

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PROMOTOR	iii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	iv
PERNYATAAN PROMOVENDUS	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG	xvii
ABSTRAK	xx
ABSTRACT	xxi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Keaslian Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	7
1.7 Sistematika Penulisan	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	 9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.1.1 Perkembangan Penelitian UAV dan FANET	9
2.1.2 Penelitian Optimasi Energi pada UAV	9
2.1.3 Penelitian <i>Deep Reinforcement Learning</i> pada UAV dan FANET	10
2.1.4 Penelitian <i>Genetic Algorithm</i> pada UAV	11
2.1.5 Posisi Penelitian terhadap <i>State-of-the-Art</i>	13
2.2 Landasan Teori UAV	13
2.2.1 Definisi UAV	13
2.2.2 Klasifikasi UAV	14
2.2.3 Komponen Konsumsi Energi UAV	15
2.2.4 Implikasi Energi terhadap Optimasi Misi UAV	17
2.3 Landasan Teori FANET	18
2.3.1 Definisi FANET	18
2.3.2 Karakteristik FANET	18
2.3.3 Komunikasi <i>Air-to-Ground</i>	19
2.3.4 Tantangan Optimasi pada FANET	19
2.3.5 Evolusi FANET menuju IMT-2030/6G	20
2.4 Indeks Kualitas Misi	21
2.4.1 Konsep Indeks Kualitas Misi pada Sistem Multi-UAV	21
2.4.2 Pendekatan Multikriteria dalam Evaluasi Misi	21
2.4.3 Efisiensi Energi	24
2.4.4 <i>Coverage Completeness</i>	24

2.4.5	<i>Data Delivery Reliability</i>	24
2.4.6	UAV <i>Fairness</i> dan UAV <i>Fairness</i>	25
2.4.7	Formulasi Konseptual Indeks Kualitas Misi.....	25
2.4.8	Potensi Perluasan Indeks Kualitas Misi untuk FANET Masa Depan	27
2.5	<i>Genetic Algorithm</i>	28
2.5.1	Konsep Dasar Genetic Algorithm.....	28
2.5.2	Representasi Kromosom	30
2.5.3	Fungsi <i>Fitness</i>	32
2.5.4	Operator Seleksi.....	33
2.5.5	Operator <i>Crossover</i>	35
2.5.6	Operator Mutasi	37
2.5.7	Parameter Genetic Algorithm	40
2.5.8	Konvergensi <i>Genetic Algorithm</i>	40
2.6	<i>Genetic Algorithm</i> untuk Optimasi Multi-UAV	40
2.6.1	Optimasi Multi-UAV sebagai Permasalahan <i>Routing</i>	41
2.6.2	Representasi <i>Multi-Route</i> pada <i>Genetic Algorithm</i>	42
2.6.3	<i>Energy-Aware Routing</i> pada Sistem Multi-UAV	42
2.6.4	Keterbatasan Pendekatan <i>Existing Genetic Algorithm</i> dan Posisi Penelitian.....	43
2.7	Kerangka Teoretis Penelitian	44
2.7.1	UAV sebagai Sistem dengan Keterbatasan Energi.....	44
2.7.2	FANET sebagai Lingkungan Operasional Sistem Multi-UAV	45
2.7.3	Kualitas Misi sebagai <i>Outcome</i> Operasional Sistem	45
2.7.4	Kebutuhan Optimasi pada Sistem Multi-UAV	46
2.7.5	<i>Genetic Algorithm</i> sebagai Mekanisme Optimasi	46
2.7.6	Sintesis Kerangka Penelitian dan Pengembangan WE-Gen.A	47
2.8	Hipotesis.....	48
BAB III	METODE PENELITIAN	50
3.1	Desain Penelitian.....	50
3.1.1	Kerangka Sistem Penelitian	50
3.1.2	Tahapan Penelitian.....	52
3.2	Algoritma Usulan	54
3.2.1	Landasan Konseptual WE-Gen.A.....	55
3.2.2	Representasi Kromosom.....	56
3.2.3	Proses Dekode Kromosom	58
3.2.4	Evaluasi <i>Fitness</i>	60
3.2.5	Mekanisme Evolusi	61
3.2.6	<i>Pseudocode</i> WE-Gen.A	63
3.2.7	Parameter Algoritma.....	67
3.2.8	Analisis Kompleksitas Komputasi WE-Gen.A.....	68
3.3	Model Sistem	70
3.3.1	Model Lingkungan.....	70
3.3.2	Model UAV	71
3.3.3	Model FANET	72
3.3.4	Model Konsumsi Energi	83
3.3.5	Model Pengumpulan Data	93
3.4	Formulasi Masalah Optimasi	95
3.4.1	Definisi Permasalahan Optimasi.....	95

3.4.2 Batasan Operasional	97
3.4.3 Fungsi Objektif Berbasis Indeks Kualitas Misi	99
3.4.4 Rumusan Permasalahan Optimasi	107
3.5 Algoritma Pembandingan	109
3.5.1 <i>Random Assignment</i>	109
3.5.2 <i>Greedy Nearest-neighbor</i>	109
3.5.3 <i>Multi-Route Genetic Algorithm</i> (MR-GA)	110
3.5.4 <i>Energy-Balanced Genetic Algorithm</i> (EB-GA)	111
3.5.5 <i>Nondominated Sorting Genetic Algorithm II</i> (NSGA-II)	112
3.6 Skenario Simulasi	113
3.6.1 Lingkungan Simulasi	114
3.6.2 Parameter Simulasi	114
3.6.3 Skenario Pengujian	116
3.6.4 Indikator Evaluasi	117
3.7 Metode Analisis Hasil Simulasi	118
3.7.1 Analisis Kuantitatif	119
3.7.2 Analisis Hubungan dan <i>Trade-off</i> Antar Metrik	126
3.7.3 Analisis Sensitivitas	129
3.7.4 Analisis Visual	130
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 131
4.1 Gambaran Umum Hasil Eksperimen	131
4.2 Analisis Kuantitatif Hasil Simulasi	133
4.2.1 Analisis Indeks Kualitas Misi	134
4.2.2 Analisis Efisiensi Energi	140
4.2.3 Analisis <i>Coverage Completeness</i>	143
4.2.4 Analisis <i>Data Delivery Ratio</i>	147
4.2.5 Analisis UAV <i>Fairness</i>	150
4.2.6 Analisis <i>PoI Fairness</i>	152
4.2.7 Analisis Total Jarak Tempuh	155
4.2.8 Analisis Total Konsumsi Energi	158
4.3 Analisis Hubungan dan <i>Trade-off</i> antar Metrik	162
4.3.1 <i>Trade-off</i> antara <i>Coverage Completeness</i> dan Total Konsumsi Energi	162
4.3.2 <i>Trade-off</i> antara UAV <i>Fairness</i> dan Total Jarak Tempuh	164
4.3.3 <i>Trade-off</i> antara Efisiensi Energi dan Indeks Kualitas Misi	166
4.3.4 Analisis Korelasi Spearman	169
4.4 Analisis Sensitivitas	174
4.5 Analisis Mekanisme Kinerja WE-Gen.A	177
4.5.1 Pengaruh Representasi Kromosom	178
4.5.2 Pengaruh Fungsi <i>Fitness</i>	178
4.5.3 Pengaruh Mekanisme Evolusi	179
4.5.4 Sintesis Keunggulan WE-Gen.A	179
4.6 Analisis Visualisasi Lintasan UAV	180
4.7 <i>Engineering Trade-off</i> dan Kelayakan Implementasi WE-Gen.A	186
4.7.1 <i>Trade-off</i> antara Indeks Kualitas Misi dan Efisiensi Operasional	186
4.7.2 <i>Trade-off</i> antara Kualitas Solusi, Kompleksitas Komputasi, dan Konvergensi	187

4.7.3 Kelayakan Implementasi <i>Offline</i> , Keterbatasan <i>Real-Time</i> , dan Batas Validitas Model	188
4.7.4 Kondisi Pemilihan WE-Gen.A dan Algoritma Alternatif.....	189
4.7.5 Sintesis <i>Engineering Trade-off</i>	189
 BAB V PENUTUP	191
5.1 Kesimpulan	191
5.2 Kontribusi Penelitian.....	192
5.3 Implikasi Praktis dan Implementasi Industri.....	193
5.4 Relevansi terhadap Evolusi FANET menuju IMT-2030/6G	196
5.5 Keterbatasan Penelitian	197
5.6 Saran	198
 DAFTAR PUSTAKA	201
 LAMPIRAN Perhitungan Parameter Daya UAV	209