



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN</b>	<b>xv</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xx</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
I.1. Latar Belakang . . . . .	1
I.2. Perumusan Masalah . . . . .	2
I.3. Batasan Masalah . . . . .	3
I.4. Tujuan Perancangan . . . . .	3
I.5. Manfaat Perancangan . . . . .	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
II.1. Kontrol 3 DOF <i>helicopter</i> . . . . .	5
II.2. Aplikasi <i>Repetitive Control</i> . . . . .	7
<b>III. DASAR TEORI</b>	<b>12</b>
III.1. <i>Repetitive Control</i> . . . . .	12
III.1.1. <i>Repetitive Control</i> Pendekatan Seri . . . . .	15





III.1.2. Pendekatan <i>Repetitive Control</i> Pendekatan <i>Plug-in</i> . . . . .	17
III.1.3. <i>Low Order Repetitive Control</i> . . . . .	19
III.2. <i>Three DOF Helicopter</i> . . . . .	20
III.2.1. Struktur Helikopter . . . . .	20
III.2.2. Permodelan 3 DOF <i>Helicopter</i> . . . . .	21
III.2.2.a Dinamika 3 DOF <i>Helicopter</i> . . . . .	21
III.2.2.b <i>State-Space Model</i> . . . . .	24
<b>IV. PELAKSANAAN PENELITIAN</b>	<b>28</b>
IV.1. Alat dan Bahan Perancangan . . . . .	28
IV.2. Tata Laksana Perancangan . . . . .	28
IV.3. Rencana Analisis Hasil . . . . .	31
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>32</b>
V.1. Hasil Penelitian . . . . .	32
V.1.1. <i>Low Order Repetitive Control</i> . . . . .	32
V.1.1.a Sinyal <i>Infinity</i> . . . . .	32
V.1.1.b Sinyal Lingkaran . . . . .	34
V.1.1.c Sinyal Berlian . . . . .	37
V.1.2. <i>Regular Repetitive Control</i> . . . . .	39
V.1.2.a Sinyal <i>Infinity</i> . . . . .	39
V.1.2.b Sinyal Lingkaran . . . . .	40
V.1.2.c Sinyal Berlian . . . . .	43
V.2. Pembahasan . . . . .	45
V.2.1. <i>Decentralized Control</i> . . . . .	45
V.2.2. Stabilisasi Kontroler . . . . .	48
V.2.3. Desain Kontroler . . . . .	53





V.2.3.a	Subsistem Elevasi . . . . .	54
V.2.3.b	Subsistem <i>Pitch</i> dan <i>Travel</i> . . . . .	58
V.2.4.	Simulasi . . . . .	63
V.2.4.a	Sinyal Referensi . . . . .	64
V.2.4.b	<i>Low Order Repetitive Control</i> . . . . .	66
V.2.4.c	<i>Regular Repetitive Control</i> . . . . .	69
V.2.4.d	Model Sistem . . . . .	70
V.2.4.e	<i>Scope</i> . . . . .	71
V.2.5.	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Low Order RC</i> dengan <i>Regular RC</i> . . . . .	71
<b>VI.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>73</b>
VI.1.	Kesimpulan . . . . .	73
VI.2.	Saran . . . . .	73
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>A.</b>	<b>Simulasi Menggunakan Simulink</b>	<b>78</b>
<b>B.</b>	<b>Listing Program</b>	<b>80</b>





## DAFTAR TABEL

4.1. Alat dan Bahan . . . . .	28
4.2. Estimasi waktu perancangan . . . . .	30
5.1. Besar variabel yang digunakan. . . . .	47





## DAFTAR GAMBAR

3.1.	Diagram blok <i>Repetitive Control</i> yang kontinu. . . . .	12
3.2.	Diagram blok komponen $I(s)$ yang kontinu. . . . .	13
3.3.	Diagram blok komponen $I(s)$ menggunakan <i>low-pass filter</i> . . . . .	13
3.4.	Komponen <i>internal model</i> diskrit . . . . .	14
3.5.	<i>Repetitive control</i> pendekatan seri . . . . .	15
3.6.	pendekatan <i>plug-in repetitive control</i> . . . . .	18
3.7.	Model <i>internal low order RC</i> . . . . .	19
3.8.	Komponen dari 3 DOF <i>helicopter</i> . . . . .	21
3.9.	Sumbu gerak 3 DOF <i>helicopter</i> . . . . .	22
3.10.	<i>Free-body diagram</i> 3 DOF <i>helicopter</i> . . . . .	23
3.11.	Sumbu <i>tandem rotor helicopter</i> Boeing HC-1B Chinook . . . . .	25
4.1.	Diagram alir tata laksana tahap simulasi . . . . .	31
5.1.	Sinyal output elevasi . . . . .	32
5.2.	Sinyal output <i>travel</i> . . . . .	33
5.3.	<i>error</i> sistem untuk sinyal masukan <i>infinity</i> . . . . .	33
5.4.	Sinyal output <i>infinity</i> . . . . .	34
5.5.	Sinyal output elevasi . . . . .	35
5.6.	Sinyal output <i>travel</i> . . . . .	35
5.7.	<i>error</i> sistem untuk sinyal masukan lingkaran. . . . .	35
5.8.	Sinyal output lingkaran . . . . .	36
5.9.	Sinyal output elevasi untuk $M = 10$ . . . . .	37
5.10.	Sinyal output <i>travel</i> untuk $M = 10$ . . . . .	37
5.11.	<i>error</i> sistem untuk sinyal masukan berlian . . . . .	38





5.12. Respon gerak helikopter untuk sinyal masukan segitiga dengan besar M berbeda. . . . .	39
5.13. Sinyal output elevasi . . . . .	40
5.14. Sinyal output <i>travel</i> . . . . .	40
5.15. <i>error</i> sistem untuk sinyal masukan <i>infinity</i> . . . . .	41
5.16. Sinyal output <i>infinity</i> . . . . .	41
5.17. Sinyal output elevasi . . . . .	42
5.18. Sinyal output <i>travel</i> . . . . .	42
5.19. <i>error</i> sistem untuk sinyal masukan lingkaran. . . . .	42
5.20. Sinyal output <i>infinity</i> . . . . .	43
5.21. Sinyal output elevasi untuk $M = 10$ . . . . .	44
5.22. Sinyal output <i>travel</i> untuk $M = 10$ . . . . .	44
5.23. <i>error</i> sistem untuk sinyal masukan berlian . . . . .	45
5.24. Sinyal output <i>travel</i> untuk $M = 10$ . . . . .	45
5.25. Peta <i>pole-zero</i> untuk sudut elevasi . . . . .	49
5.26. Diagram blok <i>pole placement</i> . . . . .	50
5.27. Sinyal kontrol subsistem elevasi dengan letak <i>pole placement</i> yang berbeda. . . . .	51
5.28. Peta <i>pole-zero</i> subsistem elevasi setelah dilakukan stabilisasi <i>pole placement</i> . . . . .	52
5.29. Peta <i>pole-zero</i> untuk sudut <i>pitch</i> dan <i>travel</i> . . . . .	53
5.30. Peta <i>pole-zero</i> subsistem <i>pitch</i> dan <i>travel</i> setelah dilakukan stabilisasi <i>pole placement</i> . . . . .	54
5.31. Diagram blok simulasi 3 DOF <i>helicopter</i> . . . . .	64
5.32. Sinyal deret harmonik segitiga dengan nilai M berbeda. . . . .	66
5.33. Diagram blok Simulink kontroler elevasi . . . . .	67





5.34. Diagram blok Simulink kontroler <i>pitch</i> dan <i>travel</i> . . . . .	68
5.35. Diagram blok Simulink kontroler elevasi . . . . .	70
5.36. Diagram blok Simulink kontroler <i>pitch</i> dan <i>travel</i> . . . . .	70
5.37. Model subsistem elevasi . . . . .	71
5.38. Model subsistem <i>pitch</i> dan <i>travel</i> . . . . .	71
5.39. Blok <i>scopes</i> untuk memonitor hasil simulasi . . . . .	72
A.1. Simulink sinyal referensi subsistem elevasi untuk output berbentuk <i>infinity</i> . . . . .	78
A.2. Simulink sinyal referensi subsistem elevasi untuk output berbentuk lingkaran. . . . .	78
A.3. Simulink sinyal referensi subsistem elevasi untuk output berbentuk berlian. . . . .	78
A.4. Simulink sinyal referensi subsistem <i>pitch travel</i> untuk output berbentuk <i>infinity</i> . . . . .	79
A.5. Simulink sinyal referensi <i>pitch travel</i> untuk output berbentuk lingkaran.	79
A.6. Simulink sinyal referensi <i>pitch travel</i> untuk output berbentuk berlian.	79
A.7. Pemberitahuan <i>error</i> pada simulasi menggunakan $G_{\lambda,2}$ pada kompensator subsistem <i>pitch travel</i> . . . . .	79





## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

### Lambang Romawi

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
$D(s)$	fungsi transfer <i>disturbance</i>	–
$e$	eksponensial	–
$E(s)$	fungsi transfer <i>error</i>	–
$E(z)$	fungsi transfer <i>error</i> diskrit	–
$F_b$	gaya angkat motor belakang	N
$F_f$	gaya angkat motor depan	N
$g$	percepatan gravitasi	m/s <sup>2</sup>
$G(s)$	fungsi transfer <i>plant</i>	–
$G(z)$	fungsi transfer <i>plant</i> diskrit	–
$G_\varepsilon(s)$	fungsi transfer kontinu subsistem elevasi	–
$G_\varepsilon(z)$	fungsi transfer diskrit subsistem elevasi	–
$G_\lambda(s)$	fungsi transfer kontinu subsistem <i>pitch</i> dan <i>travel</i>	–
$G_\lambda(z)$	fungsi transfer diskrit subsistem <i>pitch</i> dan <i>travel</i>	–
$G_c(z)$	fungsi transfer kompensator diskrit	–
$G_x(s)$	fungsi transfer kompensator	–
$G_x(z)$	fungsi transfer kompensator diskrit	–
$I(s)$	fungsi transfer <i>internal model</i>	–
$I(z)$	fungsi transfer <i>internal model</i> diskrit	–
$j$	bilangan imajiner	–
$K_f$	konstanta gaya dorong baling-baling	N/V
$L_a$	jarak sumbu <i>travel</i> dengan <i>body</i> helikopter	m
$L_h$	jarak pusat <i>balance arm</i> dengan pusat motor depan dan belakang	m
$L_w$	jarak sumbu <i>travel</i> dengan <i>counterweight</i>	m





$M$	banyaknya deret harmonik segitiga	–
$m_b$	massa baling-baling motor belakang	kg
$m_f$	massa baling-baling motor depan	kg
$m_w$	massa <i>counterweight</i>	kg
$N$	sampel per periode	–
$Q(s)$	fungsi transfer filter kontinu	–
$Q(z)$	fungsi transfer filter diskrit	–
$r$	sinyal referensi	–
$R(s)$	fungsi transfer referensi	–
$R(z)$	fungsi transfer referensi diskrit	–
$s$	domain frekuensi laplace	–
$T_s$	waktu sampel	s
$u$	masukan sistem	V
$u_1$	masukan elevasi	V
$u_2$	masukan <i>pitch</i> dan <i>travel</i>	V
$V_b$	tegangan motor belakang	V
$V_f$	tegangan motor depan	V
$V_{op}$	tegangan operasional	V
$Y(s)$	fungsi transfer <i>output</i>	–
$Y(z)$	fungsi transfer output diskrit	–
$z$	domain frekuensi diskrit	–
$C_\epsilon$	kompensator subsistem elevasi	–
$C_\lambda$	kompensator subsistem <i>pitch</i> dan <i>travel</i>	–
$S_d$	fungsi transfer <i>time delay low order RC</i>	–





## Lambang Yunani

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
$\varepsilon$	sudut elevasi	$^{\circ}$
$\forall$	untuk semua	—
$\in$	di dalam elemen	—
$\lambda$	sudut <i>travel</i>	$^{\circ}$
$\omega$	kecepatan sudut	rad/s
$\rho$	sudut <i>pitch</i>	$^{\circ}$
$\tau$	periode sinyal input	s

## Subskrip

<i>Lambang</i>	<i>Deskripsi</i>
Inc	incorporation
in	input
out	output

## Superskrip

<i>Lambang</i>	<i>Deskripsi</i>
—	—

## Singkatan

DOF	Degree of Freedom
LQR	Linear Quadratic Regulator
MIMO	Multi Input Multi Output
MPC	Model Predictive Control





PID	Proportional Integral Derivative
RC	Repetitive Control
SISO	Single Input Single Output
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

