan versi awal. Jika Prototype 1 lebih eksperimental, maka Prototype 2 sudah mulai mengarah ke desain yang siap diuji lapangan. Perangkat lebih ringkas, lebih aman, dan lebih stabil dari segi penyediaan daya. Fokusnya bergeser dari sekadar uji modul ke arah kestabilan sistem secara keseluruhan. Meski demikian, masalah tetap muncul pada uji lapangan. Pada percobaan pertama, GPS gagal menerima sinyal karena dipasang di bawah antena listrik bertegangan tinggi. Pada percobaan kedua, setelah posisi diubah, GPS berhasil mendeteksi kendaraan. Namun, pada percobaan ketiga, sinyal GPS kembali terganggu karena kapasitor besar menutupi area antena GPS. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak fisik komponen memengaruhi performa GPS secara signifikan.

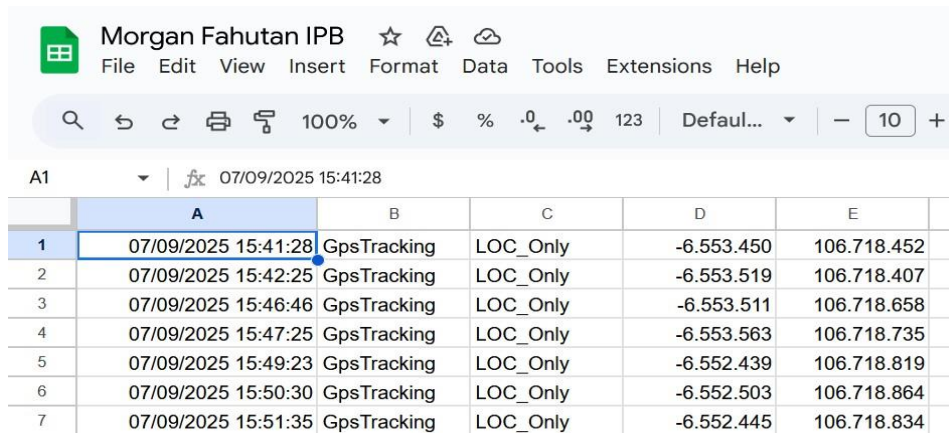
Kesimpulannya, Prototype 2 berhasil memperbaiki keamanan sistem daya sekaligus meningkatkan performa GPS. Namun, uji lapangan mengajarkan bahwa penempatan antena GPS sangat krusial, sehingga perlu perhatian lebih dalam desain fisik.

3.3.1.3. Prototype 3 – Sistem Penerima Data (*Receiver*)

Prototype ketiga berfokus pada pembangunan sistem penerima data (*Receiver*). Konsepnya adalah perangkat GPS Tracker mengirim data melalui LoRa, lalu Receiver menerima data tersebut, menghubungkannya ke Wi-Fi, dan mengunggahnya ke Google Drive (Gambar 3.9). Pemilihan Google Drive didasari alasan biaya yang gratis serta ketersediaannya yang mudah. Dengan kombinasi ini, sistem tidak hanya mampu melacak, tetapi juga menyimpan data lokasi secara daring untuk analisis lebih lanjut.

Kelebihan utama dari desain ini adalah integrasi data ke cloud. Dibandingkan sekadar mencatat lokal, data yang tersimpan di Google Drive lebih aman, dapat diakses dari berbagai perangkat, dan mempermudah kolaborasi tim. Hal ini menandai lompatan besar dari sistem hardware

semata ke sistem IoT yang terhubung ke internet. Secara teknis, Receiver juga menambah lapisan redundansi untuk memastikan data GPS tidak hilang.



	A	B	C	D	E
1	07/09/2025 15:41:28	GpsTracking	LOC_Only	-6.553.450	106.718.452
2	07/09/2025 15:42:25	GpsTracking	LOC_Only	-6.553.519	106.718.407
3	07/09/2025 15:46:46	GpsTracking	LOC_Only	-6.553.511	106.718.658
4	07/09/2025 15:47:25	GpsTracking	LOC_Only	-6.553.563	106.718.735
5	07/09/2025 15:49:23	GpsTracking	LOC_Only	-6.552.439	106.718.819
6	07/09/2025 15:50:30	GpsTracking	LOC_Only	-6.552.503	106.718.864
7	07/09/2025 15:51:35	GpsTracking	LOC_Only	-6.552.445	106.718.834

Gambar 3.9. Tampilan Data Tersimpan di Google Drive.

Karakter prototype ini adalah transisi menuju sistem IoT penuh. Jika sebelumnya fokus hanya pada perangkat GPS itu sendiri, kini fokus meluas ke sistem komunikasi dan penyimpanan data. Receiver menjadi bagian penting dari keseluruhan ekosistem, menjembatani perangkat GPS di lapangan dengan pengguna di internet. Namun, kelemahan segera ditemukan. Receiver ternyata selalu mati setelah 3 jam operasi. Setelah ditelusuri, penyebabnya adalah bug pada program, di mana koneksi Wi-Fi membutuhkan pembaruan kredensial setiap beberapa jam. Karena tidak ada mekanisme auto-reconnect, perangkat berhenti berfungsi setelah jangka waktu tertentu. Hal ini membatasi fungsionalitas lapangan yang seharusnya beroperasi 24/7.

Kesimpulannya, Prototype 3 memperkenalkan fondasi IoT yang kuat, tetapi bug pada Receiver menunjukkan pentingnya pemeliharaan konektivitas Wi-Fi. Perangkat harus mampu mendeteksi putusya koneksi dan melakukan reconnect otomatis.

3.3.1.4. Prototype 4 – Receiver Stabil + Baterai Kotak

Prototype keempat dikembangkan sebagai respons langsung terhadap masalah pada sistem Receiver pada generasi sebelumnya, khususnya terkait stabilitas koneksi Wi-Fi dan ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan (Gambar 3.10). Pada fase ini, pengembangan dilakukan secara simultan pada sisi perangkat lunak, perangkat keras, serta modul navigasi satelit yang digunakan. Perbaikan utama pada Prototype 4 terletak pada implementasi Wi-Fi monitoring routine dan auto-reconnect mechanism. Secara teknis, algoritma ini melakukan pemantauan periodik terhadap status koneksi, deteksi network stall atau socket hang dan reconnect modul WiFi. Implementasi ini terbukti meningkatkan performa secara signifikan dan perangkat mampu tanpa mengalami drop koneksi.



Gambar 3.10. Prototype IV.

Perubahan struktural pada perangkat juga dilakukan dengan mengganti baterai silinder 18650 menjadi baterai litium prismatic berukuran $\pm 4 \times 3 \times 1$ cm dengan kapasitas sekitar 2300 mAh. Faktor teknis yang menjadi dasar perubahan ini adalah densitas volumetrik, kemudahan integrasi dan efisiensi penggunaan ruang.

Prototype 4 menggunakan modul GNSS u-blox M10 sebagai peningkatan langsung dari modul ublox M6 yang digunakan pada model sebelumnya (Tabel 3.3). Peralihan ini dilakukan berdasarkan evaluasi performa satelit, efisiensi energi, dan resistensi terhadap multipath. Perbandingan ilmiahnya sebagai berikut:

Tabel 3.3. Tabel Perbandingan Ublox M6 dan M10.

Parameter	Ublox M6	Ublox M10
Sensitivitas tracking	~−160 dBm	~−167 dBm
Time-to-first-fix (cold start)	lebih lama	lebih cepat

Modul u-blox M10 menawarkan peningkatan kinerja signifikan dibandingkan u-blox M6, terutama pada sensitivitas penerimaan sinyal, efisiensi energi, dan kemampuan multi-GNSS. M10 memiliki sensitivitas tracking sekitar 167 dBm lebih sensitif daripada M6 yang berada di kisaran 160 dBm sehingga lebih mampu mempertahankan satellite fix pada kondisi tertutup atau sinyal marginal. Selain itu, M10 mendukung kombinasi GPS, Galileo, BeiDou, dan GLONASS secara simultan, sedangkan M6 umumnya bekerja hanya dengan satu atau dua konstelasi, sehingga performanya menurun pada lingkungan multipath. Dari sisi konsumsi daya, M10 bekerja pada 12–18 mW, hampir separuh dari kebutuhan M6 yang mencapai 30–40 mW, menjadikannya jauh lebih efisien untuk perangkat bertenaga baterai. Sementara itu, M6 tetap memiliki keunggulan pada stabilitas dasar dan kesederhanaan konfigurasi, tetapi secara keseluruhan M10 memberikan akurasi yang lebih baik, fix yang lebih konsisten, serta daya tahan operasi yang lebih lama, sehingga lebih unggul untuk aplikasi pemantauan jangka panjang dan lingkungan yang dinamis.

Meskipun performa elektronik meningkat, kegagalan terjadi pada aspek mekanik—khususnya pada perlindungan terhadap air. Pada awalnya digunakan lapisan balon/kondom sebagai metode waterproofing sementara. Namun beberapa masalah kritis muncul saat pengujian awal yaitu Kondom robek ketika bersentuhan dengan ujung komponen elektronik tajam dan Bahan lubricant kondom umumnya berbasis air atau gliserin dengan pH netral–sedikit asam. Zat ini bersifat konduktif.

3.3.1.5. Prototype Final

Prototype Final (Gambar 3.11) dikembangkan untuk menjawab kelemahan utama pada generasi sebelumnya, yaitu kegagalan waterproofing akibat penggunaan pelindung sementara yang tidak kompatibel dengan sifat mekanik dan kimia perangkat elektronik (Gambar 3.12). Pada versi akhir ini, fokus utama diarahkan pada peningkatan integritas struktural terhadap air dan kelembapan, seiring dengan penyusunan ulang desain internal yang lebih kompak melalui konfigurasi baterai stacked. Implementasi strategi waterproofing yang lebih matang diperlukan karena perangkat ditujukan untuk aplikasi lapangan jangka panjang dengan paparan kondisi ekstrem seperti hujan, lumpur, dan imersi singkat dalam air.



Gambar 3.11. Prototype Final.



Gambar 3.12. Prototype GPS Tracker Final & Harness.

Solusi utama yang diterapkan pada Prototype Final adalah penggunaan kombinasi PVC heat-shrink tubing sebagai lapisan struktural kedap air dan rubber sleeve sebagai lapisan peredam mekanik. PVC heat-shrink berfungsi sebagai penutup yang menyatu secara termoplastik dengan bentuk perangkat ketika dipanaskan, menghasilkan lapisan kontinu tanpa sambungan terbuka yang biasanya menjadi jalur masuk air. Material PVC juga memiliki permeabilitas uap air rendah dan stabil pada rentang suhu operasi perangkat, sehingga memberikan ketahanan yang lebih ilmiah dapat dipertanggungjawabkan. Lapisan rubber di bagian luar bekerja sebagai mechanical dampener yang menyerap tekanan dan lenturan, mencegah penetrasi air akibat tusukan mikroskopik atau kerusakan minor yang umum terjadi pada lingkungan berbatu atau bervegetasi rapat. Kombinasi dua lapisan ini menghasilkan sistem waterproofing berlapis yang tidak hanya kedap air, tetapi juga mampu menahan kompresi, goresan, serta deformasi yang dapat memicu kebocoran pada lapisan tunggal.

Sebagai bagian dari evaluasi mekanik, perangkat kemudian diuji menggunakan sebuah harness khusus untuk menilai apakah ada kendala fisik ketika dipasang pada hewan. Harness dirancang dalam bentuk kantung berbahan polyurethane (PU) transparent pouch sebagai lapisan dalam, dikombinasikan dengan lapisan luar dari kain cordura yang kuat, tahan gesek, dan tidak mudah sobek. Sistem pengunci harness menggunakan side-release buckle yang mudah dipasang dan memberikan keamanan mekanik tanpa menghambat pergerakan hewan. Pengujian awal menunjukkan bahwa perangkat tetap stabil di dalam kantung sehingga dinilai aman secara mekanik.

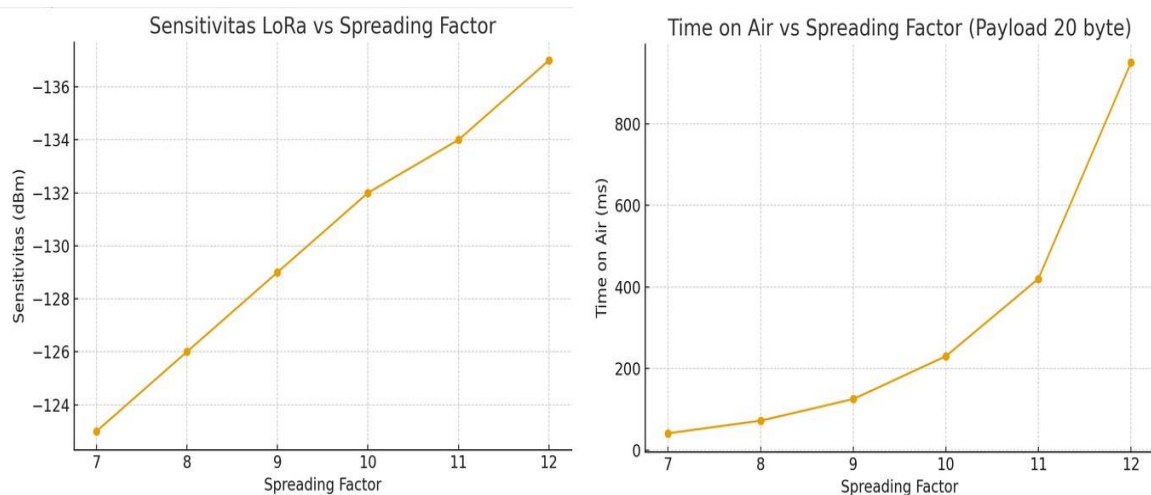
Integrasi PVC heat-shrink, rubber sleeve, dan sistem harness berbasis PU pouch + cordura + siderelease buckle menghasilkan peningkatan besar dalam ketahanan mekanik dan waterproofing perangkat. Lapisan pelindung dua tahap memberikan perlindungan yang lebih konsisten terhadap air dan tekanan lingkungan, sedangkan harness yang dirancang khusus memastikan perangkat dapat dipasang dengan aman tanpa menimbulkan gangguan biomekanik pada hewan. Walaupun uji lapangan jangka panjang pada kondisi ekstrem tetap diperlukan, desain final ini menunjukkan kesiapan untuk memasuki tahap pre-deployment, dengan ketahanan struktural dan kenyamanan pemakaian yang lebih baik dibanding seluruh prototipe sebelumnya.

3.3.2 Pemakaian Alat

Uji Coba pemakaian alat dilakukan di Pulau Rambut, setelah sebelumnya diuji coba di kampus. Pulau ini relatif kecil, tetapi memiliki vegetasi yang padat serta dikelilingi garis pantai. Kondisi tersebut membuat komunikasi jarak jauh menggunakan perangkat elektronik menghadapi tantangan tersendiri, terutama dalam hal jangkauan sinyal dan ketersediaan sumber daya listrik.

Salah satu kendala utama adalah proses pengambilan alat yang dipasang di lapangan. Pulau Rambut tidak memiliki akses transportasi yang mudah, sehingga perjalanan menuju lokasi memerlukan waktu dan biaya tambahan. Dengan kondisi ini, perangkat yang dipasang pada hewan tidak boleh sering-sering diambil hanya untuk mengunduh data. Inilah alasan mengapa komunikasi jarak jauh yang andal menjadi krusial.

Dari sisi teknis, penelitian mencoba memanfaatkan teknologi LoRa (*Long Range*). LoRa adalah sebuah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk menjangkau jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa bekerja pada frekuensi sub-GHz, misalnya 433 MHz atau 915 MHz, dengan jangkauan bisa mencapai lebih dari 5 km di daerah terbuka. Namun, performa LoRa sangat bergantung pada pengaturan parameter yang disebut spreading factor. Spreading factor adalah rasio penyebaran sinyal yang memengaruhi kecepatan dan jangkauan komunikasi. Semakin tinggi spreading factor, jangkauan sinyal semakin jauh, tetapi kecepatan transfer data semakin rendah dan waktu transmisi semakin lama (Gambar 3.13). Misalnya, spreading factor 7 cocok untuk jarak dekat dengan kecepatan tinggi, sedangkan *spreading factor* 12 lebih cocok untuk jarak jauh dengan konsumsi daya lebih besar.

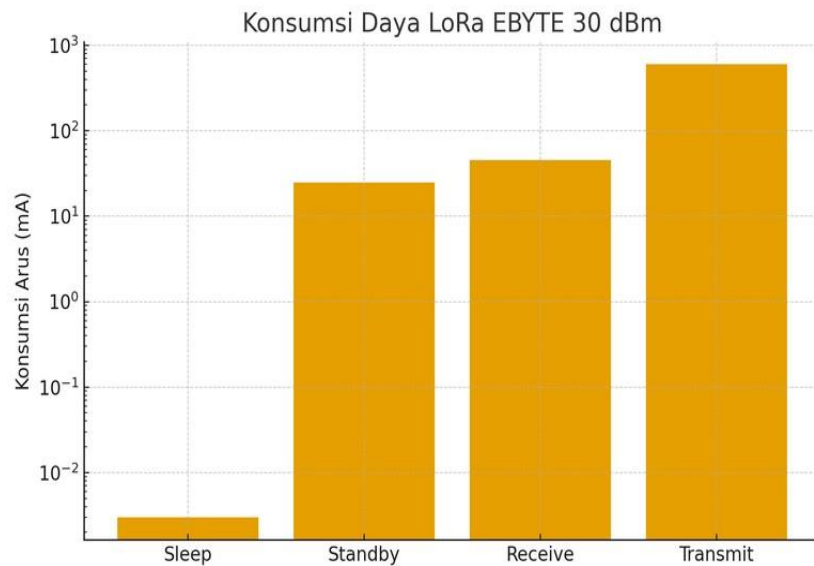


Gambar 3.13. Perbandingan *Spreading Factor* , ToA dan Sensitivitas.

Pengaturan spreading factor menjadi salah satu fokus utama pada minggu pertama penelitian. Dari hasil uji coba, ditemukan bahwa LoRa dengan spreading factor tinggi bisa mengcover 1/10 area pulau rambut, tetapi konsekuensinya adalah baterai cepat habis. Dengan demikian, perlu dicari keseimbangan antara jangkauan yang cukup luas dan konsumsi daya yang lebih efisien. selain itu pengurangan hambatan dengan meninggikan antena penerima juga bisa menjadi opsi karena sinyal LoRa akan sangat berkurang bila harus merambat di permukaan yang sangat heterogen seperti semak dan pepohonan.

Mode yang digunakan pada perangkat adalah mode transparant. Mode ini mempermudah proses pengembangan karena LoRa yang berfungsi layaknya walkie-talkie digital: apa yang dikirim langsung diterima. Namun, kelemahan dari mode ini adalah keamanan dan kontrol komunikasi menjadi lebih terbatas. Meskipun begitu, untuk keperluan penelitian di Pulau Rambut, mode transparan cukup efektif karena fokus utama adalah keandalan komunikasi.

Tantangan berikutnya adalah bagaimana membuat tracker (perangkat LoRa yang dipasang pada hewan) dapat merespons saat receiver memanggil. Konsep ini mirip dengan “handshaking”, yaitu proses saling sapa antara dua perangkat agar komunikasi dua arah dapat berlangsung. Sayangnya, ketika tracker berada dalam mode tidur (sleep mode), perangkat tidak dapat mendengar panggilan dari luar. Sleep mode adalah fitur penting LoRa karena membuat perangkat sangat hemat daya. Dalam kondisi ini, konsumsi arus bisa turun hingga di bawah 10 μ A. Namun, kelemahan utamanya adalah perangkat benar-benar pasif, sehingga tidak bisa menerima sinyal masuk. Dengan kata lain, perangkat menjadi “bisu dan tuli” selama tidur (Gambar 3.14).



Gambar 84. Grafik Tes Penggunaan Daya LoRa Pada Beberapa Mode Operasi.

Pada Mode Transmit LoRa Membutuhkan daya sangat tinggi, sedangkan dan saat mode Receive dan StandBy LoRa hanya menggunakan daya 20-40 mAH. Mode yang digunakan pada perangkat Tracker adalah Mode Transmit selama 2 detik, standby selama 120 detik dan sleep selama 30 menit.

Ada opsi lain yaitu menggunakan mode WOR (*Wake on Radio*). Dalam mode ini, LoRa tetap menjaga sebagian sistemnya agar bisa mendeteksi sinyal tertentu dan membangunkan perangkat. LoRa juga bisa memanfaatkan pin AUX sebagai interrupt, yaitu sinyal khusus yang bisa membangunkan mikrokontroler (seperti ESP32). Sayangnya, konsumsi daya dalam mode ini masih cukup tinggi, berkisar 1–2 mA, yang berarti baterai cepat habis jika dipakai dalam jangka panjang. Dari perhitungan kasar, jika sebuah tracker hanya menggunakan baterai 2000 mAh dan konsumsi dalam mode WOR sekitar 2 mA, jika tracker benar-benar sleep dengan konsumsi 10 μ A, baterai yang sama bisa bertahan lebih dari 200 kali lebih lama secara teoritis. Perbedaan ini sangat signifikan bagi penggunaan di lapangan.

Melihat keterbatasan LoRa, penelitian mencoba opsi lain dengan memanfaatkan jaringan seluler 4G. Di Pulau Rambut, sinyal internet relatif tersedia, meskipun tidak selalu stabil. Dengan menggunakan modem 4G, tracker bisa langsung mengirimkan data ke server pusat melalui internet tanpa bergantung pada jangkauan LoRa. Akan tetapi, penggunaan modem 4G juga tidak lepas dari kendala. Salah satunya adalah manajemen daya. Modem 4G umumnya memerlukan tegangan 5V dengan arus puncak yang bisa mencapai 2A saat transmit. Untuk itu, dibutuhkan komponen tambahan berupa MOSFET untuk mengendalikan daya yang nantinya digunakan oleh mode.

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah komponen semikonduktor yang berfungsi seperti saklar elektronik. Dengan menambahkan MOSFET, sistem dapat mengatur kapan modem 4G dihidupkan atau dimatikan. Hal ini penting agar baterai tidak terkuras saat modem tidak digunakan. Dari sisi waktu, modem 4G juga membutuhkan interval yang cukup lama untuk terhubung ke BTS (*Base Transceiver Station*). Proses ini bisa memakan waktu beberapa detik hingga puluhan detik. Sehingga perlu strategi time management atau

manajemen waktu untuk hanya mengaktifkan perangkat pada interval yang tepat. Dengan cara ini, efisiensi energi lebih terjaga tanpa mengorbankan kebutuhan monitoring.

Dari keseluruhan penelitian, terlihat adanya trade-off atau pertukaran antara tiga aspek utama: jangkauan, konsumsi daya, dan kecepatan komunikasi. LoRa unggul dalam efisiensi energi tetapi membutuhkan infrastruktur WiFi yang harus memadai. Sementara 4G unggul dalam stabilitas komunikasi, tetapi boros daya dan lebih rumit dari sisi management waktu pengiriman.

3.3.3 Pengujian Alat *Tracking*

Pengujian perangkat telemetri diawali dari area sekitar MES, yang merupakan titik utilitas dan pusat aktivitas di Pulau Rambut. Pada titik awal ini, perangkat menunjukkan performa optimal. Proses tagging berlangsung cepat, data berhasil dikirim tanpa kendala, sinyal internet stabil, dan modul GPS mampu memperoleh lokasi (fix) dalam waktu singkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa area MES memiliki kualitas sinyal operator yang baik dan pandangan langit yang relatif terbuka. Setelah pengujian dasar berhasil, perangkat dibawa menjauhi area MES untuk mengetahui batas performa perangkat dalam kondisi lapangan yang lebih menantang. Pengujian dilakukan dalam dua skenario pemasangan antenna GPS, yaitu:

- GPS berada di dalam kotak perangkat, dan
- GPS dikeluarkan dari kotak, dengan posisi lebih terbuka.
- Perangkat dipegang vs diletakkan di tanah
- Perbedaan orientasi PCB, modul modem, dan antenna
- Pengujian teknik hemat daya
- Pengujian switch modem menggunakan MOSFET vs direct power

Pengujian lapangan difokuskan pada tiga area utama yang merupakan representasi kondisi pengamatan di pulau rambut (Tabel 3.4). Pertama secara geografis pulau rambut memiliki area terbuka dan memiliki akses jaringan yang baik di sekitar MES. Kedua Adalah kondisi Tengah pulau yang merupakan area hutan dengan tutupan vegetasi rapat namun masih memiliki jaringan internet yang bisa diandalkan. Ketiga adalah sisi belakang pulau yang memiliki kondisi jaringan minim serta kondisi vegetasi rapat dan basah.

Tabel 3.3. Hasil pengujian lapangan.

Parameter Pengujian	Hasil
Titik awal <i>tagging</i>	Berhasil, stabil di sekitar MES
Kekuatan sinyal sisi menghadap Pulau Untung Jawa	> 50% (kuat)
Kekuatan sinyal area tengah pulau	20–30% (sedang-lemah)
Kekuatan sinyal sisi belakang pulau	20–30% (lemah)
Performa GPS saat alat di dalam kotak	GPS gagal fix
Performa GPS saat antenna di luar kotak	GPS fix dan stabil
Posisi Modem dan GPS di bawah	modem Berhasil, GPS gagal Fix
Posisi Modem dan GPS di atas	Modem dan GPS berhasil Fix
Switch modem via MOSFET	Gagal inisialisasi (sulit kirim data)

Pengujian di sekitar area MES menunjukkan bahwa perangkat dapat bekerja dengan sangat baik pada zona dengan kualitas sinyal yang stabil. Pada titik ini, proses tagging, pengiriman data, dan perolehan lokasi GPS berjalan cepat tanpa kendala berarti. Kondisi ini menegaskan bahwa performa sistem berada pada kondisi ideal bila jaringan kuat dan pandangan langit tidak terhalang. MES menjadi acuan bahwa perangkat mampu beroperasi optimal bila ditempatkan pada area dengan karakteristik serupa.

Pada sisi pulau yang menghadap Pulau Untung Jawa, sinyal seluler tercatat memiliki kekuatan lebih dari 50%, sehingga modem dapat melakukan attach, register, dan transmit data dengan stabil. Kualitas sinyal yang baik juga membuat konsumsi daya modem tetap rendah karena tidak perlu menaikkan daya pancar. Area ini dapat direkomendasikan sebagai titik yang potensial untuk penempatan perangkat, khususnya untuk mode kerja jangka panjang dengan beban daya terbatas.

Berbeda dengan sisi depan, kondisi sinyal pada area tengah pulau dan sisi belakang hanya berada pada rentang 20–30%, yang masuk kategori sedang hingga lemah. Pada kondisi ini modem masih dapat mengirimkan data, namun membutuhkan waktu dan daya lebih besar, terutama saat proses inisialisasi awal. Dengan sinyal serendah ini, kegagalan attach atau reconnect lebih mungkin terjadi, sehingga modem harus bekerja lebih keras dan konsumsi daya meningkat secara signifikan.

Pada modul GPS, pengujian menunjukkan bahwa penempatan antenna menjadi faktor paling krusial. Saat antenna ditempatkan di dalam kotak, GPS sulit memperoleh fix karena terhalang material dan minimnya sudut pandang ke satelit. Namun ketika antenna GPS ditempatkan di luar kotak dan menghadap langit, proses fix menjadi cepat dan stabil. Hal ini membuktikan bahwa pada sistem telemetri di area terbuka seperti pulau, tantangan terbesar justru bukan pada modem, tetapi pada kemampuan GPS mempertahankan sky view yang baik. Perbedaan posisi pemasangan perangkat juga memberikan dampak berbeda pada kedua modul. Ketika modem dan GPS ditempatkan di posisi rendah atau tertutup, modem masih dapat bekerja, tetapi GPS gagal fix. Sebaliknya, saat modem dan GPS ditempatkan pada posisi lebih tinggi dan terbuka, keduanya dapat bekerja normal. Kesimpulannya, modem relatif toleran terhadap posisi, tetapi GPS sangat sensitif secara orientasi maupun elevasi.

Pada pengujian sistem daya, terbukti bahwa modem tidak ideal dikendalikan melalui MOSFET, karena terjadi kegagalan inisialisasi jaringan pada kondisi sinyal lemah. Namun ketika modem disuplai langsung tanpa pemutusan MOSFET, pengiriman data berjalan normal. Selain itu, pengujian juga memperlihatkan bahwa pada area dengan sinyal lemah, modem meningkatkan daya pancar, sehingga konsumsi daya menjadi lebih tinggi. Ini menegaskan bahwa kualitas sinyal dan kestabilan suplai adalah kunci efisiensi sistem. Secara keseluruhan, pengujian menunjukkan bahwa perangkat akan bekerja optimal bila ditempatkan pada sisi pulau yang menghadap Pulau Untung Jawa, dengan GPS diposisikan terbuka dan modem diberi suplai langsung. Pada area dengan sinyal lemah, sistem masih dapat berjalan, tetapi membutuhkan daya lebih besar dan waktu lebih lama untuk inisialisasi jaringan. Dengan demikian, fokus perbaikan utama ke depan adalah optimasi penempatan GPS, suplai daya modem, dan strategi adaptasi jaringan pada area sinyal marginal.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa stabilitas sistem sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu mekanisme pemutusan daya pada modem dan kondisi lingkungan pemasangan GPS. Pada pengujian sebelumnya, metode pemutusan daya melalui MOSFET terbukti menyebabkan modem gagal melakukan proses inisialisasi ulang secara sempurna. Hal ini terjadi karena MOSFET masih memberikan aliran arus bocor meskipun perintah pemutusan daya telah dieksekusi, sementara kapasitor pada jalur suplai masih menyimpan tegangan sisa. Akibatnya, modem tidak pernah berada pada kondisi mati total, sehingga saat dinyalakan kembali, proses yang terjadi bukan cold boot, melainkan hanya brown-out. Kondisi ini membuat firmware modem tidak mengulang proses kerja dari awal, modul radio tidak melakukan registrasi jaringan secara penuh, dan prosedur AT command gagal berjalan. Dengan kata lain, modem memerlukan pemutusan daya yang benar-benar bersih hingga mencapai nol volt agar proses kerja selalu dimulai dari keadaan awal yang stabil.

Sementara itu, pada sisi GPS, gangguan utama yang ditemukan bukan berasal dari suplai daya, melainkan dari interferensi fisik dan elektromagnetik. GPS membutuhkan visibilitas langit yang jelas dan lingkungan minim gangguan agar dapat memperoleh sinyal satelit secara konsisten. Namun, ketika sistem berada di dalam enclosure, terutama saat modem juga aktif di area yang berdekatan, terjadi interferensi RF yang menghambat proses satellite acquisition. Efek shielding dari enclosure semakin memperburuk keadaan, sehingga GPS gagal mendapatkan fix meskipun antenanya telah dikeluarkan dari kotak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa GPS memerlukan jarak fisik tertentu dari sumber interferensi, terutama modem dan jalur power switching, agar kinerjanya stabil.

Untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut, solusi teknis dapat diterapkan secara langsung pada sisi desain perangkat. Pada bagian modem, diperlukan penerapan metode pemutusan daya yang menghasilkan kondisi benar-benar nol volt, misalnya dengan mengganti MOSFET menjadi high-side load switch atau menggunakan mekanisme cut-off lain yang tidak memiliki arus bocor.

Selain itu, penambahan resistor discharge dapat membantu menghilangkan tegangan sisa pada kapasitor, sehingga saat modem dinyalakan kembali, proses cold boot selalu terjadi dengan benar. Dengan pendekatan ini, modem akan mampu melakukan registrasi jaringan dengan stabil bahkan pada area dengan kekuatan sinyal yang lebih rendah. Pada GPS, solusi yang diperlukan lebih berfokus pada penataan fisik dan pengendalian interferensi. Modul GPS sebaiknya diposisikan dengan jarak minimum sepuluh hingga lima belas sentimeter dari modem, serta diletakkan pada area yang memiliki pandangan langsung ke langit tanpa terhalang *enclosure* logam. Penggunaan antena dengan ground plane dan penataan jalur kabel yang terpisah dari rangkaian DC-DC dapat semakin mengurangi gangguan RF yang sebelumnya menghambat kinerja GPS. Dengan perubahan ini, GPS akan memiliki peluang jauh lebih besar untuk mendapatkan *satellite lock* secara konsisten, bahkan saat perangkat ditempatkan pada kondisi lapangan yang menantang.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa permasalahan sistem bukan terletak pada perangkat lunak atau protokol komunikasi, melainkan berasal dari desain catu daya dan tata letak fisik komponen. Setelah kedua aspek tersebut diperbaiki, sistem diproyeksikan dapat bekerja secara stabil dalam berbagai kondisi sinyal, dengan modem yang berhasil melakukan

pengiriman data secara rutin dan GPS yang mampu mempertahankan fix satelit tanpa gangguan berarti.

3.3.4 Hasil Uji Jaringan

Pengujian kualitas sinyal di Pulau Rambut dilakukan untuk mengetahui kondisi jaringan seluler di wilayah tersebut, mengingat kawasan ini tidak memiliki infrastruktur menara BTS yang memadai. Pulau Rambut sangat bergantung pada sinyal yang dipancarkan dari Pulau Jawa, terutama dari arah Pulau Untung Jawa dan daratan Jakarta. Karena jarak antara Pulau Rambut dan Pulau Untung Jawa berada pada kisaran ± 7 km, secara teori sinyal dari BTS yang memiliki jangkauan sekitar 5–20 km masih dapat diterima. Namun, posisi pulau yang dikelilingi laut dan minimnya pemantul sinyal (seperti bangunan tinggi) menyebabkan kualitas jaringan cenderung tidak stabil, terutama di sisi pulau yang tidak berhadapan langsung dengan sumber sinyal.

Pengujian dilakukan menggunakan aplikasi OpenSignal, yang merupakan salah satu aplikasi pemetaan jaringan seluler berbasis crowd-sourced yang banyak digunakan di seluruh dunia. Kelebihan aplikasi ini adalah datanya diperkuat oleh hasil pengukuran pengguna lain di sekitar lokasi, sehingga semakin banyak pengguna di wilayah tertentu, semakin tinggi akurasi informasi yang diperoleh. Parameter utama yang diukur meliputi ketersediaan operator (provider), jenis jaringan yang tersedia, latensi (ping), serta bandwidth unggah dan unduh.

3.3.4.1. Catatan Observasi Jaringan – Pulau Rambut

Berdasarkan hasil observasi lapangan, kondisi teknologi jaringan di Pulau Rambut dapat dirangkum sebagai berikut (Tabel 3.5). Dengan demikian, jaringan 4G (LTE) menjadi satu-satunya sistem komunikasi seluler yang dapat digunakan di Pulau Rambut. Ketidakhadiran jaringan 2G dan 3G menunjukkan bahwa perangkat lama seperti GPS tracker berbasis 2G tidak akan berfungsi di wilayah ini. Oleh karena itu, penggunaan perangkat IoT modern yang mendukung 4G LTE CatM atau NB-IoT sangat disarankan, karena kedua teknologi tersebut dirancang untuk koneksi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah dan kinerja yang stabil.

Tabel 3.5. Kondisi teknologi jaringan di Pulau Rambut.

Teknologi	Status	Keterangan
2G (GSM/EDGE)	Tidak ada	Tidak tersedia sama sekali
3G (WCDMA/HSPA)	Tidak ada	Sudah tidak aktif/tidak terdeteksi
4G (LTE)	Ada	Menjadi satu-satunya yang jaringan berfungsi

3.3.4.2. Analisis Parameter Teknis

Jenis jaringan yang digunakan sangat menentukan metode komunikasi yang bisa diterapkan. Sebagai contoh, perangkat GPS berbasis 2G biasanya memanfaatkan Assisted-GPS (A-GPS) untuk memperoleh posisi dengan cepat tanpa harus selalu mengakses sinyal satelit penuh, sehingga dapat menghemat daya baterai hingga beberapa kali lipat. Namun, karena jaringan 2G sudah tidak tersedia, metode komunikasi tersebut tidak lagi relevan di Pulau Rambut.

Sebaliknya, perangkat 4G/LTE memiliki kemampuan transfer data yang lebih besar dan stabil, meskipun secara konsumsi daya masih lebih tinggi. Tantangan utamanya adalah harga modul 4G yang masih relatif mahal serta kebutuhan antenna yang lebih sensitif terhadap arah sinyal.

Parameter penting yang mempengaruhi kualitas koneksi adalah latensi (waktu tunda) dan bandwidth (lebar pita data). Latensi diukur menggunakan metode ping dan menunjukkan seberapa cepat jaringan merespons permintaan data, dinyatakan dalam milidetik (ms). Nilai latensi yang rendah menandakan respon yang cepat dan stabil, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan komunikasi yang lambat. Bandwidth, di sisi lain, menunjukkan seberapa besar data yang dapat dikirim dalam satu satuan waktu (dalam Mbps). Untuk memahami pengaruh kedua faktor tersebut, terdapat dua kondisi umum yang sering ditemui:

- Kondisi pertama, jaringan memiliki bandwidth besar tetapi latensi tinggi, misalnya 50 Mbps dengan ping 250 ms. Dalam kondisi ini, pengguna dapat melakukan streaming dengan lancar, tetapi akan mengalami delay pada game online atau video call karena waktu respon jaringan yang lambat.
- Kondisi kedua, jaringan memiliki bandwidth kecil tetapi latensi rendah, misalnya 10 Mbps dengan ping 20 ms. Meskipun kecepatan transfer datanya lebih kecil, respon jaringan terasa lebih cepat dan stabil untuk aktivitas seperti browsing, game online, atau komunikasi IoT.

Secara umum, latensi kecil lebih penting untuk komunikasi real-time, seperti sistem IoT, telemetri, atau video call, sedangkan bandwidth besar lebih penting untuk transfer data berukuran besar, seperti pengunduhan video atau file besar. Kombinasi ideal antara keduanya memberikan pengalaman jaringan yang cepat sekaligus stabil. Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan oleh aplikasi OpenSignal, terlihat perbandingan performa beberapa operator seluler di lokasi tersebut. Parameter yang diukur adalah Letency, kecepatan unduh (download) dan kecepatan unggah (upload) dalam satuan Mbps, hasilnya sebagai berikut (Tabel 3.6):

Tabel 3.6. Hasil pengukuran dari aplikasi OpenSignal.

Operator	Latensi	Stabilitas Sinyal
XL	39	Kuat dan stabil
Smartfren	43	Stabil
Indosat	50	Stabil
Telkomsel	54	Stabil
Tri	54	Stabil

Pengukuran latensi menunjukkan hasil XL memiliki latensi terbaik yaitu 39 ms, diikuti Smartfren (43 ms) dan Indosat (50 ms). Sementara Telkomsel dan Tri berada di angka 54 ms. Latensi rendah berarti respon jaringan lebih cepat (lebih sedikit jeda), sehingga operator seperti XL atau Smartfren secara teori lebih ideal untuk kebutuhan real-time, misalnya:

- komunikasi IoT
- video call
- remote monitoring
- online control system
- gaming (apabila relevan)

Meski demikian, kekuatan sinyal secara visual pada semua operator terlihat relatif stabil, yang menunjukkan bahwa penerimaan sinyal fisiknya tidak menjadi hambatan utama — faktor

pembeda justru ada pada kualitas backbone dan performa jaringan inti masing-masing operator (Tabel 3.7).

Tabel 3.7. BandWidth masing-masing operator

Operator	Unduh (Mbps)	Unggah (Mbps)
Telkomsel	27.85	11.91
XL	23.16	9.58
Tri	14.01	9.70
Indosat	13.75	9.34
Smartfren	11.76	2.56

Berdasarkan hasil Unduh dan Unggah, Telkomsel menempati posisi teratas dengan kecepatan unduh mencapai 27,85 Mbps dan unggah 11,91 Mbps, sehingga menjadi pilihan terbaik untuk kebutuhan dengan bandwidth besar. Di urutan berikutnya, XL menunjukkan performa yang cukup stabil dengan kecepatan unduh 23,16 Mbps dan unggah 9,58 Mbps dan dapat menjadi prioritas jaringan. Sementara itu, Tri dan Indosat berada di kelas menengah dengan kecepatan unduh sekitar 14 Mbps dan 13,75 Mbps disertai unggah sekitar 9 Mbps, yang masih memadai untuk aktivitas umum seperti browsing, video call, dan streaming. Smartfren menjadi operator dengan performa paling rendah, khususnya dalam kecepatan unggah yang hanya mencapai 2,56 Mbps, sehingga kurang ideal untuk aktivitas yang membutuhkan respons dan kestabilan uplink seperti video call atau pengiriman data IoT.

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa Pulau Rambut hanya memiliki jaringan 4G LTE aktif dengan kekuatan sinyal yang bervariasi tergantung posisi terhadap arah Pulau Untung Jawa. Jaringan 2G dan 3G sudah tidak terdeteksi sama sekali. Untuk kegiatan penelitian, pemantauan lingkungan, dan pengoperasian perangkat IoT, disarankan menggunakan modul komunikasi berbasis 4G LTE dengan antena eksternal berpenguatan tinggi (high gain antenna) guna menjaga kestabilan sinyal. Pemahaman terhadap hubungan antara bandwidth dan latensi juga sangat penting agar setiap aplikasi atau sistem komunikasi dapat disesuaikan dengan karakteristik jaringan yang tersedia di lapangan. Berdasarkan Latency dan Bandwidth pada jaringan di pulau rambut, kita dapat merekomendasikan penggunaan provider seluler sebagai berikut (Tabel 3.8):

Tabel 3.8. Rekomendasi penggunaan provider.

Kebutuhan	Operator Rekomendasi	Alasan
Bandwidth besar (download/upload)	Telkomsel / XL	Kecepatan tertinggi dan stabil
Respon cepat (IoT, telemetry, video call)	XL	Latensi terendah
Komunikasi umum	Indosat / Tri	Stabil & cukup responsive

Tidak direkomendasikan

Smartfren

Upload rendah dan tidak unggul di parameter lain

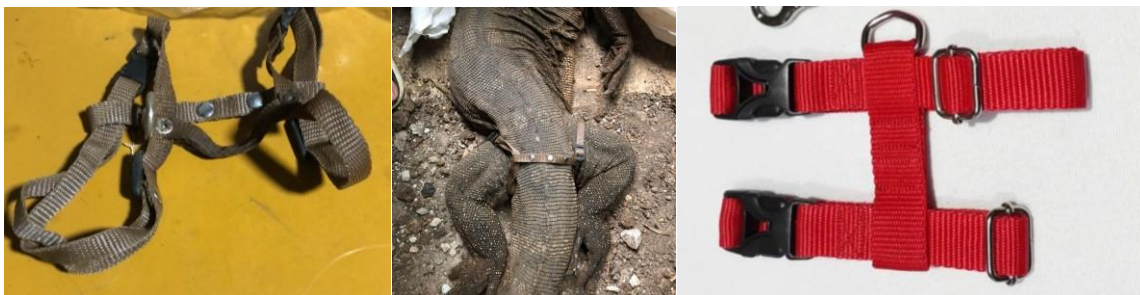
Secara keseluruhan juga dapat disimpulkan bahwa XL merupakan pilihan terbaik untuk penggunaan jangka panjang, terutama terkait internet responsif dan perangkat IoT, sementara Telkomsel menjadi pilihan utama bila fokusnya pada bandwidth maksimal dan throughput besar. Indosat dan Tri dapat diposisikan sebagai alternatif, dan Smartfren sebaiknya hanya digunakan bila tidak ada pilihan lain. Dengan karakteristik pulau yang hanya menerima sinyal dari BTS di Pulau Untung Jawa, pemilihan provider yang tepat akan sangat menentukan keberhasilan komunikasi di lapangan, terutama untuk aplikasi sensor, sistem monitoring, maupun koordinasi petugas di area konservasi.

3.3.5 Pemasangan Alat

Sebagai bagian dari kegiatan eksperimen lapangan, pemasangan alat dilakukan dengan membuat *harnes* untuk mendukung pemasangan GPS *tracker* pada satwa biawak. Proses ini diawali dengan pengujian beberapa jenis *harnes* yang tersedia di pasaran, lalu dilanjutkan dengan modifikasi dan pembuatan prototipe yang lebih sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

3.3.5.1. Tahap 1: Uji Coba *Harness* Komersial

Biawak yang digunakan pada uji coba pertama memiliki SVL 45 cm, panjang total 96 cm, dan berat 3,8 kg. Berat dari *harness* dan GPS *tracker* yaitu 190 gram, sehingga berat alat yang digunakan sesuai dengan Kays (2002), yaitu kurang dari 10% berat badannya. Jenis *harness* yang digunakan merupakan jenis yang umum dijual, yaitu *harness* H tipis untuk kucing dan *harness* H ukuran sedang berwarna merah (Gambar 3.15).



Gambar 3.15. *Harness* H tipis untuk kucing (kiri, tengah); *harness* H ukuran sedang berwarna merah (kanan).

Kedua *harness* ini dipasang pada biawak dan diuji selama dua hari di kandang percobaan yang berlokasi di Biodiversity Station. Pemasangan dilakukan pada sore hari dengan memasukkan bagian *harnes* melalui kaki bagian belakang (Gambar 22, tengah). Hasil pengamatan selama dua hari menunjukkan bahwa kedua *harnes* tidak terlepas. Namun, terdapat beberapa kendala, khususnya pada *harness* merah, yaitu: bahan terlalu kaku dan tidak fleksibel, sehingga membuat biawak terlihat tidak nyaman, serta ukurannya terlalu besar dan hanya cocok untuk biawak berukuran di atas 10 kg.

Setelah tahap ini, kemudian dibuat dua buah *harness* baru dengan bahan yang lebih tebal, menyesuaikan ukuran biawak di kandang (Gambar 3.16). Hasilnya, *harness* tetap terpasang selama dua hari tanpa lepas. Namun, proses pemasangan masih cukup sulit karena ukuran belum pas, desain tali masih mengikuti bentuk prototipe *harness* yang kecil, dan bahannya cukup kaku.



Gambar 3.16. Harness baru dengan bahan yang lebih tebal.

Pada saat yang bersamaan dengan uji coba harness baru, dilakukan juga uji coba menggunakan velcro. GPS Tracker yang digunakan ditambahkan velcro untuk dipasangkan ke biawak (Gambar 3.17). GPS Tracker dilapisi plastik mika yang kemudian diberi panas agar ukurannya pas dengan alatnya. Namun, setelah dua hari, plastik mika tersebut robek, dikarenakan tersangkut-sangkut pada atribut yang ada di kandang. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 20, biawak sangat aktif, sampai memanjat dinding.



Gambar 3.17. Pemasangan alat dengan tambahan velcro.

3.3.5.2. Tahap 2: Modifikasi dan Penyempurnaan

Melihat keterbatasan pada tahap awal, pembuatan harness dilanjutkan ke tahap kedua dengan melakukan sejumlah perbaikan yaitu menggunakan bahan yang lebih lentur agar lebih nyaman dan tidak melukai kulit biawak. Dari bahan tersebut, kemudian dibuat lima buah harness baru. Namun, saat uji coba pemasangan, ditemukan kendala baru. Posisi klip pada harness ternyata masih terlalu jauh dari titik jahitan, sehingga meskipun tali sudah diperkecil semaksimal mungkin, harness masih terasa longgar ketika digunakan pada biawak dengan ukuran kecil. Karena ukuran harness yang terlalu besar saat pemasangan di kaki belakang lalu dicoba metode pemasangan yang berbeda. Jika sebelumnya harness dipasang pada bagian kaki belakang, kali ini harness dipasang pada kaki depan biawak, dengan tetap menggunakan pendekatan melalui bagian “ketiak” depan. Oleh karena itu, dilakukan perbaikan kembali sesuai dengan kendala yang ada, hasil akhir modifikasi harness sebelum ke Pulau Rambut adalah pada Gambar 3.18. Harness tersebut dipasang selama dua hari dan tidak lepas, sehingga kami bawa harness tersebut untuk diuji coba di Pulau Rambut.



Gambar 3.18. *Harness* hasil modifikasi.

3.3.5.3. Tahap 3: Uji Coba Pemasangan GPS Tracking di SM Pulau Rambut

Alat yang digunakan berupa LoRa satelit dengan sistem komunikasi WiFi, *receiver* datanya akan langsung dialihkan ke Gdrive, dengan penerimaan data setiap satu jam sekali. GPS yang digunakan yaitu tipe u-blox M10. WiFi yang digunakan menggunakan jaringan 4G. Rencana penangkapan biawak akan dilakukan pada malam hari, namun setelah diskusi dengan pendamping lapang, lebih baik dilakukan pada siang menuju sore hari. Hal ini didasarkan pada temuan biawak pada siang hari lebih mudah daripada malam hari.

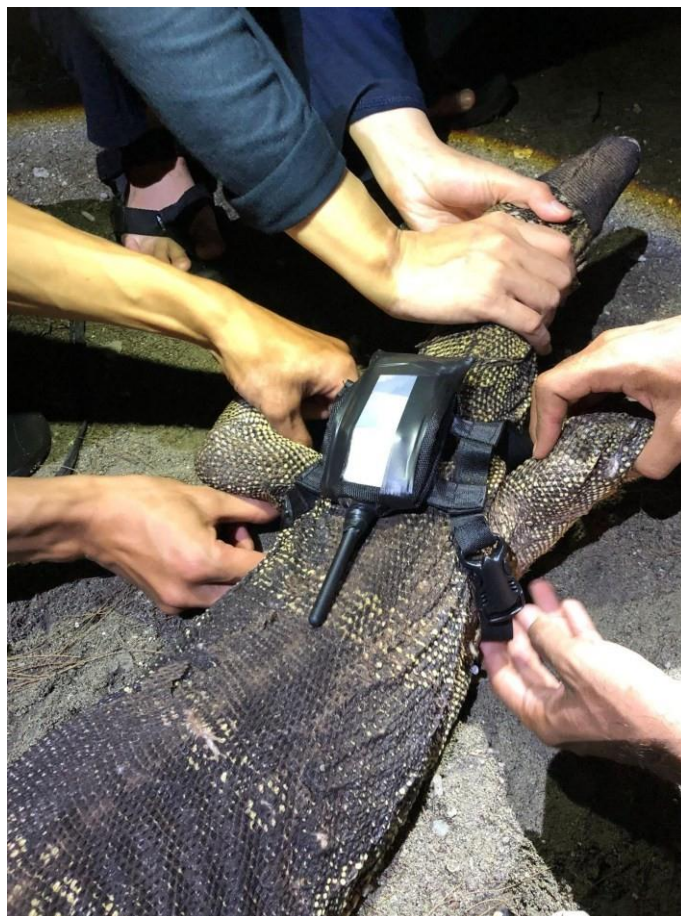
Pada tanggal 23 Agustus 2025, tim peneliti tiba di Suaka Margasatwa Pulau Rambut sekitar pukul 15.30 WIB. Setelah istirahat sejenak, kami melakukan survei dan juga penangkapan pada dua ekor biawak didampingi oleh lima pendamping lapang. Biawak yang pertama, yang kemudian kami beri nama Dora, tertangkap sekitar pukul 16.30 WIB di sisi Barat SMPR (-5.976920, 106.691465), memiliki panjang total 200 cm, snout vent length (SVL) 85 cm, dan berat 11 kg. Biawak kedua tertangkap sekitar pukul 16.55 WIB di sisi Timur SMPR (-5.977783, 106.694219), dengan panjang total 201 cm, snout vent length (SVL) 89 cm, dan berat 13,2 kg. Biawak kedua memiliki ciri khas, yaitu jari kanan belakang yang buntung, biawak yang ini kami beri nama Diego. Setelah dilakukan pengukuran, kedua biawak tersebut dimasukkan ke dalam karung lalu dibawa ke dekat mess untuk dilakukan pemasangan alat.

Biawak disimpan di dalam karung di mess sekitar empat jam sebelum dipasang alat. Pada pukul 20.50 WIB biawak Diego dipasangkan GPS tracking di bagian kaki belakang (Gambar 3.18), kemudian dilepaskan di pinggir pantai, dengan reaksi setelah pelepasan tetap diam sekitar 10 menit, ketika peneliti mundur, biawak langsung bergerak ke arah pantai dan masuk ke air, dan diam di dalam air dekat darmaga. Biawak lalu ditinggalkan oleh tim peneliti dalam keadaan alat masih terpasang.



Gambar 3.19. Pemasangan alat di bagian kaki belakang.

Pada pukul 21.30 WIB dilakukan pemasangan alat pada biawak Dora dibagian punggung kaki depan (Gambar 3.20), lalu dilepas di area timur dekat semak-semak, Dora bereaksi dengan langsung lari setelah pelepasan. Setelah pelepasan Dora, tim peneliti kembali mengecek Diego, namun ternyata Diego sudah tidak terlihat. Lalu ada seekor biawak yang berenang, setelah diamati dari pinggir pantai dan dermaga, setelah keliatan dengan disenter ternyata terlihat seperti Diego, karena jari kanan belakangnya buntung, namun sudah tidak memiliki harness, diduga harness lepas.



Gambar 3.20. Pemasangan alat di punggung kaki depan.

Pukul 21.58 WIB tim peneliti melakukan pengecekan titik, terdapat dua titik. Titik Diego ada di pantai, sementara titik Dora ada di dekat mess. Pada pukul 22.58 WIB tim peneliti melakukan pengecekan lagi, ternyata titik Diego berada di titik yang sama, berbeda dengan titik Dora yang ada perubahan, meskipun sedikit. Setelah itu, tim peneliti memutuskan untuk mencari Dora. Namun setelah berkeliling di sekitar titik koordinat Dora, biawak maupun alatnya tetap tidak ditemukan. Biawak lain pun tidak ditemukan.

Pukul 23.58 WIB pada saat pengecekan titik Diego masih sama dan titik Dora tidak jauh dari titik pertama. Esok harinya pukul 08.45 WIB tim peneliti mulai kembali pencarian alat, alatnya Dora ditemukan tanpa biawaknya di dekat mess. Tim peneliti kemudian memutuskan untuk menenggelamkan alat Dora, memastikan apakah alatnya Diego tenggelam atau mengambang di laut, ternyata alatnya tenggelam. Tidak lama, alat dan harness Diego ditemukan nyangkut di batu di pantai. GPS tracker yang digunakan Diego terdeteksi mati sehingga tidak bisa mengirim data. Namun, alat GPS tracker yang digunakan pada Dora setelah percobaan ditenggelamkan, ternyata masih bekerja dan kedap air.

Berdasarkan kedua percobaan tersebut ternyata harness yang digunakan tidak cukup kuat dari biawak, meskipun sudah dipasang di bagian tubuh yang berbeda. Dugaan awal kenapa harness bisa lepas dikarenakan, ketika biawak berenang, posisi kaki lurus sehingga memudahkan untuk alat lepas. Selain itu, penambahan pita glow in the dark tidak di bagian yang tepat, sehingga tetap tidak membantu ketika pencarian pada malam hari. Hal ini menjadi evaluasi untuk perbaikan harness beserta metode pemasangan pada biawak.

3.3.5.4. Tahap 4: Perbaikan Alat Harness dan Pengamatan Perilaku Biawak saat Dipasangkan Harness

Perlu diketahui lebih jelas terkait bagaimana harness bisa lepas. Oleh karena itu, kami melakukan uji coba kembali di kandang terkontrol yang dipasangkan CCTV. Kandang tersebut memiliki ukuran panjang 4,35 m, lebar 1,9 m, dan tinggi 2,3 m. Kandang terdiri dari area basah dan kering disertai tanaman dan juga rebahan kayu sebagai enrichment (Gambar 3.21). Biawak dipasangkan harness yang diisi batu yang diumpamakan sebagai GPS Tracker. Biawak pertama dipasangkan harness di bagian kaki belakang dan kaki depan pada tanggal 7 Oktober 2025.

Sebanyak dua CCTV dipasangkan di sudut untuk melihat secara keseluruhan yang terjadi dalam kandang. Berdasarkan hasil pengamatan perilaku dari CCTV, biawak air asia berusaha melepaskan harness dengan cara menabrakkan beberapa kali alat pada kayu dan juga tanaman sekitar kolam. Hal ini tidak menyebabkan harness lepas karena posisi ikatan harness pada bagian leher lebih kecil sehingga tidak bisa terlepas ke arah belakang. Setelah mencoba beberapa kali mendorong harness ke arah belakang dan tidak berhasil biawak air asia mencoba perlakuan lain. Posisi tubuh bergelantungan di jaring ventilasi biawak air asia memanfaatkan gaya gravitasi dan gaya gesek yang dilakukan tubuhnya pada tembok atau kayu (Gambar 3.22). Usaha yang dilakukan Biawak air asia ini membuahkan hasil, kondisi harness lepas dan jatuh pada tanggal 9 Oktober 2025. Hal ini menunjukkan tingkat intelegensi biawak yang sangat tinggi sehingga bisa memanfaatkan situasi dan kondisi apapun untuk melepaskan harness dalam waktu dua hari di dalam kandang terkontrol.



Gambar 3.21. Kandang terkontrol kedua.



Gambar 3.22. Biawak air asia berusaha melepas harness.

Hasil evaluasi awal sampai pengamatan menggunakan CCTV menunjukkan bahwa harness selalu lepas. Berdasarkan beberapa literatur (Price-Rees dan Shine 2011; Flesh et al. 2009; Fletcher et al. 2023) pemasangan harness pada kadal/biawak ditambahkan perekat. Hal yang sama juga disampaikan oleh Drh. Bongot Huaso Mulia dari Taman Safari Indonesia yang melakukan pemasangan alat tracking pada komodo. Oleh karena itu, pada perbaikan berikutnya, tim peneliti melakukan uji coba menggunakan lem. Tujuan penambahan lem ini adalah untuk membiasakan biawak memiliki beban (alat) di badannya, karena lem ini akan lepas ketika biawak melakukan ganti kulit.

Jenis lem yang digunakan terdiri dari dua jenis, lem pertama yaitu power glue (Lem kota G, biasa disebut lem Korea) dan plastic steel epoxy dicampur dengan plastic steel epoxy hardener. Hasil penggunaan power glue menunjukkan alat bertahan selama lima hari (22-27 Oktober 2025). Sementara untuk lem kedua, bertahan lebih lama, yaitu selama 15 hari (22 Oktober - 6 November 2025). Pada tanggal 3 November pouch terlepas, tetapi tali harnessnya masih terpasang. Hasil dari pengamatan ini menunjukkan bahwa lem tidak memiliki efek negatif

terhadap biawak, karena dapat lepas dengan sendirinya. Hanya saja, pemilihan dan pemasangan harness masih belum menemukan yang tepat dan perlu diperbarui kembali.

Modifikasi pada harness kemudian dilakukan agar bentuk harness terpasang bebas dari adanya celah yang memungkinkan kayu tersangkut di harness atau memudahkan biawak dalam melepas harness (Gambar 3.23). Harness ini masih dalam tahap uji coba dan penyempurnaan, sehingga belum dapat dilaporkan hasilnya saat ini.



Gambar 3.23. Desain terakhir *harness*.

Berikut merupakan tata cara pemasangan harness yang dilakukan:

1. Siapkan alat dan bahan, yaitu biawak, elastic bandage, alat pengukuran (meteran, timbangan, karung), alat tulis, lem yang digunakan, dan harness.
2. Penangkapan pada biawak, dengan memegang leher biawak dan bagian pangkal ekor.
3. Kemudian dipasangkan elastic bandage untuk menutupi area mata dan mulut (Gambar 3.24).
4. Pengukuran SVL, panjang total, dan juga berat menggunakan alat pengukuran yang sudah disediakan.
5. Sebelum ditambahkan lem, pouch diposisikan pada biawak untuk melihat di area mana saja yang harus dilem.
6. Pouch ditambahkan lem, kemudian dipasangkan pada biawak. Lalu ditunggu 10 menit hingga lem mengering.
7. Elastic bandage dilepaskan, kemudian biawak juga dilepaskan.
8. Dilakukan pengamatan pada perilaku biawak.



Gambar 3.24. Pemasangan *elastic bandage* pada area mata dan mulut biawak.

