

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Macam-macam <i>bipedal walking robot</i> .....	2
Gambar 1.2	Diagram alir penelitian.....	5
Gambar 2.1	Mekanisme berjalan pada manusia .....	7
Gambar 2.2	Model dinamik dari <i>swing leg</i> .....	8
Gambar 2.3	Representasi dari <i>plant</i> .....	17
Gambar 2.4	Blok diagram pada sistem <i>adaptive control</i> .....	19
Gambar 2.5	Model <i>simple pendulum</i> [12] .....	26
Gambar 2.6	Model <i>simple pendulum</i> dengan SimMechanics.....	27
Gambar 2.7	Kotak dialog blok <i>Body</i> pada simulasi <i>simple pendulum</i> dengan SimMechanics .....	29
Gambar 2.8	Model <i>simple pendulum</i> dengan Simulink.....	30
Gambar 2.9	Grafik perbandingan posisi sudut pada simulasi <i>simple pendulum</i> dengan SimMechanics dan Simulink .....	30
Gambar 2.10	Gambar model <i>double pendulum</i> dengan asumsi massa tali diabaikan [13] .....	31
Gambar 2.11	Model <i>double pendulum</i> dengan asumsi massa tali diabaikan menggunakan SimMechanics.....	32
Gambar 2.12	Kotak dialog pada blok <i>Joint Initial Condition</i> untuk pendulum pertama pada simulasi <i>double pendulum</i> dengan asumsi massa tali diabaikan ...	33
Gambar 2.13	Kotak dialog pada blok <i>Joint Initial Condition</i> untuk pendulum kedua pada simulasi <i>double pendulum</i> dengan asumsi massa tali diabaikan ...	33
Gambar 2.14	Kotak dialog blok <i>Body</i> yang merepresentasikan pendulum pertama ...	34
Gambar 2.15	Kotak dialog blok <i>Body</i> yang merepresentasikan pendulum kedua .....	35
Gambar 2.16	Model <i>double pendulum</i> dengan Simulink .....	36
Gambar 2.17	<i>Subsystem double pendulum</i> .....	36
Gambar 2.18	Grafik $\theta_1$ simulasi <i>double pendulum</i> dengan Simulink dan SimMechanics .....	37
Gambar 2.19	Grafik $\theta_2$ simulasi <i>double pendulum</i> dengan Simulink dan	

	SimMechanics .....	37
Gambar 3.1	Model dinamika <i>swing leg</i> .....	39
Gambar 3.2	<i>Subsystem swing leg</i> .....	40
Gambar 3.3	Model dinamika <i>swing leg</i> dengan <i>state</i> $q_1$ dan $q_2$ .....	40
Gambar 3.4	<i>Subsystem swing leg</i> dengan <i>state</i> $q_1$ , $q_2$ , $\dot{q}_1$ , $\dot{q}_2$ , $\ddot{q}_1$ dan $\ddot{q}_2$ .....	41
Gambar 3.5	Kotak dialog pada blok <i>Ground</i> .....	44
Gambar 3.6	Kotak dialog pada blok <i>Ground</i> setelah cek <i>Show Machine Environment port</i> .....	44
Gambar 3.7	Kotak dialog pada blok <i>Machine Environment</i> .....	45
Gambar 3.8	Tampilan blok <i>Machine Environment</i> dan <i>Ground</i> pada lembar kerja...	46
Gambar 3.9	Tampilan blok <i>Machine Environment</i> , <i>Ground</i> , dan <i>Revolute</i> pada lembar kerja.....	46
Gambar 3.10	Kotak dialog pada blok <i>Revolute</i> .....	47
Gambar 3.11	Kotak dialog pada blok <i>Body</i> .....	48
Gambar 3.12	Tampilan blok <i>Machine Environment</i> , <i>Ground</i> , <i>Revolute</i> , <i>Body</i> dan <i>Revolute 1</i> pada lembar kerja <i>double pendulum</i> .....	49
Gambar 3.13	Kotak dialog blok <i>Body</i> .....	50
Gambar 3.14	Tampilan blok <i>Machine Environment</i> , <i>Ground</i> , <i>Body</i> , <i>Revolute 1</i> , dan <i>Body 1</i> pada lembar kerja <i>double pendulum</i> .....	50
Gambar 3.15	Tampilan kotak dialog <i>Revolute</i> .....	51
Gambar 3.16	Tampilan lembar kerja <i>double pendulum</i> setelah penambahan blok <i>Joint Initial Condition (IC)</i> .....	52
Gambar 3.17	Kotak dialog pada blok <i>IC (Joint Initial Condition)</i> .....	52
Gambar 3.18	Tampilan lembar kerja <i>double pendulum</i> setelah penambahan blok <i>Joint Sensor</i> .....	53
Gambar 3.19	Kotak dialog pada blok <i>Joint Sensor</i> .....	53
Gambar 3.20	Kotak dialog pada blok <i>To Workspace</i> .....	54
Gambar 3.21	Simulasi <i>double pendulum</i> secara keseluruhan .....	54
Gambar 3.22	Kotak dialog <i>Configuration Parameter-Solver option</i> .....	55
Gambar 3.23	Kotak dialog <i>Configuration Parameter-SimMechanics option</i> .....	56
Gambar 3.24	Simulasi <i>double pendulum</i> .....	56

Gambar 3.25	Gambar simulasi <i>swing leg</i> beserta desain <i>adaptive control</i> .....	60
Gambar 3.26	Gambar <i>subsystem</i> untuk matriks Y pada persamaan (2.63) .....	61
Gambar 3.27	Gambar blok <i>subsystem</i> Y12 yang mewakili matriks Y pada baris pertama dan kolom kedua .....	62
Gambar 3.28	Gambar blok <i>subsystem</i> Y22 yang mewakili matriks Y pada baris kedua dan kolom kedua .....	62
Gambar 3.29	Gambar blok <i>subsystem</i> yang mewakili persamaan (2.64 a) dan (2.66 a) .....	63
Gambar 3.30	<i>Subsystem desired position</i> .....	64
Gambar 3.31	<i>Subsystem eror virtual velocity</i> yang mewakili persamaan (2.65 a).....	64
Gambar 3.32	<i>Subsystem adaptation law</i> yang mewakili persamaan (2.67 a).....	66
Gambar 3.33	<i>Subsystem Gamma*Y_transpose</i> .....	66
Gambar 3.34	Matriks penyusun hasil perkalian $\Gamma \cdot Y^T$ yang terletak pada baris pertama dan kolom pertama.....	67
Gambar 3.35	Matriks penyusun hasil perkalian $\Gamma \cdot Y^T$ yang terletak pada baris pertama dan kolom kedua .....	68
Gambar 3.36	<i>Subsystem</i> yang mewakili persamaan (2.61 a).....	68
Gambar 3.37	Tampilan <i>file.wrl</i> dari model <i>swing leg</i> pada fitur <i>VRML Builder</i> .....	70
Gambar 3.38	Tampilan <i>file.wrl</i> dari model <i>swing leg</i> setelah dilakukan konfigurasi..	70
Gambar 3.39	Tampilan <i>Library Browser</i> pada <i>Simulink</i> .....	71
Gambar 3.40	Tampilan <i>VR Sink</i> .....	71
Gambar 3.41	Tampilan <i>VR Sink</i> dan <i>VRML Builder</i> .....	72
Gambar 3.42	Tampilan blok <i>VR Sink</i> pada model <i>Simulink</i> .....	72
Gambar 3.43	Model <i>plant swing leg</i> dan <i>adaptive control</i> beserta simulasi VR .....	73
Gambar 4.1	Grafik perbandingan sudut $q_1$ ( <i>thigh</i> ) pada <i>SimMechanics</i> dan <i>Simulink</i> .....	74
Gambar 4.2	Grafik perbandingan sudut $q_2$ ( <i>shin</i> ) pada <i>SimMechanics</i> dan <i>Simulink</i> .....	75
Gambar 4.3	Visualisasi <i>double pendulum</i> dalam <i>SimMechanics</i> .....	76
Gambar 4.4	Grafik posisi sudut yang diinginkan ( $q_{1d}(t)$ ) untuk $q_1$ ( <i>thigh</i> ) .....	77
Gambar 4.5	Grafik posisi sudut yang diinginkan ( $q_{2d}(t)$ ) untuk $q_2$ ( <i>shin</i> ).....	78

Gambar 4.6	Grafik posisi $q_1$ ( <i>thigh</i> ) terhadap $q_{1d}(t)$ tanpa <i>adaptive control</i> .....	78
Gambar 4.7	Grafik Grafik posisi $q_2$ ( <i>shin</i> ) terhadap $q_{2d}(t)$ tanpa <i>adaptive control</i> .....	79
Gambar 4.8	Grafik posisi sudut $q_1$ ( <i>thigh</i> ) terhadap $q_{1d}(t)$ dengan <i>adaptive control</i> .....	80
Gambar 4.9	Gambar posisi sudut $q_1$ ( <i>thigh</i> ) terhadap $q_{1d}(t)$ dengan <i>adaptive control</i> pada referensi [2].....	80
Gambar 4.10	Grafik posisi sudut $q_2$ ( <i>shin</i> ) terhadap $q_{2d}(t)$ dengan <i>adaptive control</i> .....	81
Gambar 4.11	Grafik posisi sudut $q_2$ ( <i>shin</i> ) terhadap $q_{2d}(t)$ dengan <i>adaptive control</i> pada referensi [2].....	81
Gambar 4.12	Grafik eror posisi $\tilde{q}_1$ .....	82
Gambar 4.13	Grafik eror posisi $\tilde{q}_2$ .....	82
Gambar 4.14	Grafik eror kecepatan virtual ( $s_1$ ). .....	84
Gambar 4.15	Grafik eror kecepatan virtual ( $s_1$ ) pada referensi [2].....	84
Gambar 4.16	Grafik eror kecepatan virtual ( $s_2$ ). .....	85
Gambar 4.17	Grafik eror kecepatan virtual ( $s_2$ ) pada referensi [2].....	85
Gambar 4.18	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_1$ .....	86
Gambar 4.19	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_1$ [2] .....	86
Gambar 4.20	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_2$ .....	87
Gambar 4.21	Grafik dinamik parameter estimasi $\tilde{a}_2$ [2] .....	87
Gambar 4.22	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_3$ . .....	88
Gambar 4.23	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_3$ [2] .....	88
Gambar 4.24	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_4$ .....	89
Gambar 4.25	Gambar dinamik parameter estimasi $\hat{a}_4$ [2].....	89
Gambar 4.26	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{a}_5$ .....	90
Gambar 4.27	Gambar dinamik parameter estimasi $\hat{a}_5$ [2].....	90
Gambar 4.28	Grafik posisi sudut yang diinginkan ( $q_{1d}(t)$ ) untuk $q_1$ ( <i>thigh</i> ) dengan variasi .....	92
Gambar 4.29	Grafik posisi sudut yang diinginkan ( $q_{2d}(t)$ ) untuk $q_2$ ( <i>shin</i> ) dengan variasi .....	92

Gambar 4.30	Grafik perbandingan posisi sudut $q_1$ ( <i>thigh</i> ) dengan variasi posisi sudut yang diinginkan $q_{1d}(t)$ .....	93
Gambar 4.31	Grafik perbandingan posisi sudut $q_2$ ( <i>shin</i> ) dengan variasi posisi sudut yang diinginkan $q_{2d}(t)$ .....	94
Gambar 4.32	Gambar grafik error posisi $\tilde{q}_1$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ .....	94
Gambar 4.33	Gambar grafik error posisi $\tilde{q}_2$ dengan variasi $q_{2d}(t)$ .....	95
Gambar 4.34	Grafik error kecepatan virtual ( $s_1$ ) dengan variasi $q_{1d}(t)$ .....	96
Gambar 4.35	Grafik error kecepatan virtual ( $s_2$ ) dengan variasi $q_{2d}(t)$ .....	96
Gambar 4.36	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{\alpha}_1$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ dan $q_{2d}(t)$ .....	97
Gambar 4.37	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{\alpha}_2$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ dan $q_{2d}(t)$ .....	97
Gambar 4.38	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{\alpha}_3$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ dan $q_{2d}(t)$ .....	98
Gambar 4.39	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{\alpha}_4$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ dan $q_{2d}(t)$ .....	98
Gambar 4.40	Grafik dinamik parameter estimasi $\hat{\alpha}_5$ dengan variasi $q_{1d}(t)$ dan $q_{2d}(t)$ .....	99
Gambar 4.41	Hasil animasi <i>plant swing leg</i> dengan Virtual Reality .....	100
Gambar 4.42	Grafik perbandingan posisi $q_1$ dengan $q_{1d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $m_1$ 30% .....	102
Gambar 4.43	Grafik perbandingan posisi $q_2$ dengan $q_{2d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $m_1$ 30% .....	102
Gambar 4.44	Grafik perbandingan posisi $q_1$ dengan $q_{1d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $m_2$ 30% .....	103
Gambar 4.45	Grafik perbandingan posisi $q_2$ dengan $q_{2d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $m_2$ 30% .....	103
Gambar 4.46	Grafik perbandingan posisi $q_1$ dengan $q_{1d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $l_1$ 30% .....	104

Gambar 4.47	Grafik perbandingan posisi $q_2$ dengan $q_{2d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $l_1$ 30%. .....	104
Gambar 4.48	Grafik perbandingan posisi $q_1$ dengan $q_{1d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $l_2$ 30%. .....	105
Gambar 4.49	Grafik perbandingan posisi $q_2$ dengan $q_{2d}(t)$ pada hasil simulasi variasi $l_2$ 30%. .....	105