

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI QUADROTOR DENGAN DIGITAL MOTION PROCESSOR DAN BAROMETER SEBAGAI KESEIMBANGAN POSISI BERBASIS MIKROKONTROLER

Diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik



Disusun Oleh

Nama : Anwar Minarso
NIM : 41413110188
Program Studi : Teknik Elektro

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2015**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Anwar Minarso

NIM : 41413110188

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Judul : Rancang Bangun Sistem Kendali Quadrotor dengan Digital Motion Processor dan Barometer sebagai Keseimbangan Posisi Berbasis Mikrokontroler

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Tugas Akhir ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Penulis



Anwar Minarso

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI QUADROTOR DENGAN DIGITAL MOTION PROCESSOR DAN BAROMETER SEBAGAI KESEIMBANGAN POSISI BERBASIS MIKROKONTROLLER

Nama : Anwar Minarso

NIM : 41413110188

Jurusan : Teknik Elektro

Dosen Pembimbing


UNIVERSITAS
(Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng)
MERCU BUANA

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir / Ketua Program Studi


YAYASAN MENARA BHAKTI
UNIVERSITAS MERCU BUANA

(Yudhi Gunardi, ST, MT)

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan syukur Alhamdulillah, ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penyelesaian tugas akhir ini adalah salah satu syarat dalam menumpuh ujian strata satu (S1) pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Pada kesempatan yang berbahagia ini perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. Bapak Yudhi Gunardi, ST, MT, selaku Kaprodi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana
2. Bapak Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, bantuan, arahan dan saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik
3. Ibu Fina Supegina, ST, MT, selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro
4. Bapak Hj. Achmad Djamaliel, S.Kom, Ibu Yuliana, ST, MMSI dan Bapak Adi Nugroho M.Info.Tech, selaku rekan kerja saya yang memberikan motivasi untuk meneruskan kuliah
5. Mahendra Sondag, S.Kom, Wirasno, S.Kom, Suryagama Harintabima, S.A dan rekan-rekan kerja saya yang memberikan dukungan untuk meneruskan kuliah
6. Kartika Aprillia, S.Psi, selaku istri saya yang selalu memberikan dukungan penuh dalam meneruskan dan menyelesaikan kuliah
7. Ayahanda Hj. Ir. Soetrisno Oerip (almarhum), Ibunda Hj. Ertien Lylasari dan kedua mertua penulis, dengan kasih sayang, doa dari beliau penulis dapat mengenyam pendidikan yang lebih tinggi.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangannya, untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat saya harapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak menambah wawasan serta dapat dijadikan pedoman bagi siapa saja yang berkepentingan dengan bidang ilmu teknik elektro.

Jakarta, 4 Juli 2015

Anwar Minarso



DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Maksud.....	4
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Quadrotor.....	6
2.1.1 Koordinat Quadrotor.....	7
2.1.2 Sistem Gerak Quadrotor.....	9
2.2 Sensor Inersia.....	12
2.2.1 Accelerometer.....	12
2.2.2 Gyroscope.....	21

2.3	Sensor <i>Magnetometer</i>	26
2.3.1	Sensor Fluxgate	26
2.3.2	Magnetoresistor	27
2.4	Sensor <i>Barometer</i>	28
2.4.1	<i>Barometer</i> Air Raksa.....	31
2.4.2	<i>Barometer</i> Air	31
2.4.3	Barograf.....	32
2.4.4	<i>Barometer</i> Aneroid.....	33
2.4.5	<i>Barometer</i> Digital.....	33
2.5	Quaternion	34
2.6	Attitude Heading and Reference System	37
2.6.1	Direct AHRS	39
2.6.2	Direct AHRS dengan Complementary Filter	40
2.6.3	Direct AHRS dengan Kalman Filter	41
2.6.4	Algoritma AHRS DCM.....	47
2.6.5	Algoritma AHRS Mahony	52
2.6.6	Algoritma AHRS Madgwick.....	57
2.7	Digital Motion Processor (DMP)	61
2.8	Altimeter.....	63
2.9	Pengendali PID.....	65
2.9.1	Pengendali Proposional	66
2.9.2	Pengendali Integral.....	67
2.9.3	Pengendali Diferensial	67
2.9.4	Pengendali PI-D	68

2.10	Komunikasi I ² C (Inter Integrated Circuit)	68
BAB III PERANCANGAN		72
3.1	Garis Besar Perancangan.....	72
3.2	Alur Perancangan	73
3.3	Perancangan Perangkat Keras (Hardware Layer)	74
3.3.1	Perancangan Mekanik	74
3.3.2	Perancangan Elektronik.....	78
3.4	Perancangan <i>Embedded System</i>	83
3.4.1	Struktur Class dan Tipe Data	84
3.4.2	Task Management	88
3.4.3	Variabel Global	89
3.4.4	EEPROM Driver	89
3.4.5	Sensor Fusion	90
3.4.6	<i>Flight Controller</i>	92
3.5	Perancangan Communication Layer	102
3.6	Perancangan Presentation Layer	105
3.6.1	Perancangan Aplikasi Utama	106
3.6.2	Perancangan Aplikasi Pendukung	111
BAB IV HASIL DAN ANALISA		113
4.1	Hasil Perancangan	113
4.1.1	Hasil Perancangan Quadrotor.....	113
4.1.2	Hasil Perancangan <i>Ground control</i>	116
4.2	Pengujian Mekanik.....	120
4.2.1	Pengujian Berat	120

4.2.2	Pengujian Gaya Angkat.....	122
4.3	Pengujian Komunikasi Paket Data.....	125
4.3.1	Pengujian Komunikasi Paket Data dengan FTDI	125
4.3.2	Pengujian Komunikasi Paket Data dengan XBee	127
4.4	Pengujian Sensor	129
4.4.1	Pengujian <i>Accelerometer</i>	130
4.4.2	Pengujian <i>Gyroscope</i>	140
4.4.3	Pengujian Sensor <i>Magnetometer</i>	147
4.4.4	Pengujian Sensor <i>Barometer</i>	149
4.5	Pengujian Posisi Sudut.....	152
4.5.1	Direct AHRS	153
4.5.2	Direct AHRS dengan Complementary Filter	155
4.5.3	Direct AHRS dengan Kalman Filter	157
4.5.4	DCM.....	159
4.5.5	Mahony AHRS.....	161
4.5.6	Madgwick AHRS	163
4.6	Pengujian Kontrol PI-D.....	164
4.6.1	Pengujian Mode Akrobatik	165
4.6.2	Pengujian Mode <i>Angle</i>	166
4.6.3	Pengujian Mode <i>Yaw Lock</i>	167
4.7	Pengujian Keseluruhan.....	168
BAB V KESIMPULAN		170
5.1	Kesimpulan.....	170
5.2	Saran Pengembangan	171

DAFTAR PUSTAKA.....	172
LAMPIRAN.....	175
LAMPIRAN 1: Softcopy.....	175
LAMPIRAN 2: Jenis Komunikasi Paket Data	176



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis frame quadcopter berdasarkan posisi motor.....	6
Gambar 2.2 Koordinat sudut Yaw, Pitch dan Roll pada Pesawat F16.....	7
Gambar 2.3 Koordinat bumi dan koordinat quadrotor	8
Gambar 2.4 Arah putar motor pada quadrotor frame X.....	9
Gambar 2.5 Mekanisme quadrotor pada x-frame.....	10
Gambar 2.6 Gerakan quadrotor	12
Gambar 2.7 Sistem mass pegas sebagai <i>accelerometer</i>	13
Gambar 2.8 Topologi <i>accelerometer</i>	15
Gambar 2.9 Foto chip <i>accelerometer</i> dengan teknologi MEMS.....	16
Gambar 2.10 Percepatan dinamis dan statis pada mass-pegas	17
Gambar 2.11 Pengukuran percepatan yang membentuk sudut terhadap sumbu pengukuran	18
Gambar 2.12 Orientasi sumbu <i>accelerometer</i> dan <i>gyroscope</i>	19
Gambar 2.13 Sumbu pengukuran statis dan dinamis pengukuran <i>accelerometer</i>	19
Gambar 2.14 Bola yang diluncurkan pada piringan yang berputar.....	22
Gambar 2.15 Efek Coriolis pada <i>gyroscope</i> garpuataala.....	23
Gambar 2.16 MEMS <i>gyroscope</i> pada iPhone 4	24
Gambar 2.17 Prinsip dasar <i>fluxgate</i>	27
Gambar 2.18 Magneto resistor	27
Gambar 2.19 Bagan <i>barometer</i> air raksa.....	29
Gambar 2.20 Foto <i>barometer</i> air raksa	31
Gambar 2.21 Foto <i>barometer</i> air	32
Gambar 2.22 Foto barograf	32

Gambar 2.23 Foto <i>barometer</i> aneroid	33
Gambar 2.24 Foto chip MPL3115A2 (sensor <i>barometer</i> digital)	34
Gambar 2.25 Element peraba tekanan absolut	34
Gambar 2.26 Diagram perhitungan sudut langsung	40
Gambar 2.27 Diagram perhitungan sudut langsung dengan <i>Complementary Filter</i>	41
Gambar 2.28 Blok diagram algoritma DCM	48
Gambar 2.29 Diagram blok algoritma Mahony <i>Direct Complementary Filter</i> ..	52
Gambar 2.30 Diagram blok algoritma Mahony <i>Passive Complementary Filter</i>	53
Gambar 2.31 Diagram blok algoritma Mahony <i>Explicit Complementary Filter</i>	53
Gambar 2.32 Diagram blok algoritma AHRS Madgwick	58
Gambar 2.33 Diagram blok DMP pada MPU-9x50 dengan aplikasinya	61
Gambar 2.34 Alur Proses Inisialisasi DMP	63
Gambar 2.35 Lapisan atmosfer bumi	64
Gambar 2.36 Diagram blok pengendali PID konvensional	66
Gambar 2.37 Diagram blok pengendali proposional	66
Gambar 2.38 Diagram blok pengendali integral	67
Gambar 2.39 Diagram blok pengendali diferensial	67
Gambar 2.40 Diagram blok pengendali PI-D	68
Gambar 2.41 Kondisi start dan stop pada I ² C	69
Gambar 2.42 Format pengalamatan pada I ² C	69
Gambar 2.43 Kondisi start dan stop pada I ² C	70
Gambar 2.44 Kondisi <i>acknowledge</i> pada I ² C	71
Gambar 3.1 Sistem UAV sederhana	72

Gambar 3.2 Blok diagram elektronik pada quadrotor	73
Gambar 3.3 Alur tahapan perancangan	73
Gambar 3.4 X-frame FPV250 quadrotor	74
Gambar 3.5 BLDC Motor SunnySky X224S-16.....	75
Gambar 3.6 ESC EMAX 12A	76
Gambar 3.7 <i>Propeller</i> HQ-PROP 6x3 inci.....	77
Gambar 3.8 Arduino Pro Mini ATmega328P 5V	78
Gambar 3.9 Modul Drotek 10 DOF IMU.....	79
Gambar 3.10 Skema rangkaian Drotek 10 DOF IMU.....	80
Gambar 3.11 Telemetri radio XBEE Pro 900 HP	81
Gambar 3.12 Baterai Lipo	82
Gambar 3.13 Perancangan skema rangkaian elektronik.....	83
Gambar 3.14 Arsitektur <i>embedded system</i>	84
Gambar 3.15 Diagram struktur tipe data	84
Gambar 3.16 Alur proses <i>task management</i>	89
Gambar 3.17 Alur proses EEPROM	90
Gambar 3.18. Diagram blok perhitungan sudut	91
Gambar 3.19. Diagram blok perhitungan rotasi untuk vektor kecepatan angular dan vektor percepatan.....	91
Gambar 3.20. Diagram blok perhitungan offset <i>Yaw</i>	92
Gambar 3.21. Diagram blok perhitungan ketinggian	92
Gambar 3.22 Diagram blok perhitungan kecepatan ketinggian	92
Gambar 3.23 Diagram blok <i>flight controller</i> secara keseluruhan	94
Gambar 3.24 Diagram blok <i>Command Translator</i>	95

Gambar 3.25	Diagram blok <i>yaw attitude</i> dengan Mode <i>Yaw Lock Off</i>	96
Gambar 3.26	Diagram blok <i>yaw attitude</i> dengan mode <i>Yaw Lock On</i>	96
Gambar 3.27	Diagram blok <i>pitch attitude</i> dengan mode akrobatik	96
Gambar 3.28	Diagram blok <i>pitch attitude</i> dengan mode <i>Angle</i>	97
Gambar 3.29	Diagram blok <i>roll attitude</i> dengan mode akrobatik	97
Gambar 3.30	Diagram blok <i>roll attitude</i> dengan mode <i>angle</i>	98
Gambar 3.31	Diagram blok <i>PI-D Controller</i> untuk <i>yaw stabilizer</i>	99
Gambar 3.32	Diagram blok <i>PI-D Controller</i> untuk <i>pitch stabilizer</i>	99
Gambar 3.33	Diagram blok <i>PI-D Controller</i> untuk <i>roll stabilizer</i>	100
Gambar 3.34	Diagram blok <i>PI-D Controller</i> untuk <i>altitude stabilizer</i>	101
Gambar 3.35	Blok diagram perhitungan mixer	102
Gambar 3.36	Alur proses pengiriman data paket	104
Gambar 3.37	Alur proses penerimaan paket data.....	105
Gambar 3.38	Perancangan layout utama.....	106
Gambar 3.39	Perancangan GUI komunikasi serial	106
Gambar 3.40	Perancangan GUI navigasi	107
Gambar 3.41	Perancangan GUI konfigurasi	108
Gambar 3.42	Perancangan GUI kontrol input.....	109
Gambar 3.43	Perancangan GUI kalibrasi.....	110
Gambar 3.44	Perancangan GUI monitoring.....	111
Gambar 4.1	Hasil perancangan quadrotor	113
Gambar 4.2	Quadrotor dan <i>distribution board 12V</i>	114
Gambar 4.3	IMU, Arduino dan <i>distribution board 5V</i>	115
Gambar 4.4	Implementasi IMU pada quadrotor	115

Gambar 4.5	<i>Ground control</i> dan quadrotor secara keseluruhan.....	116
Gambar 4.6	<i>Ground control</i> menu utama.....	117
Gambar 4.7	<i>Ground control</i> menu konfigurasi	118
Gambar 4.8	<i>Ground control</i> menu konfigurasi input.....	118
Gambar 4.9	<i>Ground control</i> menu monitoring.....	119
Gambar 4.10	<i>Ground control</i> menu kalibrasi	120
Gambar 4.11	Berat kosong quadrotor	121
Gambar 4.12	Berat baterai.....	121
Gambar 4.13	Berat quadrotor dengan baterai.....	121
Gambar 4.14	Diagram thrust meter	122
Gambar 4.15	Thrust meter dengan <i>loadcell</i> dan Arduino	122
Gambar 4.16	Pemasangan motor dan <i>propeller</i> pada <i>loadcell</i>	123
Gambar 4.17	Pengujian <i>thrust</i> terhadap <i>throttle</i> input	123
Gambar 4.18	Ilustrasi <i>throttle</i> input terhadap <i>thrust</i> dengan 4 motor	124
Gambar 4.19	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 20Hz (FTDI).....	125
Gambar 4.20	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 50Hz (FTDI).....	126
Gambar 4.21	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 100Hz (FTDI).....	126
Gambar 4.22	Komunikasi dengan kombinasi paket data (FTDI).....	127
Gambar 4.23	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 20Hz (XBee).....	128
Gambar 4.24	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 50Hz (XBee).....	128
Gambar 4.25	Komunikasi DMP <i>request</i> dan <i>response</i> 100Hz (XBee).....	128
Gambar 4.26	Komunikasi dengan kombinasi paket data (Xbee).....	129
Gambar 4.27	Alur proses penyimpanan data sensor	130
Gambar 4.28	Alur proses untuk pengujian sensor dengan metode offline	130

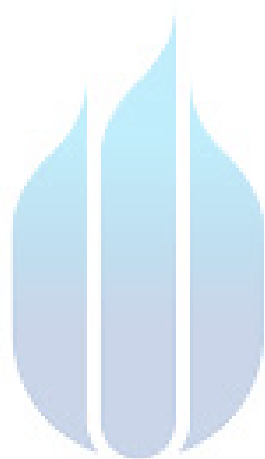
Gambar 4.29 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu x minimum terhadap gravitasi bumi	131
Gambar 4.30 <i>Accelerometer</i> sumbu x minimum terhadap gravitasi bumi.....	132
Gambar 4.31 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu x maksimum terhadap gravitasi bumi.....	132
Gambar 4.32 <i>Accelerometer</i> sumbu x maksimum terhadap gravitasi bumi.....	133
Gambar 4.33 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu y minimum terhadap gravitasi bumi	134
Gambar 4.34 <i>Accelerometer</i> sumbu y minimum terhadap gravitasi bumi.....	134
Gambar 4.35 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu y maksimum terhadap gravitasi bumi.....	135
Gambar 4.36 <i>Accelerometer</i> sumbu y maksimum terhadap gravitasi bumi.....	135
Gambar 4.37 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu z minimum terhadap gravitasi bumi	136
Gambar 4.38 <i>Accelerometer</i> sumbu z minimum terhadap gravitasi bumi.....	137
Gambar 4.39 Orientasi <i>accelerometer</i> sumbu z maksimum terhadap gravitasi bumi.....	137
Gambar 4.40 <i>Accelerometer</i> sumbu z maksimum terhadap gravitasi bumi.....	138
Gambar 4.41 Pengujian respon <i>accelerometer</i> pada sumbu x.....	139
Gambar 4.42 Pengujian respon <i>accelerometer</i> pada sumbu y.....	139
Gambar 4.43 Pengujian respon <i>accelerometer</i> pada sumbu z.....	140
Gambar 4.44 Diagram <i>rotary encoder</i>	141
Gambar 4.45 <i>Rotary encoder</i> sebagai pengukur kecepatan angular.....	141
Gambar 4.46 Pengukuran <i>gyroscope</i> sumbu x dengan <i>rotary encoder</i>	142

Gambar 4.47 Kecepatan angular <i>gyroscope</i> sumbu x vs <i>rotary encoder</i>	142
Gambar 4.48 Pengukuran <i>gyroscope</i> sumbu y dengan <i>rotary encoder</i>	143
Gambar 4.49 Kecepatan angular <i>gyroscope</i> sumbu y vs <i>rotary encoder</i>	143
Gambar 4.50 Pengukuran <i>gyroscope</i> sumbu z dengan <i>rotary encoder</i>	144
Gambar 4.51 Kecepatan angular <i>gyroscope</i> sumbu z vs <i>rotary encoder</i>	144
Gambar 4.52 Respon <i>gyroscope</i> sumbu x	145
Gambar 4.53 Respon <i>gyroscope</i> sumbu y	146
Gambar 4.54 Respon <i>gyroscope</i> sumbu z	146
Gambar 4.55 Pengujian kompas analog dengan sensor <i>magnetometer</i>	147
Gambar 4.56 Pengujian kompas analog dengan sensor <i>magnetometer</i>	148
Gambar 4.57 Kesalahan sensor <i>magnetometer</i> terhadap kompas analog.....	149
Gambar 4.58 Quadrotor dan <i>barometer</i> analog (aneroid)	150
Gambar 4.59 <i>Barometer</i> digital vs <i>barometer</i> analog	150
Gambar 4.60 Pengukuran ketinggian	151
Gambar 4.61 Hubungan <i>barometer</i> dan suhu terhadap ketinggian	151
Gambar 4.62 Pengukuran ketinggian vs aktual ketinggian	152
Gambar 4.63 DMP Yaw vs Direct Yaw	153
Gambar 4.64 DMP Pitch vs Direct Pitch.....	154
Gambar 4.65 DMP Roll vs Direct Roll	154
Gambar 4.66 DMP Yaw vs Direct Yaw (Complementary Filter).....	155
Gambar 4.67 DMP Pitch vs Direct Pitch (Complementary Filter)	156
Gambar 4.68 DMP Roll vs Direct Roll (Complementary Filter)	156
Gambar 4.69 DMP Yaw vs Direct Yaw (Kalman Filter).....	157
Gambar 4.70 DMP Pitch vs Direct Pitch (Kalman Filter).....	158

Gambar 4.71 DMP Roll vs Direct Roll (<i>Kalman Filter</i>).....	158
Gambar 4.72 DMP Yaw vs DCM Yaw	159
Gambar 4.73 DMP Pitch vs DCM Pitch	160
Gambar 4.74 DMP Roll vs DCM Roll	160
Gambar 4.75 DMP Yaw vs Mahony AHRS Yaw	161
Gambar 4.76 DMP Pitch vs Mahony AHRS Pitch	162
Gambar 4.77 DMP Roll vs Mahony AHRS Roll	162
Gambar 4.78 Grafik DMP Yaw vs Madgwick AHRS Yaw.....	163
Gambar 4.79 DMP Pitch vs Madgwick AHRS Pitch.....	163
Gambar 4.80 DMP Roll vs Madgwick AHRS Roll	164
Gambar 4.81 Alat pengujian keseimbangan quadrotor	165
Gambar 4.82 Respon kontrol PI-D pada sudut <i>roll</i> dengan mode akrobatik	166
Gambar 4.83 Respon kontrol PI-D pada sudut <i>roll</i> dengan mode angle.....	167
Gambar 4.84 Respon kontrol PI-D pada sudut <i>yaw</i> dengan mode <i>yaw lock</i>	168

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur paket data DMP.....	62
Tabel 3.1 Spesifikasi BLDC Motor SunnySky X224S-16.....	75
Tabel 3.2 Spesifikasi ESC Emax 12A.....	76
Tabel 3.3 Spesifikasi HQ <i>Propeller</i> DD6030	77
Tabel 3.4 Spesifikasi Arduino Pro Mini ATmega328P 5V	79
Tabel 3.5 Spesifikasi radio XBEE Pro 900 HP	81
Tabel 3.6 Spesifikasi Baterai LiPo	82
Tabel 3.7 Detail struktur tipe data <i>pid_t</i>	85
Tabel 3.8 Detail struktur tipe data <i>barometer</i>	85
Tabel 3.9 Detail struktur tipe data kalibrasi	86
Tabel 3.10 Detail struktur tipe data kalibrasi <i>gyroscope</i>	86
Tabel 3.11 Detail struktur tipe data <i>dmp_raw_t</i>	87
Tabel 3.12 Detail struktur tipe data <i>imu_t</i>	87
Tabel 3.13 Detail struktur tipe data konfigurasi <i>mem_config_t</i>	87
Tabel 3.14 Detail struktur tipe data <i>rcSetting_t</i>	88
Tabel 4.1 Konstanta-konstanta pada <i>complementary filter</i>	155
Tabel 4.2 Konstanta-konstanta pada <i>kalman filter</i>	157
Tabel 4.3 Konstanta-konstanta pada DCM	159
Tabel 4.4 Konstanta-konstanta pada Mahony AHRS	161
Tabel 4.5 Konstanta-konstanta pengendali PI-D dengan mode akrobatik	165
Tabel 4.6 Konstanta-konstanta pengendali PI-D dengan mode <i>angle</i>	166
Tabel 4.7 Konstanta-konstanta pengendali PI-D dengan mode <i>yaw lock</i>	167
Tabel Lampiran.1 Jenis komunikasi paket data	176



UNIVERSITAS
MERCU BUANA