

# Sistem Penjejak Pipa Gas Berbasis Kamera dan Kontrol Keseimbangan dengan Sensor IMU pada Balon Udara Pelacak Kebocoran Pipa Gas

Dion Hayu Fandiantoro  
2212100077

Dosen Pembimbing I:

Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II:

Rudy Dikairono, ST., MT.

# Latar Belakang

2

- Transportasi gas bumi dengan pipa
- Transportasi jarak jauh
- Prosedur perawatan pipa
  - Melacak dan mendeteksi gas bocor
- Resiko meledaknya gas pada kebocoran

# Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi

Nomor 300.K/38/M.Pe/1997

## Perihal Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi

3

### Pasal 21

Pengusaha wajib melakukan pengawasan secara periodeik Pipa Penyalur dan peralatan serta perlengkapan pendukungnya, untuk menjamin dipenuhinya persyaratan keselamatan kerja sesuai Keputusan

## Pasal 22

- (1) Pengusaha wajib melakukan perawatan, dan atau penggantian terhadap segala kerusakan pada Pipa Penyalur dan peralatan serta perlengkapan pendukungnya sesuai dengan standar yang ditetapkan Menteri
- (2) Pengusaha wajib melaporkan kepada Kepala Pelaksana Inspeksi Tambang secara periodik selambat-lambatnya setiap 6(enam) bulan, atas hal-hal sebagai berikut :
  - a. Perbaikan dan atau penggantian Pipa Penyalur dan atau peralatan pendukungnya
  - b. Perubahan dan atau penyimpangan fungsi Jarak Minimum dan atau ruang terbuka disekitar Pipa Penyalur
  - c. Kerusakan, kebocoran, kegagalan, pengkaratan dan gangguan operasi lainnya
  - d. Perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan jalur Pipa Penyalur
- (3) Pengusaha wajib menyimpan, data dan informasi yang berkaitan dengan kebocoran, perbaikan, survey kebocoran, data inpeksi dan atau patroli atas Pipa Penyalur, kondisi pipa pecah dan data lain yang diperlukan
- (4) Dalam hal diperlukan, data dan informasi sebagaimana dimaksud pada ayat (3) wajib ditunjukkan kepada Pelaksana Inpeksi Tambang

# Permasalahan

5

- Bagaimana merancang sistem penjejak pipa untuk untuk balon udara?
- Bagaimana mengontrol balon udara?
- Bagaimana menstabilkan balon udara?

# Tujuan

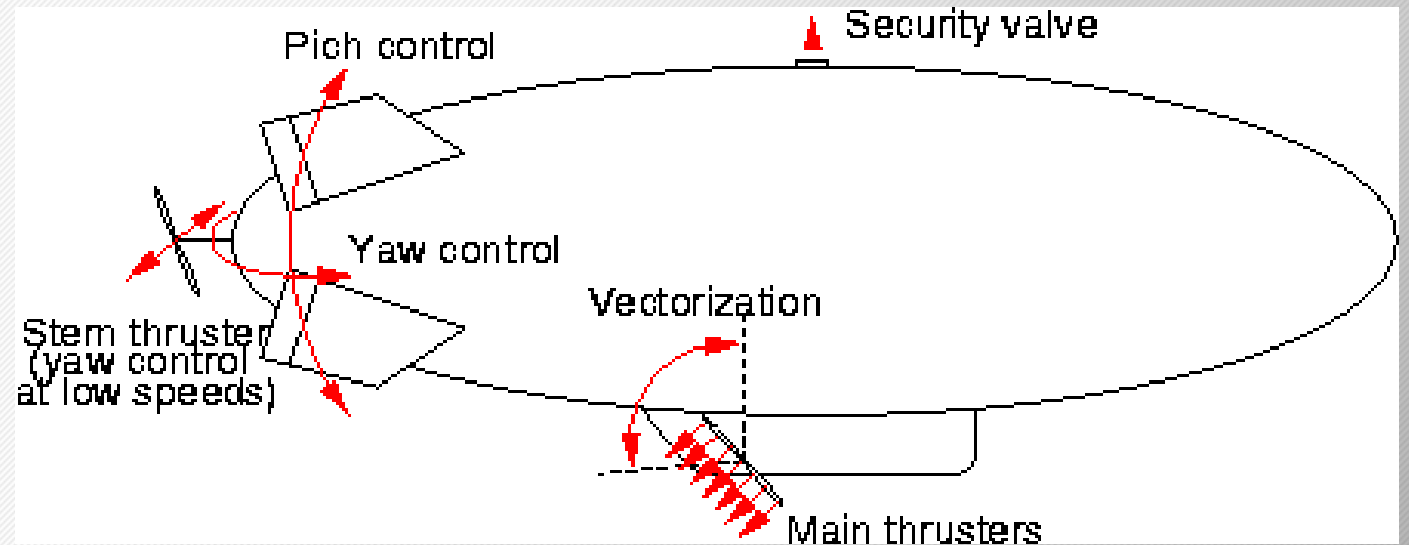
6

- Penjejak pipa dengan menggunakan kamera
- Balon udara dikontrol oleh Arduino berdasarkan kondisi kamera.
- Sensor IMU dapat menstabilkan laju *roll* dari balon udara.

# Batasan Masalah

- Menjejak pipa yang berada di atas tanah dengan menggunakan kamera.
- Sensor IMU yang digunakan berisi akselerometer, giroskop, dan magnetometer.
- Takeoff dan landing balon udara dilakukan secara manual.

# Balon Udara

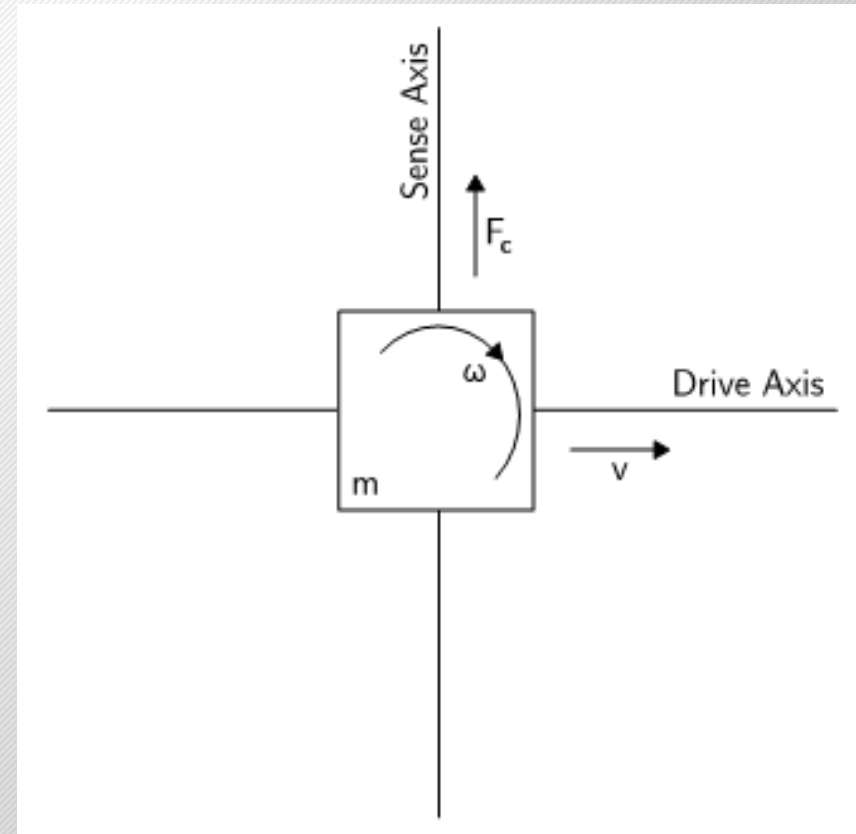
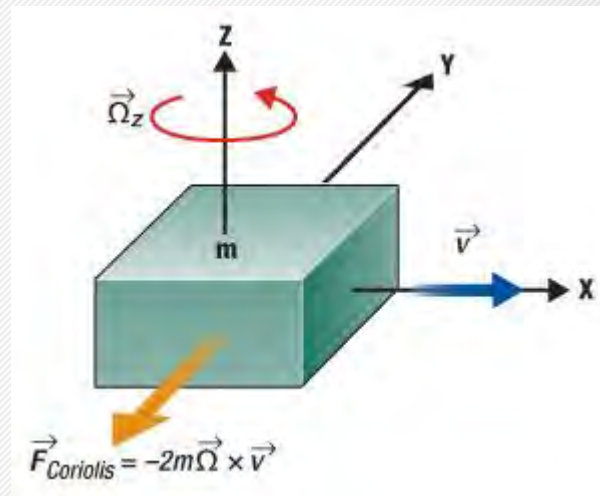




# Giroskop

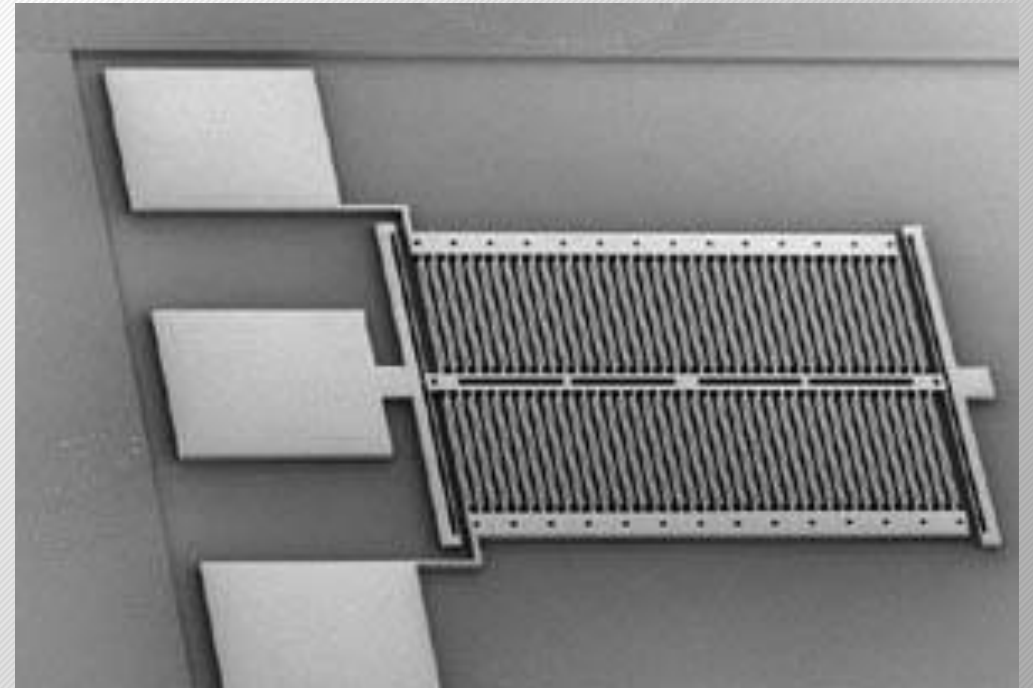
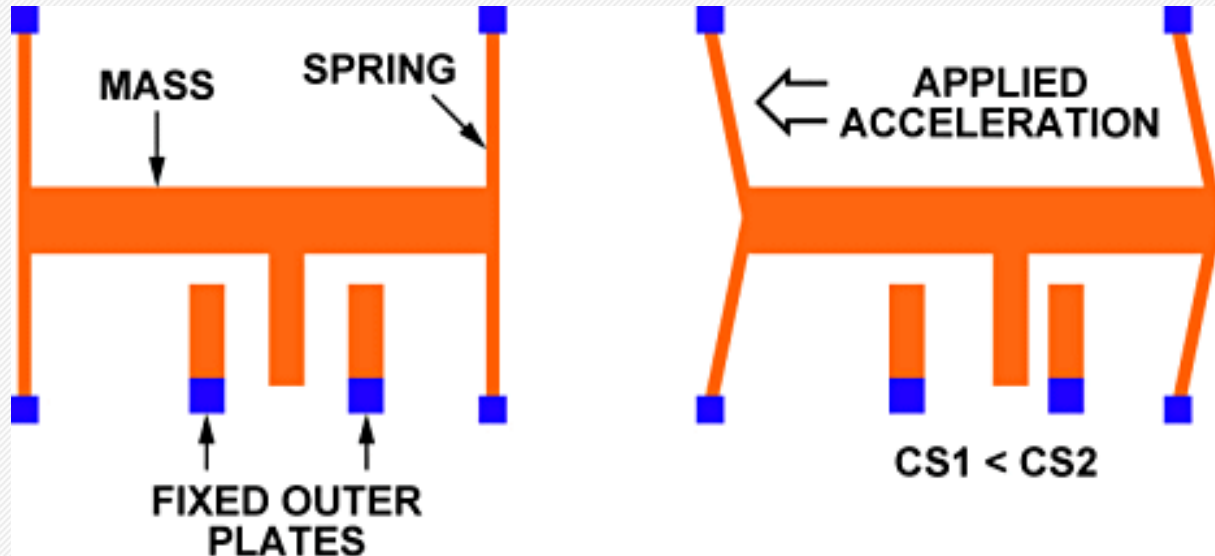
9

Giroskop adalah perangkat untuk mengukur orientasi, dengan prinsip ketetapan momentum sudut. Mekanismenya adalah sebuah roda berputar dengan piringan didalamnya yang tetap stabil.

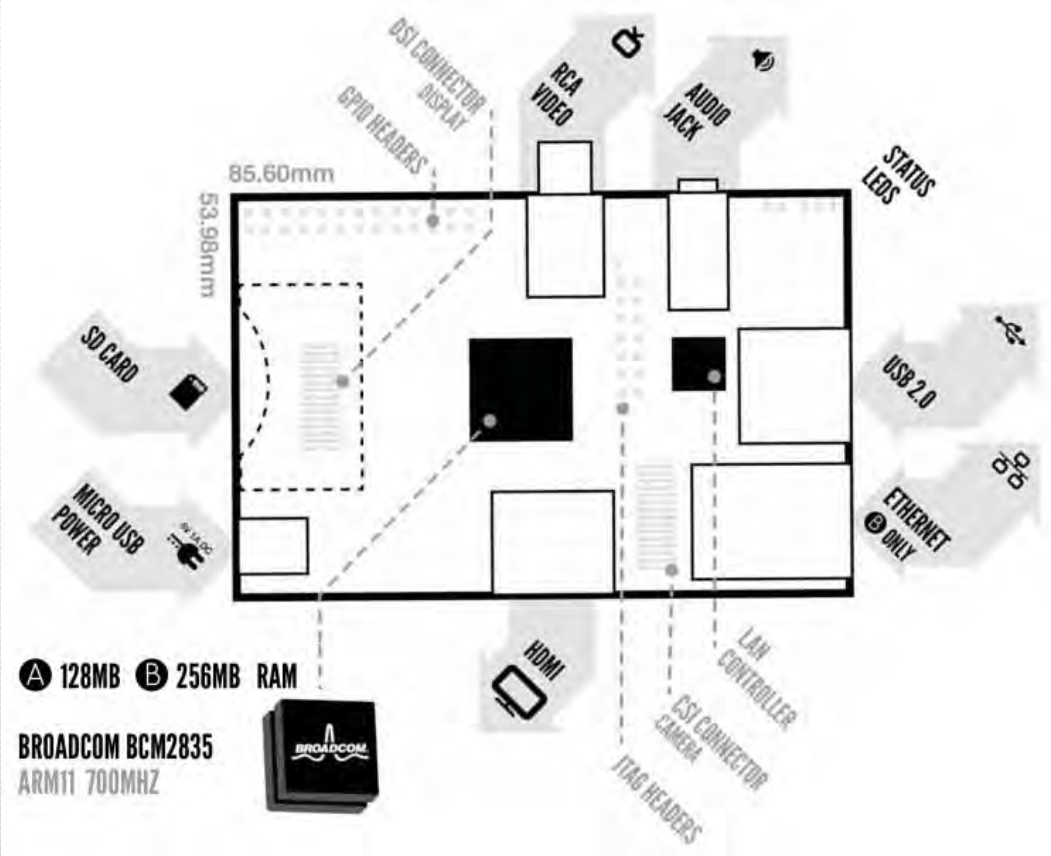
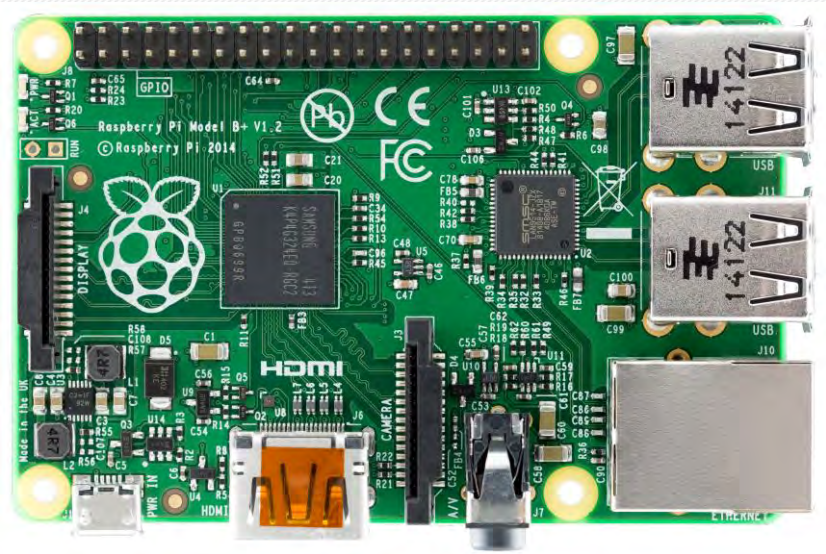


# Akselerometer

10



# Raspberry Pi



# Pengolahan Citra

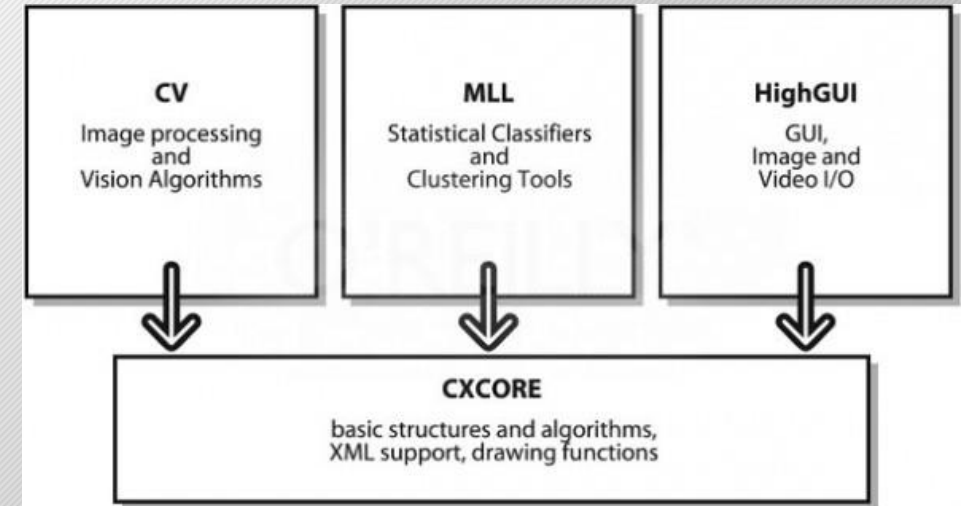
12

## OpenCV Overview: > 500 functions

[opencv.willowgarage.com](http://opencv.willowgarage.com)

**Robot support**

- General Image Processing Functions**
- Image Pyramids**
- Geometric descriptors**
- Segmentation**
- Camera calibration, Stereo, 3D**
- Features**
- Transforms**
- Utilities and Data Structures**
- Tracking**
- Machine Learning: Detection, Recognition**
- Fitting**
- Matrix Math**



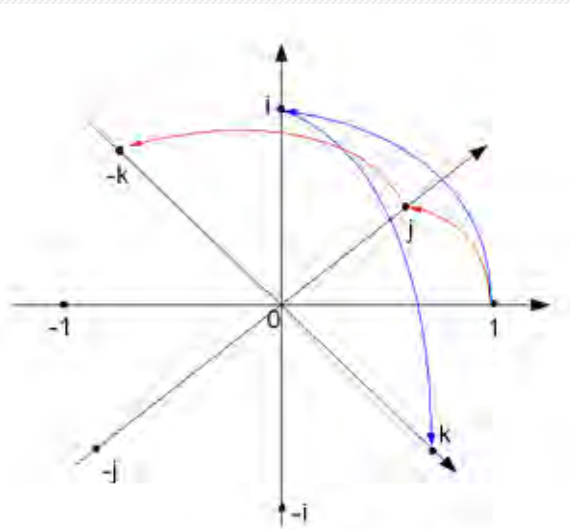
# Metode Madgwick AHRS

13

Madgwick AHRS adalah metode untuk proses orientasi dari sensor IMU dengan menggunakan algoritma gradient decent untuk mengestimasi nilai orientasi dari ketiga sumbu yang ada pada giroskop, akselerometer dan magnetometer. Dimana diketahui bahwa giroskop pada IMU mempunyai nilai drift. Drift pada giroskop adalah pergeseran nilai derajat dari sumbu awal. Pada metode ini sudut-sudut euler dirubah menjadi Kuaternion.

# Kuaternion

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$



Graphical representation of quaternion units product as 90°-rotation in 4D-space

- $ij = k$
- $ji = -k$
- $ij = -ji$

x	1	i	j	K
1	1	i	j	k
i	i	-1	k	-j
j	j	-k	-1	i
k	k	j	-i	-1

Aturan Kuaternion

# Madgwick AHRS

$${}^A_B \hat{q} = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3] = \left[ \cos \frac{\theta}{2} - rx \sin \frac{\theta}{2} - ry \sin \frac{\theta}{2} - rz \sin \frac{\theta}{2} \right] \quad (2.3)$$

$${}^A_B \hat{q}^* = {}^B_A \hat{q} = [q_0 \ -q_1 \ -q_2 \ -q_3] \quad (2.4)$$

$$f({}^S_E \hat{q}, E \hat{a}, S \hat{s}) = {}^S_E \hat{q} \otimes E \hat{a} \otimes {}^S_E \hat{q} - S \hat{s} \quad 2.26 \quad (2.6)$$

$${}^S_E \hat{q} = [q_1 \ -q_2 \ -q_3 \ -q_4] \quad (2.7)$$

$$E \hat{g} = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (2.8)$$

$$S \hat{a} = [0 \ ax \ ay \ az] \quad (2.9)$$

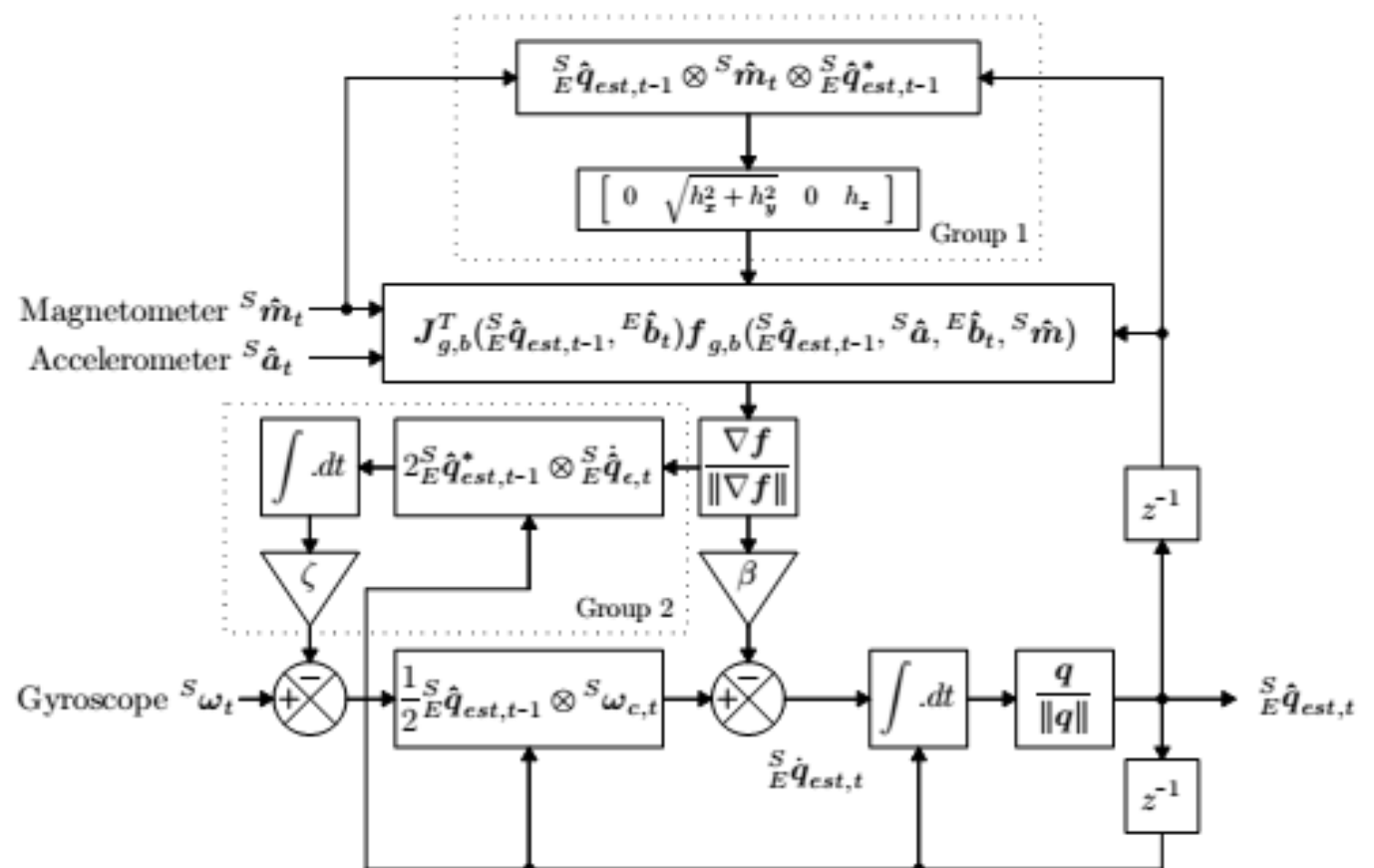
$$f_g({}^S_E \hat{q}, S \hat{a}) = \begin{bmatrix} 2(q_2q_4 - q_1q_3) - ax \\ 2(q_1q_2 + q_3q_4) - ay \\ 2(\frac{1}{2} - q_2^2 - q_3^2) - az \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$J_g({}^S_E \hat{q}) = \begin{bmatrix} -2q_3 & 2q_4 & -2q_1 & 2q_2 \\ 2q_2 & 2q_1 & 2q_4 & 2q_3 \\ 0 & -4q_2 & -4q_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\nabla f = j^T \times f \quad (2.12)$$

$${}^S_E \dot{\hat{q}}_{est,t} = {}^S_E \dot{q}_{\omega,t} - \beta \frac{\nabla f}{\|\nabla f\|} \quad (2.13)$$

$$\beta = \left\| \frac{1}{2} \hat{q} \otimes [0 \ \bar{\omega}_{max} \ \bar{\omega}_{max} \ \bar{\omega}_{max}] \right\| \sqrt{\frac{3}{4}} \bar{\omega}_{max} \quad (2.14)$$



# Logika Fuzzy

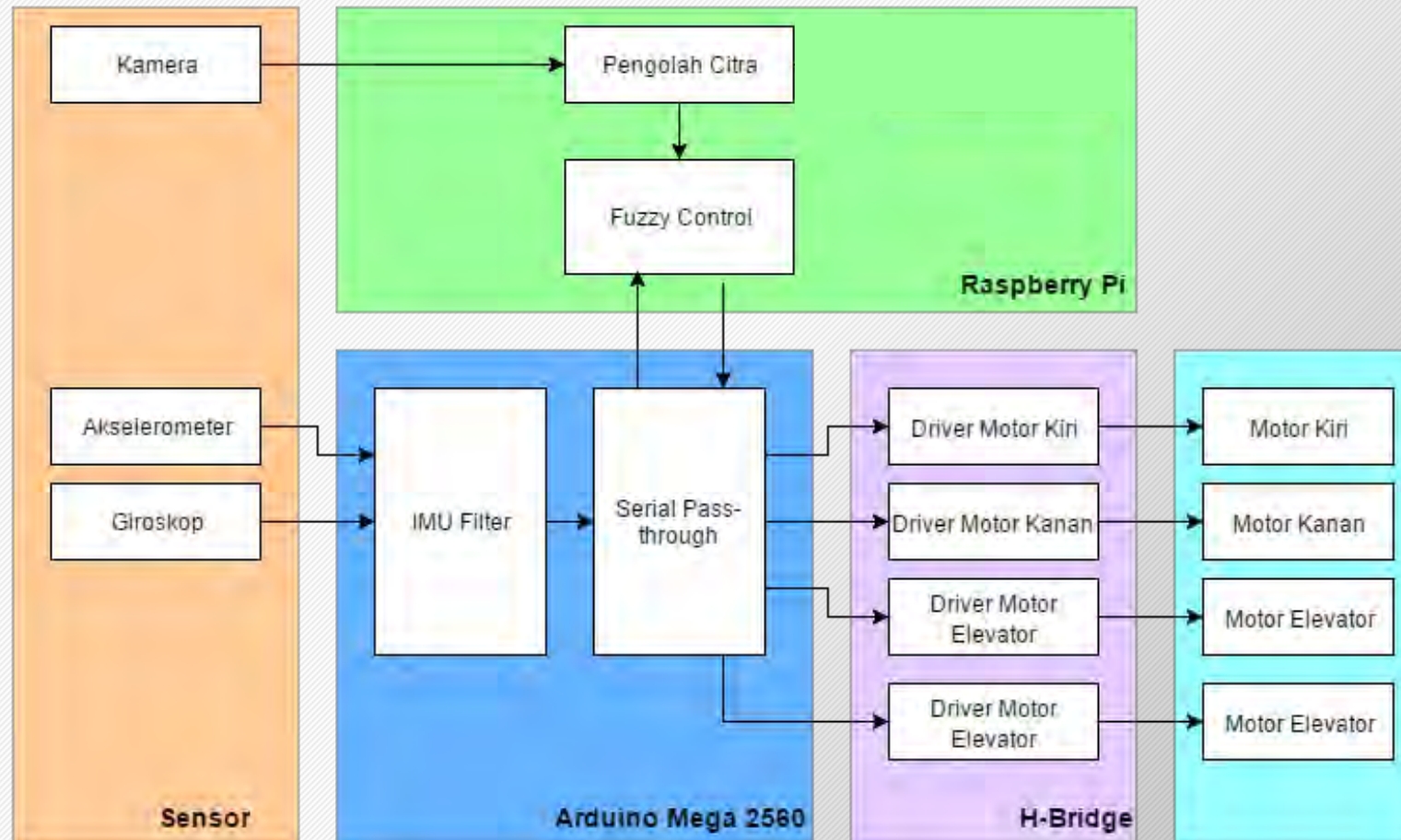
17

Logika fuzzy adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, embedded system, jaringan PC, multi-channel atau workstation berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol. Metodologi ini dapat diterapkan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau kombinasi keduanya. Dalam logika klasik dinyatakan bahwa segala sesuatu bersifat **biner, yang artinya adalah hanya mempunyai dua kemungkinan, “Ya atau Tidak”, “Benar atau Salah”, “Baik atau Buruk”, dan lainlain.** Oleh karena itu, semua ini dapat mempunyai nilai keanggotaan 0 atau 1. Akan tetapi, dalam logika fuzzy kemungkinan nilai keanggotaan berada diantara 0 dan 1. Artinya, bisa **saja suatu keadaan mempunyai dua nilai “Ya dan Tidak”, “Benar dan Salah”, “Baik dan Buruk” secara bersamaan, namun besar nilainya tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya.**



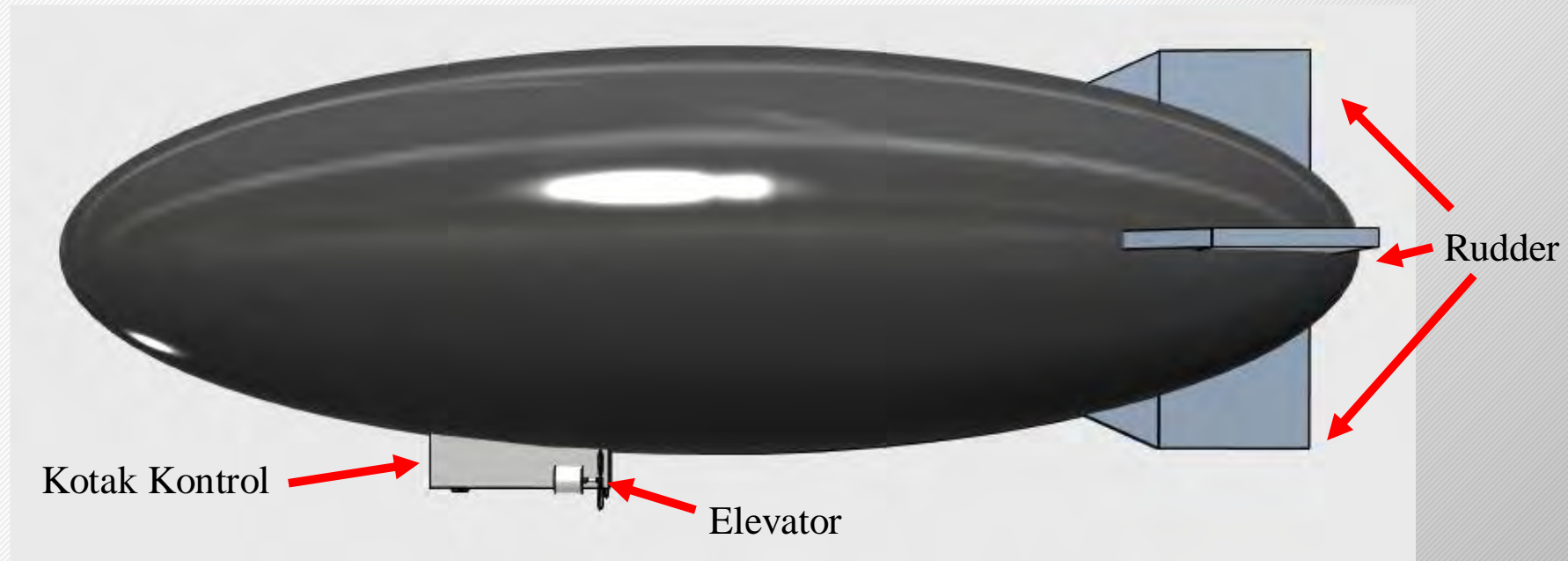
# Perancangan Sistem

18



# Perancangan Hardware

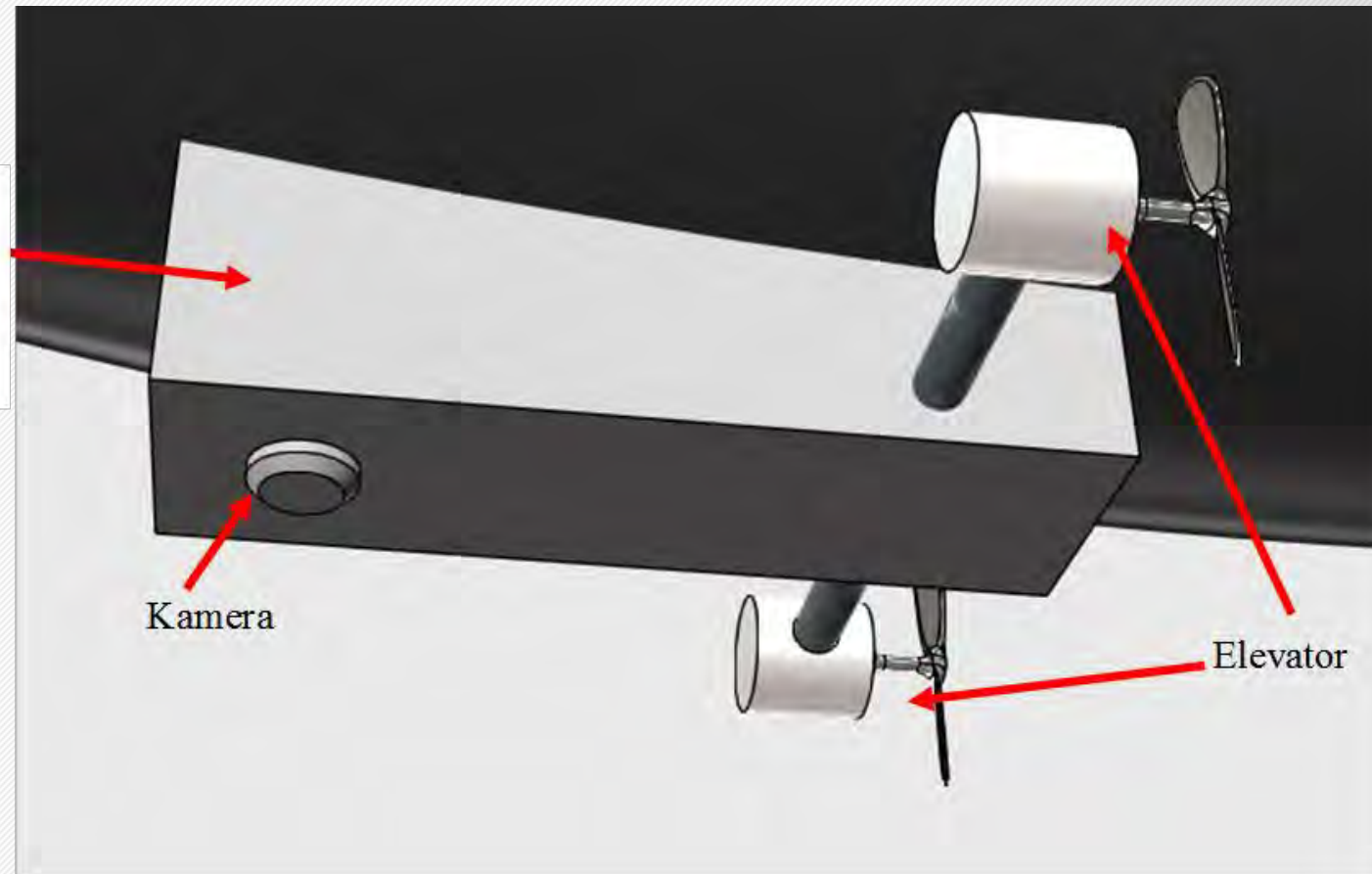
19



# Perancangan Hardware (2)

20

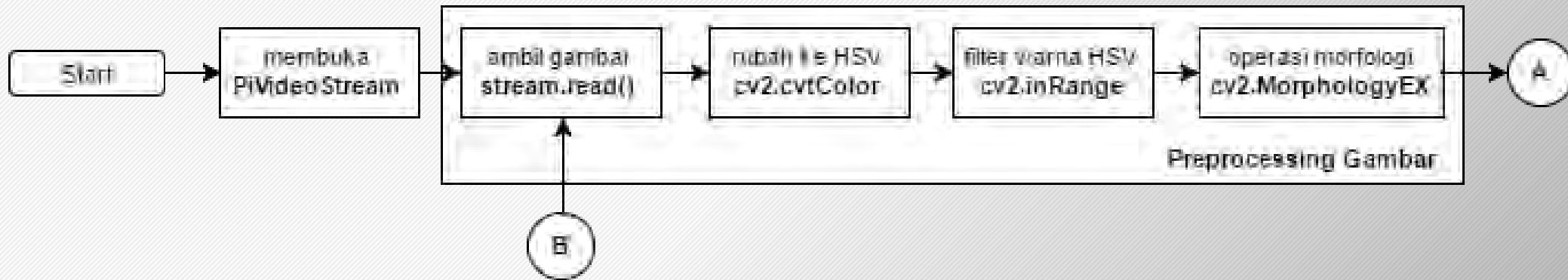
Kotak Kontrol, berisi:  
- Arduino Mega  
- Raspberry Pi  
- Sensor IMU



# Perancangan Perangkat Lunak Kamera

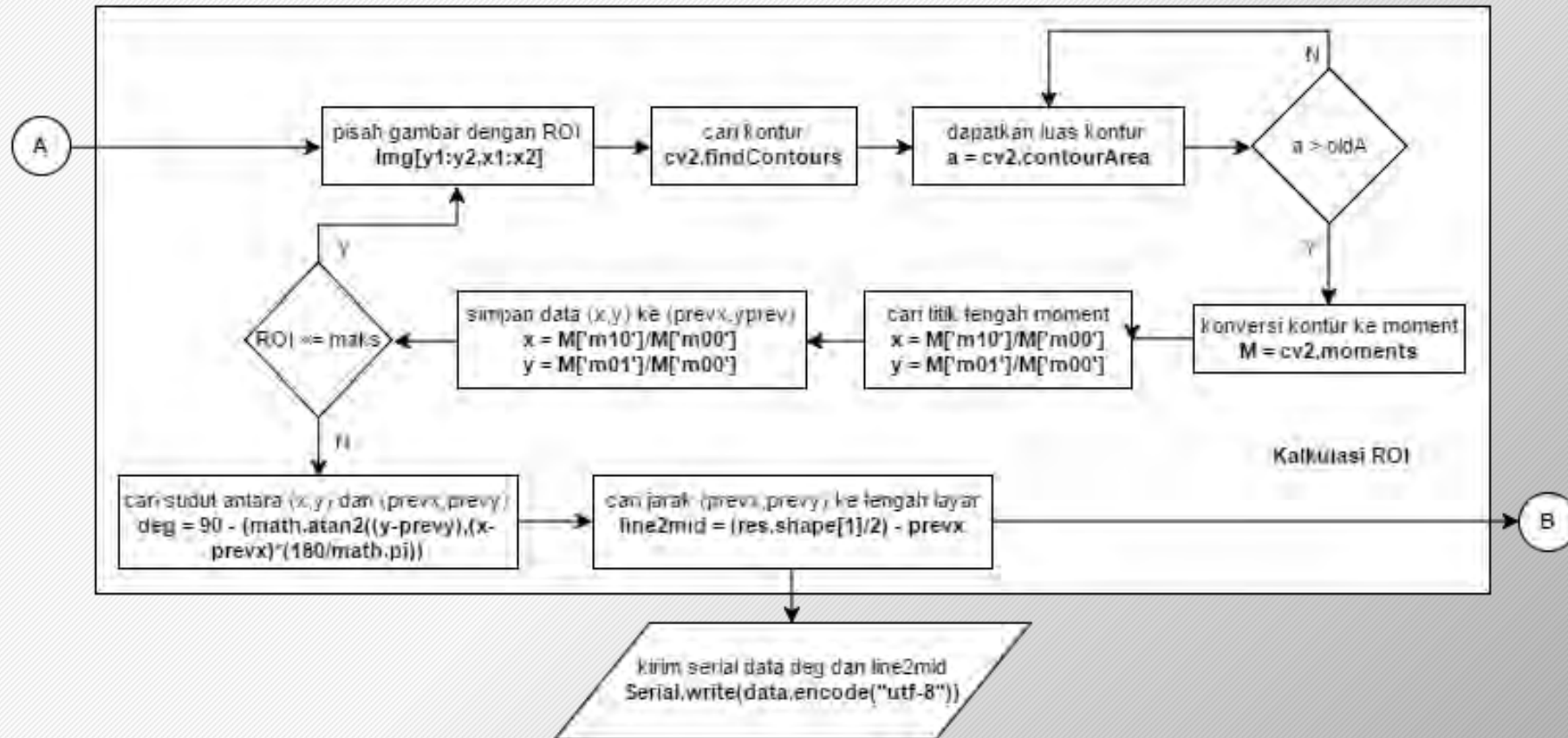
21

Pada tahap perancangan perangkat lunak, disusun algoritma penjejak pipa dengan kamera dan library OpenCV pada Raspberry Pi.



# Perancangan Perangkat Lunak Kamera (1)

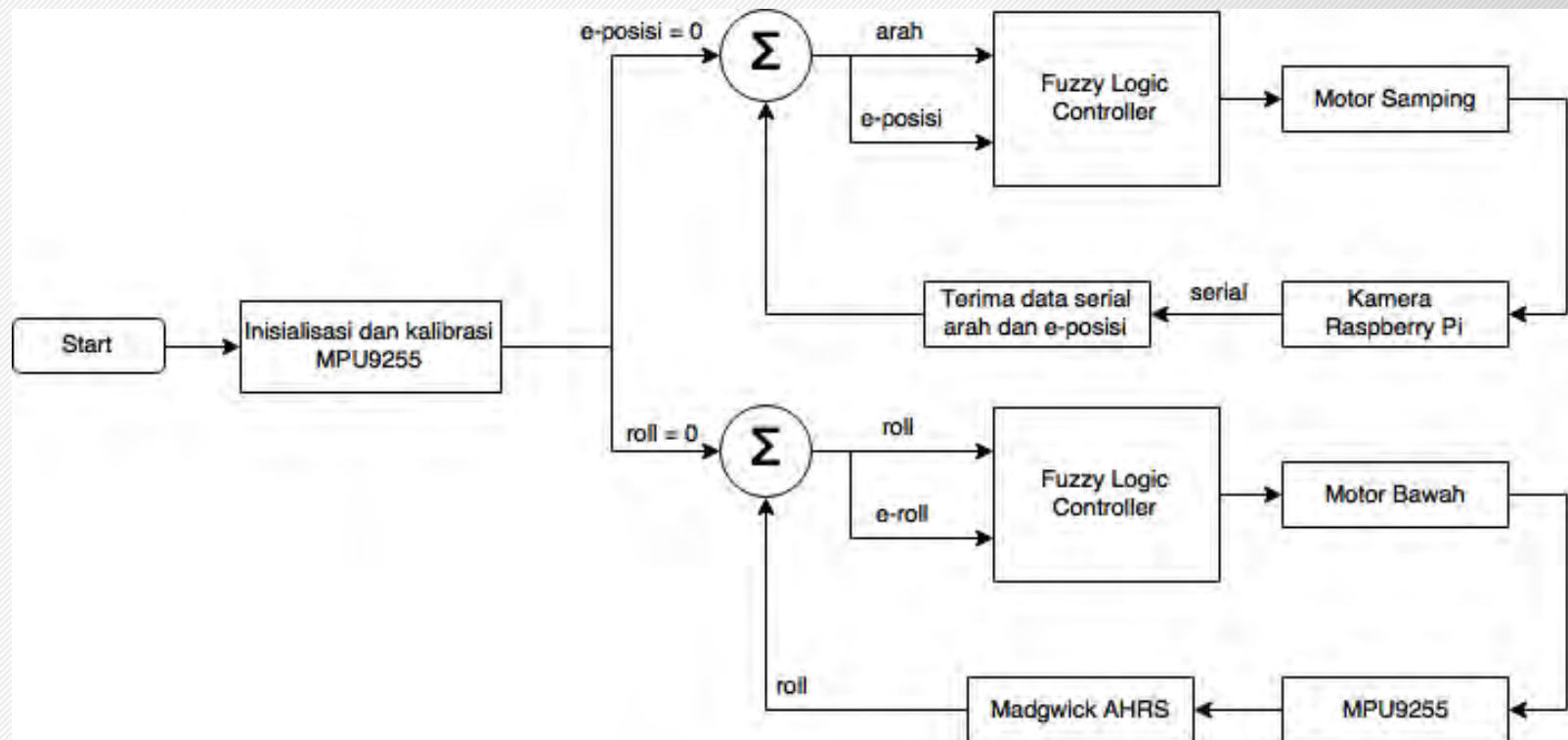
22



# Perancangan Perangkat Lunak Arduino

23

Disusun algoritma keseimbangan roll dan kendali motor dengan data dari Raspberry Pi serta data sensor IMU pada Arduino Mega.



# Perancangan Fuzzy Rule

e-posisi arah	Fkiri	Kiri	Tengah	Kanan	Fkanan
eKiri	PKi, CKa	NKi, NKa	NKi, CKa	PKi, CKa	CKi, PKa
eLurus	PKi, CKa	NKi, CKa	CKa, CKa	NKi, CKa	CKi, PKa
eKanan	PKi, CKa	CKi, PKa	CKa, CKi	NKi, NKa	CKi, PKa

Keterangan:

CBKi = Cepat Bawah Kiri,

NBKi = Normal Bawah Kiri,

PBKi = Pelan Bawah Kiri,

CBKi = Cepat Bawah Kiri,

NBKi = Normal Bawah Kiri,

PBKa = Pelan Bawah Kanan,

CKi = Cepat Kiri,

NKi = Normal Kiri,

PKi = Pelan Kiri,

CKi = Cepat Kiri,

NKi = Normal Kiri,

PKa = Pelan Kanan.

e-roll roll	Fkiri	Kiri	Tengah	Kanan	Fkanan
eKiri	CBKi, PBKa	CBKi, PBKa	NBKi, PBKa	PBKi, NBKa	PBKi, CBKa
eTengah	CBKi, PBKa	NBKi, PBKa	PBKi, PBKa	PBKi, NBKa	PBKi, CBKa
eKanan	CBKi, PBKa	NBKi, PBKa	PBKi, NBKa	PBKi, CBKa	PBKi, CBKa

# Realisasi Balon

25



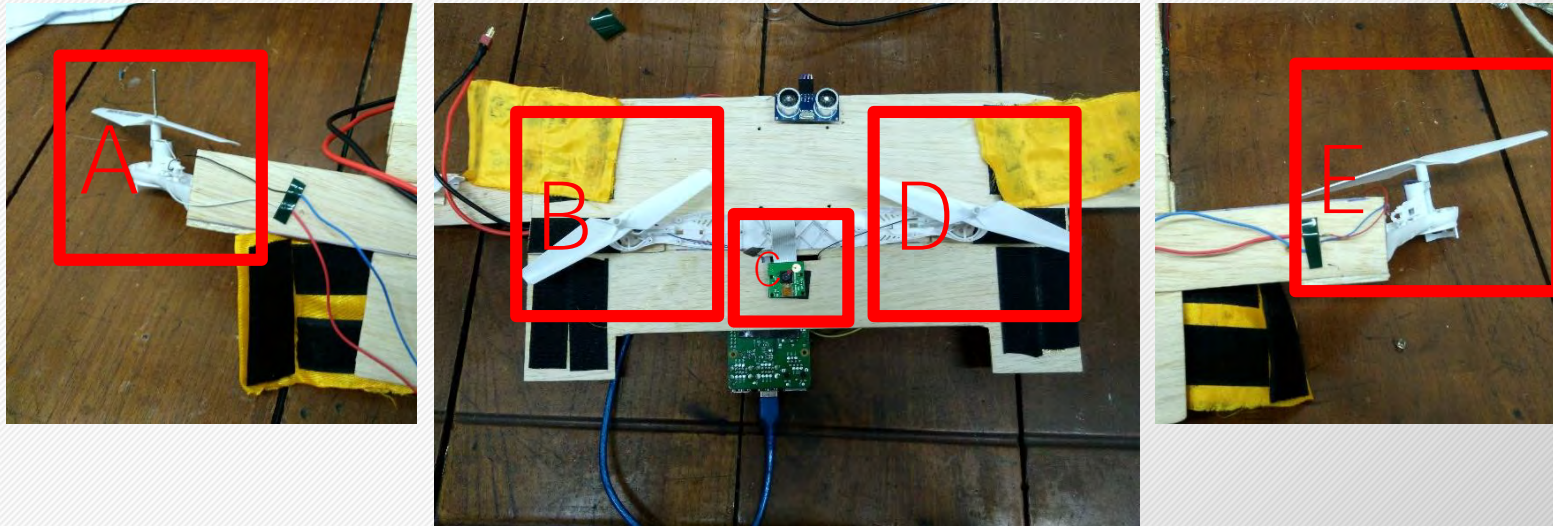
$$\text{net lift} = \frac{29,85\text{kg}}{28316 \text{ liter}} * (2 * 127 \text{ liter}) = 0,267 \text{ kg}$$

Berat maksimum yang dapat diangkat oleh 2 balon tandem termasuk berat dari bahan balon tersebut sebesar 267 gram.



# Realisasi Kotak Kontrol dan Lokasi Motor

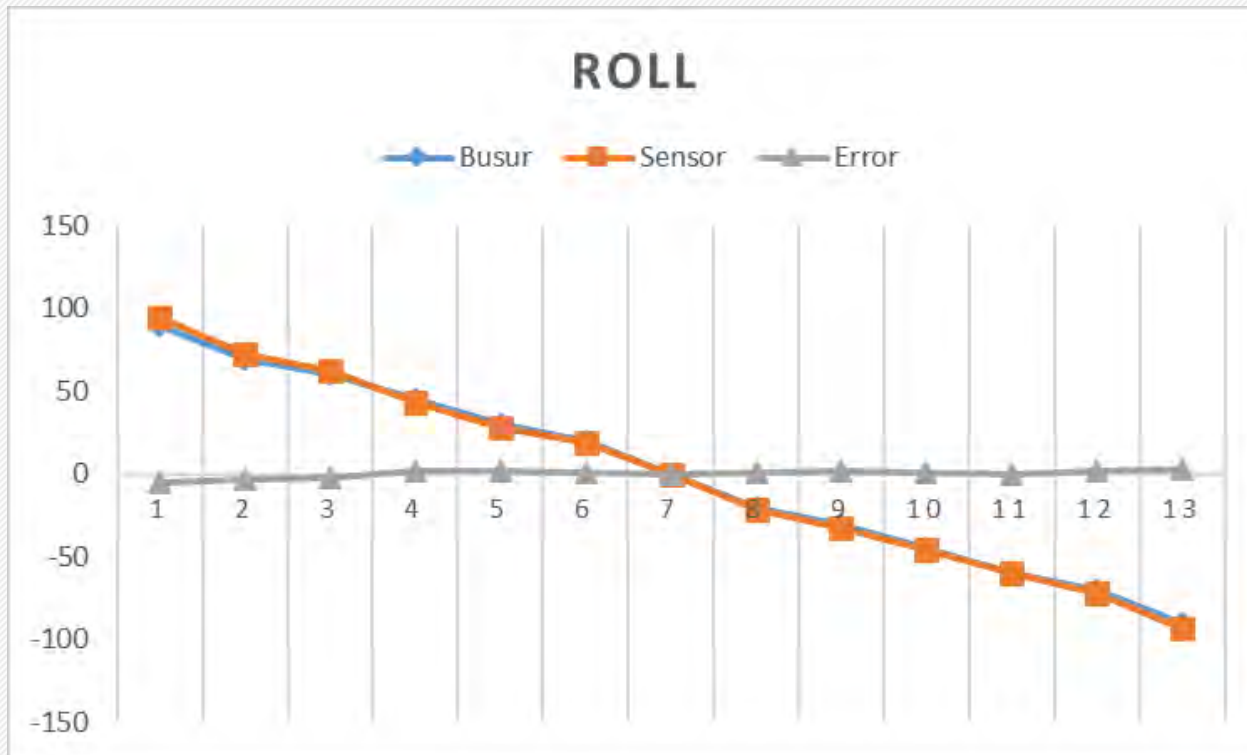
26



Keterangan:

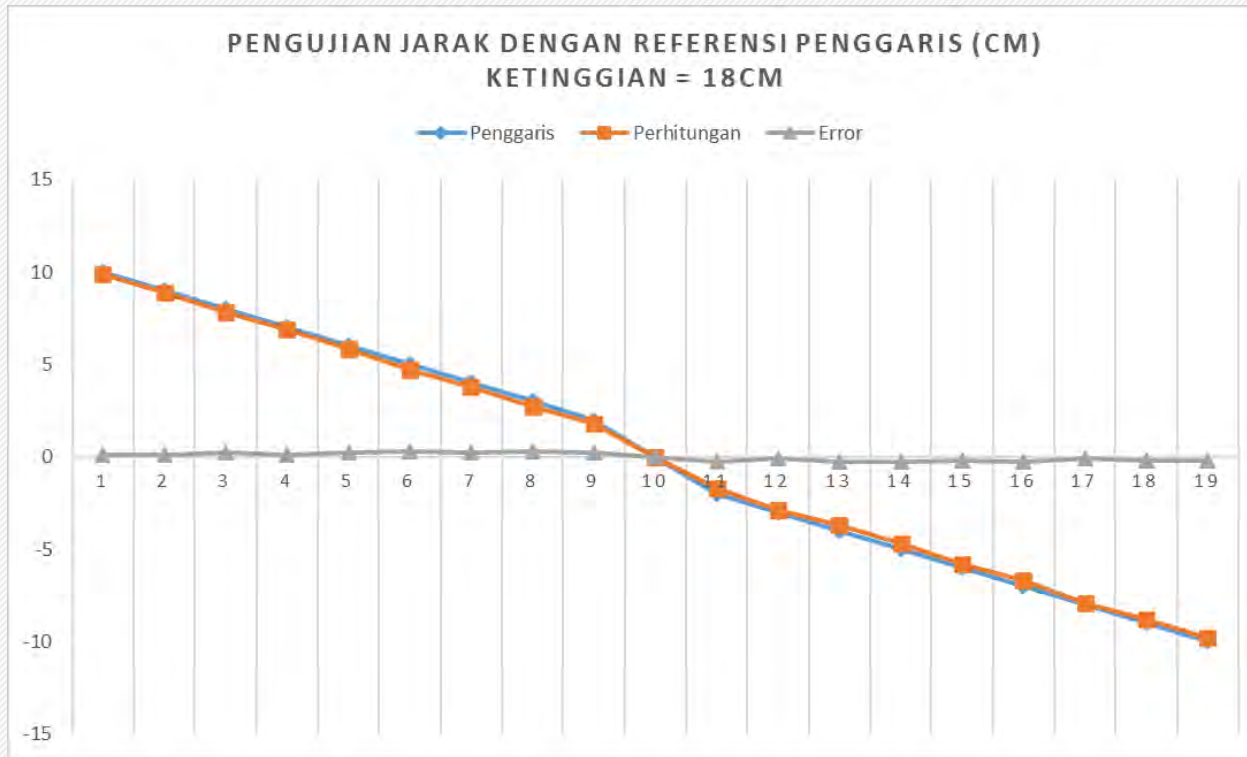
- A = Motor Samping Kanan
- B = Motor Bawah Kanan
- C = Kamera
- D = Motor Bawah Kiri
- E = Motor Samping Kiri

# Pengujian Filter Magdwick



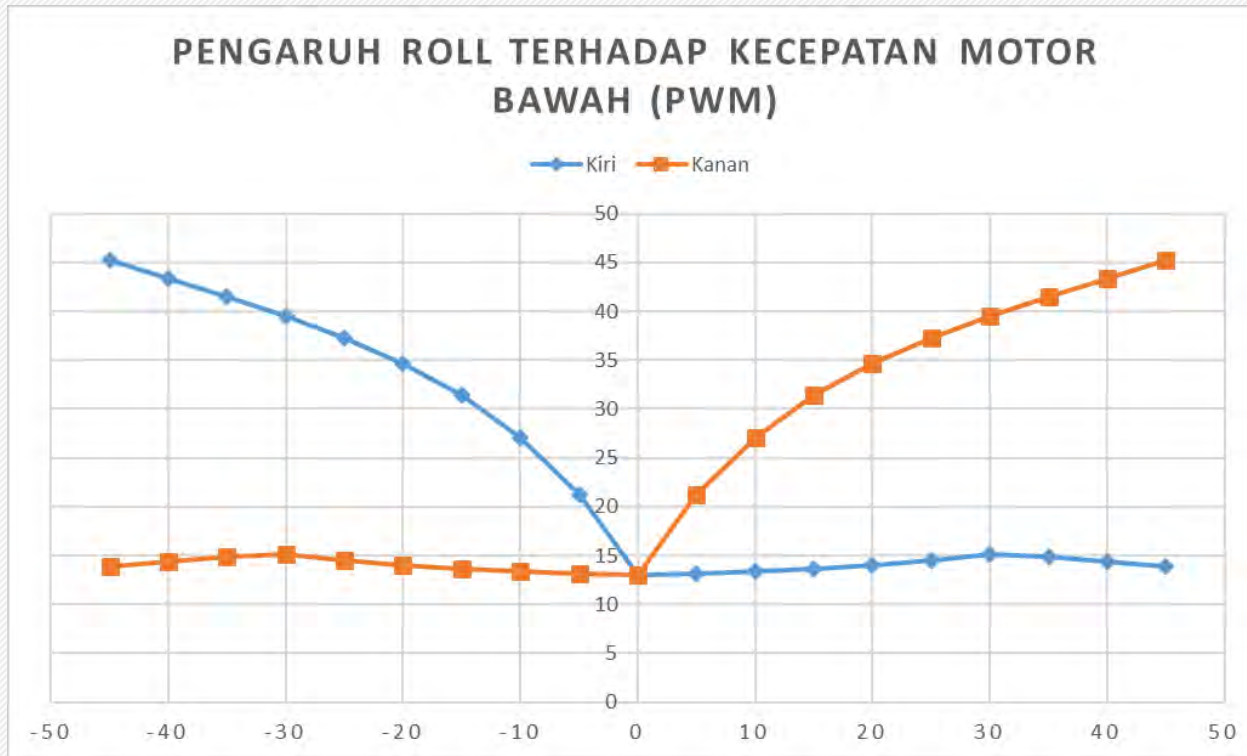
Roll		
Busur	Sensor	Error
90	95	-5
70	73	-3
60	62	-2
45	43	2
30	28	2
20	19	1
0	0	0
-20	-21	1
-30	-32	2
-45	-46	1
-60	-60	0
-70	-72	2
-90	-93	3

# Pengujian Kamera



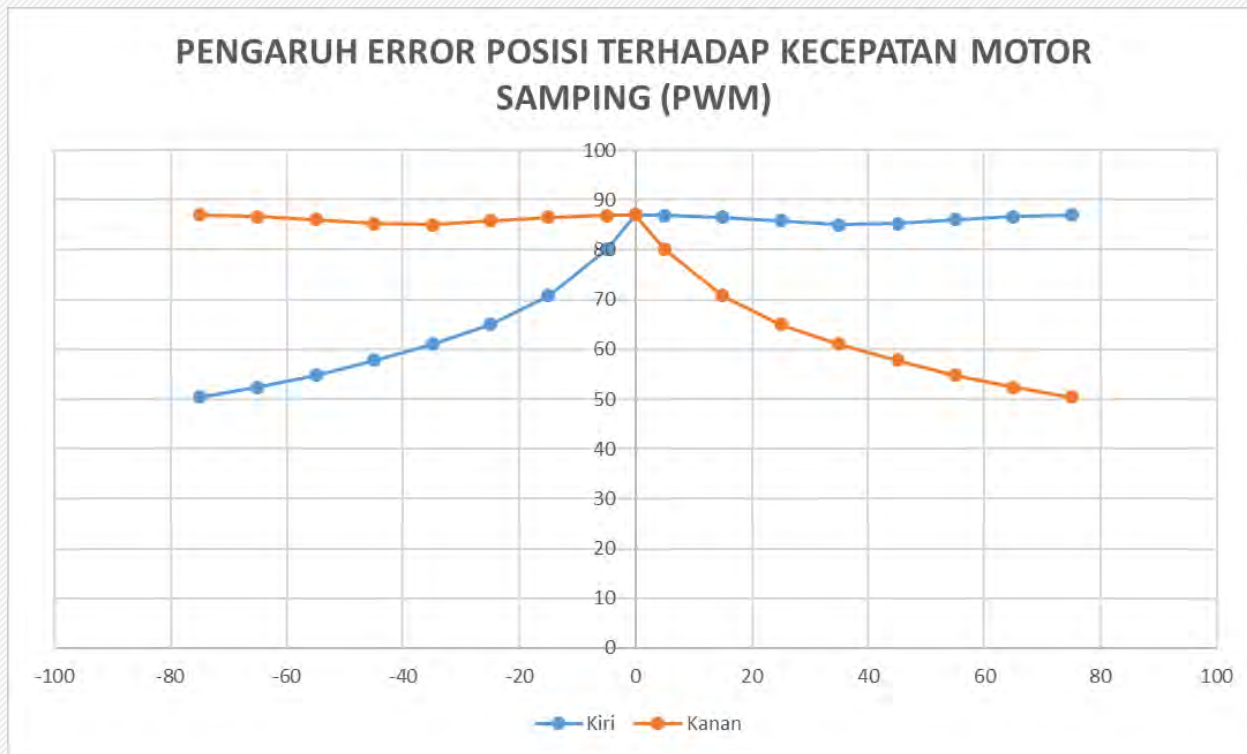
Penggaris (cm)	Perhitungan (cm)	Error (cm)
10	9,9	0,1
9	8,9	0,1
8	7,8	0,2
7	6,9	0,1
6	5,8	0,2
5	4,7	0,3
4	3,8	0,2
3	2,7	0,3
2	1,8	0,2
0	0	0
-2	-1,7	-0,3
-3	-2,9	-0,1
-4	-3,7	-0,3
-5	-4,7	-0,3
-6	-5,8	-0,2
-7	-6,7	-0,3
-8	-7,9	-0,1
-9	-8,8	-0,2
-10	-9,8	-0,2

# Pengaruh Roll terhadap Kecepatan Motor Bawah (mlp)



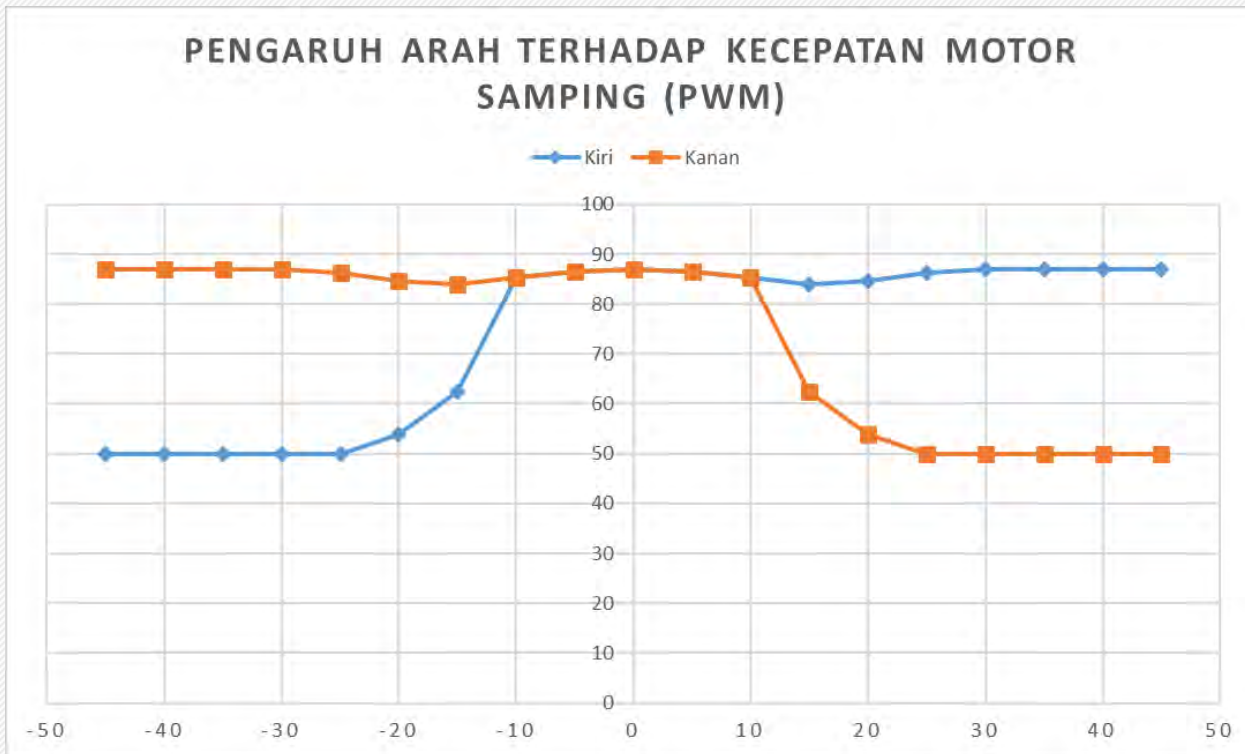
Input(IMU)		Output(Motor)	
Roll	E-Roll	Kiri	Kanan
45	0	14	45
40	0	14	43
35	0	15	41
30	0	15	39
25	0	15	37
20	0	14	35
15	0	14	31
10	0	13	27
5	0	13	21
0	0	13	13
-5	0	21	13
-10	0	27	13
-15	0	31	14
-20	0	35	14
-25	0	37	15
-30	0	39	15
-35	0	41	15
-40	0	43	14
-45	0	45	14

# Pengaruh E-Posisi Terhadap Kecepatan Motor Samping (pwm)



Input(Kamera)		Output(Motor)	
E-Posisi	Arah	Kiri	Kanan
-75	0	50	87
-65	0	52	87
-55	0	55	86
-45	0	58	85
-35	0	61	85
-25	0	65	86
-15	0	71	87
-5	0	80	87
0	0	87	87
5	0	87	80
15	0	87	71
25	0	86	65
35	0	85	61
45	0	85	58
55	0	86	55
65	0	87	52
75	0	87	50

# Pengaruh Arah Terhadap Kecepatan Motor Samping (pwm)



Input(Kamera)		Output(Motor)	
E-Posisi	Arah	Kiri	Kanan
0	45	87	50
0	40	87	50
0	35	87	50
0	30	87	50
0	25	86	50
0	20	85	54
0	15	84	62
0	10	85	85
0	5	87	87
0	0	87	87
0	-5	87	87
0	-10	85	85
0	-15	62	84
0	-20	54	85
0	-25	50	86
0	-30	50	87
0	-35	50	87
0	-40	50	87
0	-45	50	87

# Kesimpulan

32

- Berdasarkan data yang diperoleh, metode penjejakan pipa dengan menggunakan ROI dan *contour finding* mampu menjejak pipa dengan ketelitian 0.3 cm
- Dengan menggunakan data yang didapat dari pengujian sensor giroskop, disimpulkan bahwa metode filter Madgwick mampu memfilter data giroskop dengan kesalahan sebesar  $5^\circ$ .

Terima Kasih