



**PROTOTYPE *UNMANNED SURFACE VEHICLE* BERBASIS
PERCEPTION-DRIVEN AUTONOMY DENGAN
REINFORCEMENT LEARNING LITE (Q-TABLE)
UNTUK *LAKE SURFACE DEBRIS RECOVERY***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

**BETRIK SESYANTO HADI WIBOWO
41421010016**

MERCU BUANA

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**PROTOTYPE *UNMANNED SURFACE VEHICLE* BERBASIS
PERCEPTION-DRIVEN AUTONOMY DENGAN
REINFORCEMENT LEARNING LITE (Q-TABLE)
UNTUK *LAKE SURFACE DEBRIS RECOVERY***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA
BETRIK SESYANTO HADI WIBOWO
41421010016**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Betrik Sesyanto Hadi Wibowo

NIM : 41421010016

Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Prototipe *Unmanned Surface Vehicle* Berbasis *Perception-Driven Autonomy* Dengan *Reinforcement Learning Lite (Q-Table)* Untuk *Lake Surface Debris Recovery*” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 4 Agustus 2026



Betrik Sesyanto Hadi Wibowo

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : **Betrik Sesyanto Hadi Wibowo**
NIM : **41421010016**
Program Studi : **Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **PROTOTYPE UNMANNED SURFACE VEHICLE
BERBASIS PERCEPTION-DRIVEN AUTONOMY
DENGAN REINFORCEMENT LEARNING LITE
(Q-TABLE) UNTUK LAKE SURFACE DEBRIS
RECOVERY**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Selasa, 11 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar **3 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 11 Agustus 2026

Administrator Turnitin,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh

Nama : Betrik Sesyanto Hadi Wibowo

NIM : 41421010016

Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir : Prototipe *Unmanned Surface Vehicle* Berbasis
Perception-Driven Autonomy Dengan
Reinforcement Learning Lite (Q-Table) Untuk *Lake*
Surface Debris Recovery

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 4 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:
Pembimbing



(Ir. Julpri Andika, S.T., M.Sc.)
NUPTK: 705576967013032

Jakarta 4 Agustus 2026
Mengetahui,

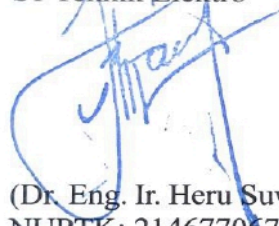
UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)
NUPTK: 6639750651230130

Ketua Program Studi
S1 Teknik Elektro



(Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, ST., M.Sc.)
NUPTK: 2146770671130403

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alam, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, hidayah, dan keberkahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prototipe *Unmanned Surface Vehicle* Berbasis *Perception-Driven Autonomy* Dengan *Reinforcement Learning Lite (Q-Table)* Untuk *Lake Surface Debris Recovery*”.

Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Besar Muhammad ﷺ beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman. Penulis juga menyampaikan penghormatan kepada seluruh peneliti terdahulu yang telah mendedikasikan ilmu dan pemikirannya bagi kemajuan ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat melanjutkan estafet penelitian ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menghadapi berbagai tantangan. Berkat doa, dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana, Bapak Dr. Eng. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, serta Bapak Muhammad Hafidz Ibnu Hajar, S.T., M.Sc. dan Bapak Fadli Sirait, S.Si., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmu, pengalaman, motivasi, dan dukungan sehingga penulis dapat berkembang menjadi pribadi akademisi seperti saat ini.
2. Bapak Ir. Julpri Andika, S.T., M.Sc., Bapak Freddy Artadima Silaban, S.Kom., M.T., Ibu Dr. Regina Lionnie, S.T., M.T., Ibu Dr. Ika Sari Damayanthi Sebayang, S.T., M.T., Ibu Cut Edwina Safia Oebit, S.E., M.M., dan Bapak Ir. Lukman Medriavin Silalahi, A.Md., S.T., M.T., IPM., APEC-Eng., yang telah membimbing penulis dalam berbagai perlombaan dan penelitian yang pernah penulis jalani.
3. Almarhum Bapak Supriyanto, yang telah membesarkan, menghidupi, mendidik, dan membimbing penulis selama enam belas tahun kehidupan. Nilai-nilai dan pelajaran yang Bapak tinggalkan akan selalu menjadi pegangan penulis. Maafkan penulis yang baru dapat mewujudkan kebanggaan ini untuk Bapak.
4. Ibu Yayuk Lestariningsih, yang senantiasa menghidupi, menemani, mendukung, dan membantu penulis melewati setiap proses kehidupan hingga penulis dapat mempersembahkan kebanggaan ini kepada Ibu.
5. Kakak Bella Prillia Febrieaningrum, yang telah bekerja keras demi menafkahi keluarga serta mengorbankan masa mudanya demi keluarga.
6. Adik Belinda Azzahra Kusumaningrum, yang setia menemani penulis menjalani keseharian di rumah dan telah tumbuh menjadi pribadi yang mandiri serta membanggakan.

7. Tim SYNERGY, khususnya Wildan Adi Surya, yang telah menemani penulis melewati masa-masa perkuliahan yang penuh suka dan duka serta menjadi sahabat selama menjalani perjalanan akademik. Kepada Gita Cahyani dan Dimas Edriansah, terima kasih karena telah mengajarkan kepada penulis bahwa penulis tidak pernah benar-benar sendiri dalam menghadapi setiap proses perkuliahan.
8. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2021, khususnya Ilham Nasuha, Jihad Bara Gunadi, Muhammad Alief Diandri, Abdul Azis, Muhammad Sutrisno, serta seluruh teman-teman lainnya yang telah menerima penulis sebagai sahabat, membantu penulis melewati masa-masa sulit, termasuk ketika menghadapi keterbatasan finansial, dan tetap percaya kepada penulis.
9. Tim MEFRIA, yaitu Rizky Harumdhany Mamonto, Bayu Adriano, Adi Muhammad Haekal, dan Terrano Putra Utama, yang telah melanjutkan visi, misi, serta semangat yang pernah penulis bangun dan perjuangkan bersama.
10. Teman-teman penulis, khususnya Muhammad Rafli, Tsabit Aqil Pangestu, dan Nanda Prastya, yang senantiasa hadir, menemani, dan memberikan bantuan kepada penulis di saat penulis membutuhkannya.
11. Seluruh rekan seperjuangan dalam berbagai perlombaan, serta setiap sosok yang pernah hadir dalam perjalanan hidup penulis dan meninggalkan cerita, pelajaran, serta pengalaman yang akan selalu penulis kenang.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah menjadi bagian dari perjalanan hidup, pendidikan, dan proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian selanjutnya, maupun bagi seluruh pembaca.

MERCU BUANA

Tangerang, 4 Agustus 2026
Penulis,



Betrik Sesyanto Hadi Wibowo

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Betrik Sesyanto Hadi Wibowo
NIM : 41421010016
Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Prototipe *Unmanned Surface Vehicle* Berbasis *Perception-Driven Autonomy* Dengan *Reinforcement Learning Lite (Q-Table)* Untuk *Lake Surface Debris Recovery*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 4 Agustus 2026

Yang menyatakan,



Betrik Sesyanto Hadi Wibowo

**PROTOTYPE UNMANNED SURFACE VEHICLE BERBASIS
PERCEPTION-DRIVEN AUTONOMY DENGAN
REINFORCEMENT LEARNING LITE (Q-TABLE)
UNTUK LAKE SURFACE DEBRIS RECOVERY
BETRIK SESYANTO HADI WIBOWO**

ABSTRAK

Sampah plastik di perairan darat Indonesia memerlukan solusi pembersihan yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini merancang, membangun, dan menguji prototipe *Unmanned Surface Vehicle* (USV) berbasis *Perception-Driven Autonomy* untuk mendeteksi dan mengumpulkan sampah plastik secara otonom, mengintegrasikan sistem persepsi adaptif, navigasi *Reinforcement Learning Lite* (Q-Table), dan energi *hybrid* surya. Struktur ponton *wave-piercing* dari EPS *density* 20 berlapis resin-fiberglass, rangka baja ringan profil C75, dan keranjang *gridwall* 75×50×30 cm menghasilkan konstruksi kokoh tanpa distorsi dimensi berarti. Kalibrasi kamera HuskyLens pada 27 skenario (1.350 *frame*, 14.850 data) mencatat rata-rata *Detected* 0,98, *Loop Time* 1,1 ms, dan *Stable* 0,94, dengan deteksi sempurna pada botol plastik berwarna. Sensor TF-Luna LiDAR pada 18 skenario (900 *frame*, 2.700 data) menunjukkan akurasi tinggi dan ketahanan terhadap variasi pencahayaan 7-495 lux, dengan STDEV maksimum 3,16 cm pada sudut insidensi 15°. Modul GPS u-blox NEO-M8N tervalidasi terhadap *Total Station* Topcon GTS-235N dengan akurasi 0,48-1,29 m, HDOP 0,69-1,84, jauh melampaui iPhone 14 Pro Max (13,24 m). Panel surya 100 WP dengan SCC MPPT 30A mencapai efisiensi konversi 97,85%, mendukung fitur *Home Base Return* yang menavigasi wahana kembali ke titik awal dalam radius toleransi kurang dari 7 m. Pelatihan Q-Learning selama 12.000 episode menghasilkan kebijakan optimal dengan *success rate* 98% dan rata-rata 26,6 langkah per episode, tervalidasi 100% pada lima peta *grid* 20×20 acak. Pengujian lapangan di perairan danau membuktikan kapasitas efektif keranjang 97.500 cm³, setara ±114 botol plastik, dengan mekanisme pengumpulan pasif yang bekerja tanpa aktuator tambahan. Hasil ini membuktikan prototipe USV mampu beroperasi secara fungsional, otonom, dan berkelanjutan dalam misi *lake surface debris recovery*.

Kata Kunci: *Unmanned Surface Vehicle*, *Perception-Driven Autonomy*, *Reinforcement Learning Lite* (Q-Table), *lake surface debris recovery*

**PROTOTYPE UNMANNED SURFACE VEHICLE BERBASIS
PERCEPTION-DRIVEN AUTONOMY DENGAN
REINFORCEMENT LEARNING LITE (Q-TABLE)
UNTUK LAKE SURFACE DEBRIS RECOVERY
BETRIK SESYANTO HADI WIBOWO**

ABSTRACT

Plastic waste in Indonesian inland waters requires an efficient and sustainable cleanup solution. This study designs, builds, and tests an Unmanned Surface Vehicle (USV) prototype based on Perception-Driven Autonomy to autonomously detect and collect plastic waste, integrating an adaptive perception system, Reinforcement Learning Lite (Q-Table) navigation, and hybrid solar energy support. The wave-piercing pontoon structure, built from EPS density 20 foam layered with resin-fiberglass, a C75 lightweight steel frame, and a 75×50×30 cm gridwall basket, produced a rigid construction with no significant dimensional distortion. HuskyLens camera calibration across 27 test scenarios (1,350 frames, 14,850 data points) recorded an average Detected score of 0.98, Loop Time of 1.1 ms, and Stable score of 0.94, with perfect detection on colored plastic bottles. The TF-Luna LiDAR sensor, tested across 18 scenarios (900 frames, 2,700 data points), showed high accuracy and immunity to lighting variation between 7 and 495 lux, with a maximum STDEV of 3.16 cm at a 15° incidence angle. The u-blox NEO-M8N GPS module was validated against a Topcon GTS-235N Total Station, achieving 0.48-1.29 m positional accuracy and 0.69-1.84 HDOP, substantially outperforming an iPhone 14 Pro Max (13.24 m). A 100 WP solar panel with a 30A MPPT controller reached a 97.85% conversion efficiency, supporting a Home Base Return feature that navigated the vehicle back to its starting point within a tolerance radius of under 7 m. Q-Learning training over 12,000 episodes produced an optimal policy with a 98% success rate and an average of 26.6 steps per episode, achieving 100% validated navigation success across five randomized 20×20 grid maps. Field testing on a lake confirmed an effective basket capacity of 97,500 cm³, equivalent to approximately 114 plastic bottles, with a passive collection mechanism operating without additional actuators. These results demonstrate that the USV prototype can operate functionally, autonomously, and sustainably in lake surface debris recovery missions.

Keywords: *Unmanned Surface Vehicle, Perception-Driven Autonomy, Reinforcement Learning Lite (Q-Table), lake surface debris recovery*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	0
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....	ii
SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i>	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat / Kontribusi Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 <i>Unmanned Surface Vehicle</i>	13
2.2.1 Definisi dan Klasifikasi USV.....	14
2.2.2 Arsitektur Sistem USV.....	15
2.3 USV untuk <i>Lake Surface Debris Recovery</i>	16
2.3.1 <i>Catamaran Hull</i> USV.....	17
2.3.2 Mekanisme Pengumpulan Sampah Permukaan.....	19
2.4 Sistem Persepsi pada USV.....	21
2.4.1 DFRobot HuskyLens K210 AI Vision Sensor.....	21
2.4.2 Benewake TF-Luna LiDAR.....	23

2.5 Sistem <i>Positioning</i> pada USV.....	26
2.5.1 Modul GNSS u-blox NEO-M8N.....	26
2.5.2 Sensor IMU MPU-9250.....	28
2.5.3 <i>Home Base Return</i>	31
2.6 Sistem Pergerakan pada USV.....	33
2.6.1 Motor DC RS-545 12 V.....	33
2.6.2 Driver Motor BTS7960.....	35
2.6.3 Propeller Tiga Bilah (<i>Three-Blade Propeller</i>).....	37
2.7 Sistem Energi pada USV.....	39
2.7.1 Baterai LiPo 11.1 V 4500 mAh.....	39
2.7.2 Panel Surya Monokristalin 100 WP.....	41
2.7.3 <i>Solar Charge Controller</i> MPPT HXC 30A.....	43
2.8 Sistem Periferal pada USV.....	45
2.8.1 Nextion Enhanced NX3224F028 HMI <i>Touch Screen</i>	45
2.8.2 Sensor Jarak VL53L0X <i>Time-of-Flight</i>	48
2.9 Sistem Pengambilan Keputusan pada USV.....	49
2.9.1 Algoritma <i>Reinforcement Learning</i>	50
2.9.2 <i>Reinforcement Learning-Lite</i> pada Sistem <i>Embedded</i>	52
2.9.3 <i>Q-Table</i> pada <i>RL-Lite</i>	54
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	56
3.1 Perancangan Sistem.....	56
3.1.1 Diagram Blok Sistem.....	56
3.1.2 Diagram Alir Sistem.....	58
3.1.3 Desain Alat.....	59
3.2 Perancangan Perangkat Keras.....	60
3.2.1 Struktur USV <i>Catamaran</i>	61
3.2.2 Sistem Mekanik USV.....	65
3.3 Perancangan Perangkat Elektronik.....	68
3.3.1 Spesifikasi dan Fungsi Komponen.....	68
3.3.2 Diagram <i>Wiring</i>	70
3.4 Perancangan Sistem Persepsi.....	73
3.4.1 Sistem <i>Object Tracking</i> dengan DFRobot HuskyLens.....	73
3.4.2 Sistem <i>Distance Detection</i> dengan Benewake TF-Luna.....	76

3.5 Perancangan Sistem <i>Positioning</i>	79
3.5.1 Sistem <i>Positioning</i> dengan u-blox NEO-M8N.....	80
3.5.2 Sistem IMU dengan MPU-9250.....	82
3.5.3 Sistem <i>Home Base Return</i>	83
3.6 Perancangan Sistem Pergerakan.....	85
3.6.1 Sistem Kendali Motor dengan BTS7960.....	85
3.7 Perancangan Sistem Energi.....	89
3.7.1 Sistem <i>Hybrid Charging</i> dengan Panel Surya.....	89
3.7.2 Sistem Manajemen Daya dengan MPPT HXC 30A.....	90
3.8 Perancangan Sistem Periferal.....	92
3.8.1 Sistem Antarmuka dengan Nextion Enhanced HMI.....	92
3.8.2 Sistem <i>Waste Capacity Monitoring</i> dengan VL53L0X.....	94
3.9 Perancangan Sistem Pengambilan Keputusan.....	96
3.9.1 Arsitektur Pengambilan Keputusan RL-Lite pada USV.....	97
3.9.2 <i>State, Action, dan Reward Function</i> pada RL-Lite.....	100
3.9.3 Proses <i>Training dan Deployment</i> pada Q-Table.....	101
3.9.4 Q-Table pada Arduino Mega.....	104
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	106
4.1 Implementasi Perangkat Keras.....	106
4.1.1 Pengadaan Material dan Persiapan Komponen.....	106
4.1.2 Pengadaan Material dan Persiapan Komponen.....	107
4.1.3 Pemotongan dan Pembentukan Ponton <i>Styrofoam</i>	108
4.1.4 Pengukuran dan Pencocokan Struktur USV.....	109
4.1.5 Pelapisan Resin dan <i>Fiberglass</i> serta Perakitan Akhir.....	110
4.2 Implementasi Elektronik.....	110
4.2.1 Perangkaian dan Penyolderan Komponen pada PCB.....	111
4.2.2 Pencetakan 3D <i>Casing</i> Pelindung Komponen.....	112
4.2.3 Pemasangan PCB dan <i>Casing</i> Sensor ke dalam Struktur USV.....	113
4.2.4 Integrasi Sistem Elektronik dan Manajemen Daya Otonom.....	114
4.3 Hasil Kalibrasi.....	115
4.3.1 Kalibrasi <i>Object Tracking</i> Huskylens Camera.....	116
4.3.2 Kalibrasi <i>Distance Detection</i> Luna Lidar.....	123
4.3.3 Kalibrasi GPS Ublox Neo M8N.....	128
4.3.4 Kalibrasi Panel Surya.....	133
4.3.5 Kalibrasi <i>Home Base Return</i>	136

4.4 Hasil <i>Reinforcement Learning-Lite</i>	143
4.4.1 Hasil <i>Training RL-Lite</i>	143
4.4.2 Hasil <i>Policy Testing</i>	151
4.5 Hasil Pengujian Lapangan.....	157
BAB 5 KESIMPULAN	161
5.1 Kesimpulan.....	161
5.2 Saran.....	162
DAFTAR PUSTAKA	163
LAMPIRAN	167



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	5
Tabel 2.2 Spesifikasi DFRobot HuskyLens.....	21
Tabel 2.3 Spesifikasi Benewake TF-Luna.....	24
Tabel 2.4. Spesifikasi u-blox NEO-M8N.....	27
Tabel 2.5 Spesifikasi MPU-9250.....	31
Tabel 2.6 Spesifikasi Motor DC RS-545.....	34
Tabel 2.7 Spesifikasi BTS7960.....	36
Tabel 2.8 Spesifikasi Propeller Tiga Bilah.....	38
Tabel 2.9 Spesifikasi Baterai LiPo 11.1 V 4500 mAh.....	40
Tabel 2.10 Spesifikasi Panel Surya Monokristalin 100 WP.....	42
Tabel 2.11 Spesifikasi MPPT HXC 30A.....	44
Tabel 2.12 Spesifikasi Nextion Enhanced HMI.....	46
Tabel 2.13 Spesifikasi VL53L0X.....	48
Tabel 3.1 Komponen Utama USV.....	68
Tabel 3.2 Pemetaan Pin Modul USV.....	71
Tabel 3.3 Definisi State RL- <i>Lite</i>	101
Tabel 4.1 Contoh Data Mentah Pengujian HuskyLens.....	117
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Gelas Plastik Berwarna pada HuskyLens.....	119
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Botol Plastik Bening pada HuskyLens.....	120
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Botol Plastik Berwarna pada HuskyLens.....	121
Tabel 4.5 Contoh Data Mentah Pengujian TF-Luna.....	124
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Medium Kertas Hitam <i>Doff</i>	126
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Medium Kertas Putih <i>Doff</i>	126
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Medium Kertas Silver Metalik.....	127
Tabel 4.9 Data Mentah Pengukuran NEO-M8N.....	130
Tabel 4.10 Perbandingan Akurasi Penentuan Posisi.....	133
Tabel 4.11 Ringkasan Statistik Pengujian Panel Surya (180 Frame).....	135
Tabel 4.12 Data Explorasi <i>Home Base Return</i>	138
Tabel 4.13 Data <i>Return Home Navigation</i>	141
Tabel 4.14 Fase Terbaik Hasil Seleksi.....	145

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pencemaran Sampah Di Perairan Danau.....	1
Gambar 1.2 <i>Unmanned Surface Vehicle</i>	2
Gambar 2.1 Klasifikasi Ukuran USV.....	14
Gambar 2.2 Sistem Utama dari USV.....	15
Gambar 2.3. Perhitungan Desain <i>Catamaran Hull</i>	17
Gambar 2.4 <i>Expanded Polystyrene</i>	18
Gambar 2.5 Baja ringan C75.....	19
Gambar 2.6. Mekanisme Pengumpulan Sampah USV.....	20
Gambar 2.7 DFRobot HuskyLens	21
Gambar 2.8 Pembelajaran Objek pada DFRobot HuskyLens.....	22
Gambar 2.9 Penentuan Nilai Koordinat pada DFRobot HuskyLens.....	23
Gambar 2.10 Benewake TF-Luna.....	24
Gambar 2.11 Prinsip ToF.....	25
Gambar 2.12 Prinsip Navigasi berbasis GPS.....	26
Gambar 2.13 u-blox NEO-M8N.....	27
Gambar 2.14 Prinsip Akselerometer.....	29
Gambar 2.15 Prinsip Giroskop.....	29
Gambar 2.16 Prinsip Magnetometer.....	30
Gambar 2.17 MPU-9250.....	30
Gambar 2.18 Sistem Koordinat <i>Home Base Return</i>	32
Gambar 2.19 Proses Navigasi dan <i>Docking</i> USV.....	32
Gambar 2.20 Motor DC RS-545.....	34
Gambar 2.21 BTS7960.....	36
Gambar 2.22 Propeller Tiga Bilah	38
Gambar 2.23 Baterai LiPo 11.1 V 4500 mAh.....	40
Gambar 2.24 Panel Surya Monokristalin 100 WP.....	41
Gambar 2.25 MPPT HXC 30A.....	43
Gambar 2.26 Nextion Enhanced HMI.....	46
Gambar 2.27 Antarmuka Nextion Editor.....	47
Gambar 2.28 VL53L0X.....	48
Gambar 2.29 Pelatihan USV dengan <i>Reinforcement Learning</i>	50
Gambar 2.30 Trajektori Hasil Simulasi USV.....	51
Gambar 2.31 Perbandingan Metode Pencarian dan <i>Reinforcement Learning</i>	52

Gambar 2.32 Proses Algoritma Q-Learning.....	53
Gambar 2.33 Nilai-Q pada <i>Grid</i> dan Q-Table yang dipelajari.....	54
Gambar 2.34 Program Fungsi Algoritma Q-Learning.....	55
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem.....	56
Gambar 3.2 Diagram Arsitektur Sistem USV.....	57
Gambar 3.3 Diagram Alir Sistem USV.....	58
Gambar 3.4 Desain 3D USV.....	59
Gambar 3.5 Variasi Karakteristik Perairan Darat.....	60
Gambar 3.6 Desain CAD <i>Layer</i> Ponton USV.....	61
Gambar 3.7 Desain CAD Ponton <i>Layer</i> 1 USV.....	62
Gambar 3.8 Desain CAD Ponton <i>Layer</i> 2 USV.....	62
Gambar 3.9 Desain CAD Ponton <i>Layer</i> 3 USV.....	63
Gambar 3.10 Desain CAD Rangka <i>Catamaran</i> USV.....	63
Gambar 3.11 Desain CAD <i>Hull</i> USV.....	64
Gambar 3.12 Desain Penampungan Sampah USV.....	66
Gambar 3.13 Box Casing Huskylens dan TF-Luna.....	66
Gambar 3.14 Box <i>Casing</i> Motor DC.....	67
Gambar 3.15 Diagram <i>Wiring</i> USV.....	70
Gambar 3.16 Variasi Kondisi Cuaca di Perairan Darat.....	73
Gambar 3.17 Kode Program Inisialisasi Komunikasi I2C HuskyLens.....	74
Gambar 3.18 Kode Program Validasi Data Target Visual HuskyLens.....	74
Gambar 3.19 Kode Program Ekstraksi <i>Bounding Box</i> Target HuskyLens.....	75
Gambar 3.20 Kode Program Inisialisasi Komunikasi Serial TF-Luna.....	77
Gambar 3.21 Kode Program <i>Logging</i> Pengambilan Sampel TF-Luna.....	77
Gambar 3.22 Kode Program Ekstraksi Nilai Jarak TF-Luna.....	78
Gambar 3.23 Variasi Geografis di Perairan Darat.....	79
Gambar 3.24 Kode Program Inisialisasi Buffer Serial GPS.....	80
Gambar 3.25 Kode Program Perekaman Data Posisi GPS.....	80
Gambar 3.26 Kode Program Konversi Format Koordinat GPS.....	81
Gambar 3.27 Kode Program Inisialisasi <i>Register</i> Sensor IMU.....	82
Gambar 3.28 Kode Program Konversi Satuan Data IMU.....	82
Gambar 3.29 Kode Program Perhitungan Nilai Sudut IMU.....	83
Gambar 3.30 Kode Program Algoritma Estimasi Arah (<i>Fused Heading</i>).....	84
Gambar 3.31 Kode Program Perhitungan Haversine dan <i>Bearing</i> Navigasi.....	84

Gambar 3.32 Kode Program Pemetaan Sudut Menjadi Instruksi Arah.....	85
Gambar 3.33 Kode Program Aktivasi Driver H-Bridge BTS7960.....	86
Gambar 3.34 Kode Program Modulasi Sinyal PWM Kendali Motor.....	87
Gambar 3.35 Kode Program Inisialisasi Sensor Monitor Daya INA3221.....	90
Gambar 3.36 Kode Program Akuisisi Tegangan dan Arus INA3221.....	91
Gambar 3.37 Rancangan Antarmuka Grafis HMI pada Nextion Display.....	93
Gambar 3.38 Kode Program Inisialisasi Sensor ToF VL53L0X.....	94
Gambar 3.39 Kode Program Algoritma <i>Filter</i> ToF VL53L0X.....	95
Gambar 3.40 Kode Program Logika Penentu Kapasitas Penuh.....	95
Gambar 3.41 Variasi Kondisi Permukaan di Perairan Darat.....	97
Gambar 3.42 Diagram Arsitektur <i>RL-Lite</i> pada USV.....	98
Gambar 3.43 Kode Program <i>Update Q Table</i> <i>RL-Lite</i>	99
Gambar 3.44 Kode Program <i>Get Sensor State</i> <i>RL-Lite</i>	99
Gambar 3.45 Program Train <i>Q Learning</i> <i>RL-Lite</i>	102
Gambar 3.46 Output <i>Training</i> per Episode (<i>Terminal</i>) <i>RL-Lite</i>	103
Gambar 3.47 Optimal Policy <i>Q-Table</i> dari <i>Single Run</i> <i>RL-Lite</i>	105
Gambar 4.1 Pengadaan Material dan Persiapan Komponen.....	106
Gambar 4.2 Perakitan Rangka dan Penyimpanan Sampah.....	107
Gambar 4.3 Pemotongan dan Pembentukan Ponton Styrofoam.....	108
Gambar 4.4 Pengukuran dan Pencocokan Struktur USV.....	109
Gambar 4.5 Pelapisan Resin dan <i>Fiberglass</i> serta Perakitan Akhir.....	110
Gambar 4.6 Perangkaian dan Penyolderan Komponen pada PCB.....	111
Gambar 4.7 Pencetakan 3D <i>Casing</i> Pelindung Komponen.....	112
Gambar 4.8 Pemasangan PCB dan <i>Casing</i> Sensor.....	113
Gambar 4.9 Integrasi Komponen Elektronik pada <i>Controller Box</i>	114
Gambar 4.10 Dokumentasi Pengujian HuskyLens dalam Bak Kontrol.....	117
Gambar 4.11 Dokumentasi Hasil Deteksi HuskyLens.....	122
Gambar 4.12 Dokumentasi Pengujian TF-Luna LiDAR di Dalam Ruangan.....	123
Gambar 4.13 Dokumentasi Hasil Pengukuran TF-Luna.....	128
Gambar 4.14 Perlengkapan Pengujian GPS Ublox NEO-M8N.....	129
Gambar 4.15 Perangkat <i>Total Station</i> Topcon GTS-235N.....	130
Gambar 4.16 Dokumentasi Pengujian Panel Surya di Lapangan.....	134
Gambar 4.17 Lingkungan Pengujian <i>Home Base Return</i>	137
Gambar 4.18 Dokumentasi Pengujian <i>Home Base Return</i>	138

Gambar 4.19 Trajektori Koordinat <i>Home Base Return</i>	142
Gambar 4.20 Cuplikan <i>Training History</i> 12.000 Episode.....	143
Gambar 4.21 Grafik <i>Training per Single Run (4 subplot)</i>	144
Gambar 4.22 Kode Program Seleksi <i>Training History</i>	145
Gambar 4.23 Grafik <i>Training Success Rate</i>	147
Gambar 4.24 Grafik <i>Training Steps per Episode</i>	148
Gambar 4.25 Grafik <i>Training Reward per Episode</i>	149
Gambar 4.26 <i>Heatmap Q-Table Best Checkpoint</i>	149
Gambar 4.27 File <i>q_table.h</i>	150
Gambar 4.28 Visualisasi Pengujian Navigasi pada <i>Map 1</i>	152
Gambar 4.29 Visualisasi Pengujian Navigasi pada <i>Map 2</i>	153
Gambar 4.30 Visualisasi Pengujian Navigasi pada <i>Map 3</i>	154
Gambar 4.31 Visualisasi Pengujian Navigasi pada <i>Map 4</i>	155
Gambar 4.32 Visualisasi Pengujian Navigasi pada <i>Map 5</i>	156
Gambar 4.33. Pengujian Kapasitas Keranjang Penyimpanan Sampah.....	157
Gambar 4.34 Persiapan dan Peluncuran USV ke Danau.....	158
Gambar 4.35 USV Beroperasi di Permukaan Danau.....	159
Gambar 4.36 Respon Manuver Penghindaran Halangan oleh USV.....	159
Gambar 4.37 USV setelah Operasional dengan Sampah Terkumpul.....	160

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Program USV.....	167
Lampiran 2. Kode Program RL- <i>Lite</i>	205
Lampiran 3. Hasil Uji Turnitin.....	219
Lampiran 4. Bukti Bimbingan Tugas Akhir.....	226
Lampiran 5. <i>Curriculum Vitae</i>	229

