

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SINGKATAN .....	xiii
INTISARI .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
BAB I Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Penelitian .....	3
1.4 Keaslian Penelitian .....	5
1.5 Tujuan Penelitian .....	7
1.6 Manfaat Penelitian .....	7
1.7 Sistematika Penulisan .....	7
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori .....	10
2.1 Tinjauan Pustaka .....	10
2.1.1 Sistem Navigasi Ekskavator .....	10
2.1.2 Kecerdasan Buatan Ekskavator .....	12
2.2 Dasar Teori .....	14
2.2.1 Kinematika Roda Ekskavator .....	14
2.2.2 Kinematika Turret Ekskavator .....	15
2.2.3 Kamera dan Deteksi Obyek .....	16
2.2.4 Deep Reinforcement Learning .....	18
2.2.4.1 Algoritma dalam Deep Reinforcement Learning .....	19
2.2.4.2 Desain Reward Function .....	20
2.2.5 Dinamika dan Model Inersia Lengan Ekskavator .....	20
2.2.6 Koefisien dan Gaya pada Roda Ekskavator .....	22
2.2.7 Estimasi Posisi dan Jarak .....	24
2.2.8 Orientasi 3-Dimensi Ekskavator .....	25
2.2.9 Derau dalam Pergerakan Ekskavator .....	25
2.3 Analisis Perbandingan Metode .....	26
2.4 Hipotesis .....	26



<b>BAB III Metode Penelitian</b> .....	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak.....	27
3.2.2 Python ( <i>Libraries</i> ).....	27
3.3 Alur Penelitian.....	28
3.4 Perancangan Sistem Simulasi.....	29
3.4.1 Penjelasan Alur Kerja Pemodelan Sistem.....	29
3.4.2 Penjelasan Alur Pengendalian Navigasi DRL.....	30
3.4.3 Model Ekskavator.....	31
3.4.3.1 Spesifikasi Dimensi dan Berat.....	32
3.4.3.2 Spesifikasi Teknis Sistem Penggerak.....	32
3.4.4 Lingkungan Simulasi Webots.....	33
3.4.5 Variasi Lingkungan.....	35
3.4.5.1 Variasi Beban Muatan ( <i>Payload</i> ).....	35
3.4.5.2 Variasi Gesekan Permukaan.....	36
3.5 Perancangan Model Reinforcement Learning.....	36
3.5.1 Spesifikasi Agen DRL Terintegrasi.....	36
3.5.1.1 Ruang Observasi.....	37
3.5.1.2 Ruang Aksi.....	38
3.5.1.3 Fungsi Imbalan.....	38
3.5.1.4 Penjelasan Komponen Reward.....	38
3.5.2 Justifikasi dan Perhitungan <i>Hyperparameter</i> PPO.....	42
3.5.3 Justifikasi dan Perhitungan <i>Hyperparameter</i> SAC.....	43
3.6 Kinematika dan Parameter dari roda dan Lengan Ekskavator.....	44
3.6.1 Penentuan Pusat Massa ( <i>Center of Mass</i> ).....	45
3.6.2 Perhitungan Momen Inersia Dinamis & Torsi Turret.....	45
3.6.3 Perhitungan Gesekan Dinamis (Kinetis) & Traksi.....	46
3.7 Evaluasi Fungsi Reward.....	46
3.8 Metrik Keberhasilan Navigasi.....	47
3.9 Hyperparameter.....	48
<b>BAB IV Hasil dan Pembahasan</b> .....	50
4.1 Analisis Performa Agen.....	50
4.1.1 Analisis Performa PPO.....	50
4.1.1.1 Reward dan Episode Length PPO.....	50
4.1.1.2 Komponen Reward PPO.....	51
4.1.1.3 Komponen Perilaku Agen PPO.....	56
4.1.2 Analisis Performa SAC.....	60
4.1.2.1 Reward dan Episode Length SAC.....	60

4.1.2.2	Komponen Reward SAC .....	61
4.1.2.3	Komponen Perilaku Agen SAC .....	67
4.2	Hasil eksperimen dan Evaluasi .....	70
4.2.1	Tingkat Kestabilan Pitch .....	70
4.2.2	Tingkat Waktu Tempuh .....	72
4.2.3	Tingkat Kendali Pengereman Kecepatan Turret dan Roda .....	75
4.2.4	Presentase Tingkat Kecelakaan .....	78
4.3	Analisis Keamanan Navigasi .....	79
4.3.1	Presentase Tingkat Keberhasilan .....	79
4.3.2	Analisis Pola Kegagalan .....	80
4.3.2.1	Karakteristik Kegagalan Manusia: <i>Aggressive Impulsivity</i> dan Risiko Katastropik .....	80
4.3.2.2	Kegagalan Baselines ( <i>Sim-to-Real Gap</i> ): <i>Dynamic Mismatch</i> dan Kegagalan Pengereman .....	80
4.3.2.3	Analisis Efek Integrasi terhadap <i>Success Rate</i> dan Mitigasi Risiko .....	81
BAB V	Kesimpulan dan Saran .....	82
5.1	Kesimpulan .....	82
5.2	Saran .....	82
DAFTAR PUSTAKA	.....	84
L.0.1	Scan QR untuk CODE Repository dan Gambar Percobaan .....	L-89
L.0.2	Tabel Hasil Percobaan .....	L-90