BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berbagai perusahaan terkemuka dunia di bidang *pump test rig* sudah memanfaatkan sensor sebagai perangkat pengukur semua variabel yang diperlukan, seperti pengukuran tekanan, debit, tegangan, arus, torsi dan laju putar. Berikut beberapa contoh produk *pump test rig* yang telah memanfaatkan sensor untuk melakukan pengukuran.

1. Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*
2. GUNT Hamburg HM 286

2.1.1. Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*

Perusahaan Inggris, Armfield Ltd., membuat *test rig* pompa roda gigi seperti terlihat pada Gambar II.1. Armfield menggunakan pompa roda gigi dengan daya 250watt dimana pada putaran 1800 rpm menghasilkan debit dan *head* maksimum 6,5 liter per menit dan 25meter cairan terkait secara berturut-turut. Detil spesifikasi dapat dilihat pada Tabel II.1.

Gambar II.1 Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*

(Sumber: http://discoverarmfield.com/en/products/view/fm52/gear-pump-demonstration-unit, 2018)

Tabel II.1 Spesifikasi Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*

No.	Spesifikasi	Nilai
1	Konsumsi daya	250 W
2	Putaran Maksimum	1800 rpm
3	Debit maksimal	6,5 l/min
4	*Head* maksimal	25 m
5	Dimensi	8800 x 510 x 410mm

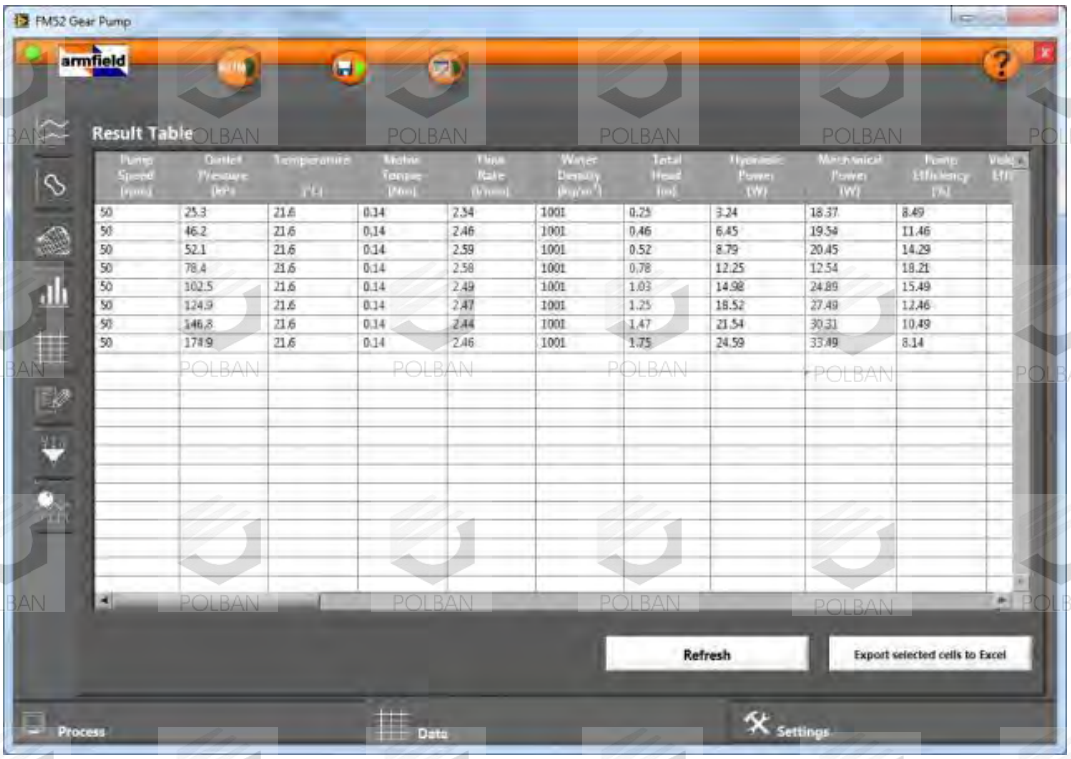
(Sumber: http://discoverarmfield.com/en/products/view/fm52/gear-pump-demonstration-unit,2018)

Untuk mempermudah mengoperasian *test rig*, Armfield menyediakan *interface* yang menampilkan *input* dan *output* data yang diperlukan oleh *user*. *Input* yang diperlukan oleh *interface* adalah masukan untuk menyalakan dan mematikan pompa yang dilengkapi dengan lampu kontrol. Masukan lainnya adalah penentuan laju putaran pompa dengan cara memutar tombol pada *interface* dan memonitornya pada display *speed*. Dengan masukan kedua variabel tersebut, program akan memberikan keluaran variabel seperti suhu, laju putaran, torsi, debit dan tekanan. Program *software* memungkinkan untuk memberikan catatan bila diperlukan. Tampilan dari *interface* dapat dilihat pada Gambar II.2.

Gambar II.2 *Display* sistem Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*

(Sumber: http://discoverarmfield.com/en/products/view/fm52/gear-pump-demonstration-unit, 2018)

Selanjutnya, data hasil pembacaan dari *interface* pada gambar II.2 dapat disimpan ke dalam bentuk *data sheet* berupa lembaran secara detail untuk mempermudah proses identifikasi nilai yang terbaca. Nilai – nilai tersebut diantaranya adalah laju putaran, tekanan keluar, temperatur, torsi motor, debit, berat jenis fluida, *head* total, daya hidrolik, daya mekanik, serta efisiensinya. Data *sheet* tersebut dapat dilihat pada gambar II.3.



Gambar II.3 *Display data sheet* Armfield FM52 *Gear Pump Demonstration Unit*
(Sumber: http://discoverarmfield.com/en/products/view/fm52/gear-pump-demonstration-unit, 2018)

2.1.2. GUNT Hamburg HM 286

Selain Armfield, perusahaan lainnya yang memproduksi *test rig pump* adalah GUNT Technology Ltd., perusahaan asal Jerman. Pada *test rig pump* yang mereka produksi, GUNT memakai pompa roda gigi dengan konsumsi daya 370W, laju putaran kisaran 200-1000 rpm, debit kisaran 0-25 liter per menit, *head* maksimal 100 m, tekanan inlet ± 1 bar, tekanan outlet 0-5 bar, serta bekerja pada temperatur 0-100^{0}C.

Untuk penjelasan lebih detailnya, bentuk dari *test rig pump* ini dapat dilihat pada Gambar II.4 dan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel II.2.

Gambar II.4 *GUNT Hamburg HM 286*

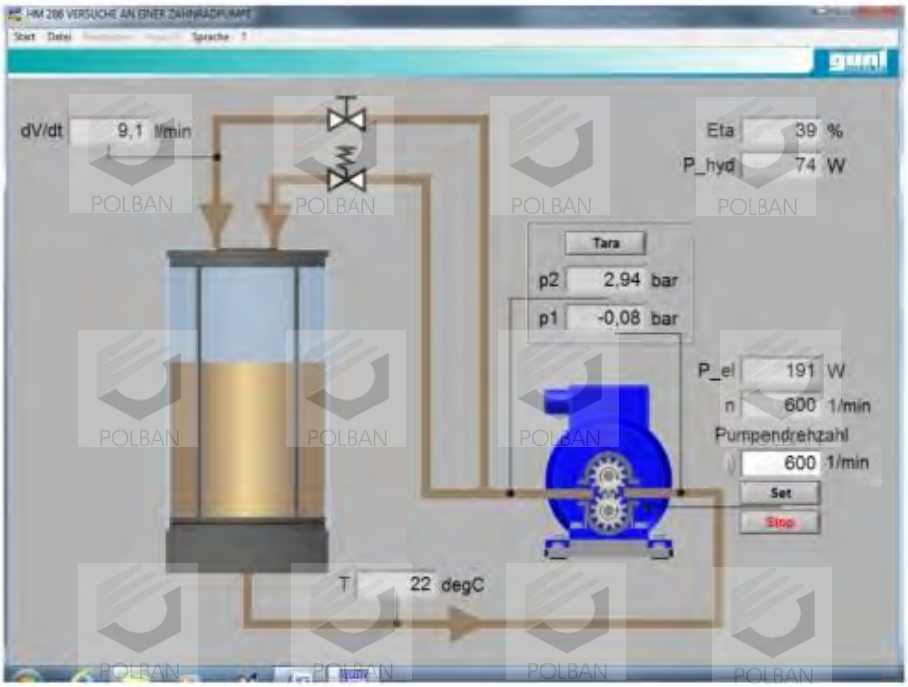
(Sumber: https://www.gunt.de/en/products/fluid-machinery....,2018)

Tabel II.2 Spesifikasi *GUNT Hamburg HM 286*

No.	Spesifikasi	Nilai
1	Konsumsi daya	370W
2	Putaran	200-1000 rpm
3	Debit maksimal	15cm³/rev
4	*Head* maksimal	100m
5	Katup pengaman	0-5,5bar
6	Tekanan *inlet*	±1bar
7	Tekanan *outlet*	0-5bar
8	Debit	0-25 l/min
9	Temperatur	0-100°C
10	Dimensi	750 x 670 x 590mm

(Sumber: https://www.gunt.de/en/products/fluid-machiner....,2018)

Seperti halnya *test rig pump* buatan Armfield, *test rig pump* buatan GUNT juga secara otomatis telah dilengkapi dengan *software* untuk mempermudah proses pengoperasian pompa. *Interface* dari *software* tersebut memiliki *input* berupa pengatur laju aliran, tombol set untuk memulai kerja pompa, serta tombol stop untuk menghentikan pompa. Adapun *output* yang diperlihatkan adalah debit, temperatur, tekanan di *inlet* dan *outlet,* laju putaran motor, daya elektrik, daya hidrolik, serta efisiensi. Untuk detailnya, dapat dilihat pada Gambar II.5.



Gambar II.5 *Display* sistem *GUNT Hamburg HM 286*

(Sumber: https://www.gunt.de/en/products/fluid-machiner....,2018)

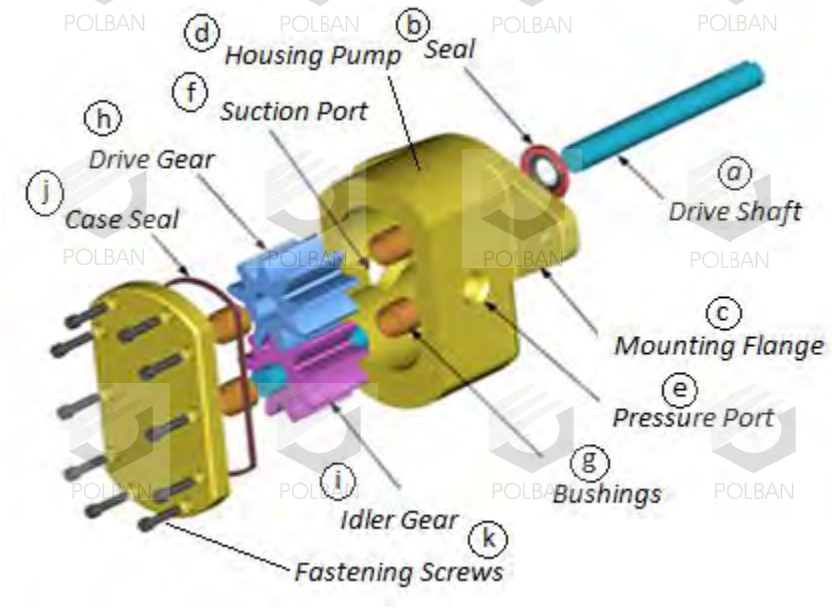
2.2 Landasan Teori

Untuk mendapatkan karakteristik pompa roda gigi dimana pengukuranya dilakukan secara otomatis diperlukan komponen dan instrumentasi sebagai berikut:

1. Pompa Roda Gigi
2. Instrumentasi
3. *Microcontroller*
4. *Inverter*

2.2.1 Pompa Roda Gigi

Pompa roda gigi *(gear pump)* merupakan pompa putar dimana tekanan di *discharge* dihasilkan akibat dorongan debit aliran fluida yang berlangsung selama roda gigi berputar. Konstruksi dari pompa roda gigi secara sederhana dapat dilihat pada gambar II.6 dibawah.



Gambar II.6 Konstruksi pompa roda gigi

(Sumber: http://macammakati.blogspot.co.id/2011/03/pompa-rotary-lanjutan-pompa.html, 2018)

Berdasarkan Gambar II.6 dapat dijelaskan bahwa komponen utama dari pompa roda gigi terdiri dari:

a. *Drive Shaft,* merupakan poros pemutar yang akan dihubungkan dengan motor penggerak sebagai sumber daya, baik menggunakan *coupling* atau menggunakan *pulley* dan *belt*.
b. *Seal,* merupakan penyekat agar pompa tidak mengalami kebocoran yang akan berdampak pada berkurangnya kemampuan kompresi pompa.
c. *Mounting Flange,* merupakan *flange* khusus yang dibuat untuk menghubungkan *cover* depan pompa dengan *housing pump.*
d. *Housing Pump,* merupakan rumah pompa, badan atau bagian utama pompa dimana lubang *pressure port* dan *suction pump* berada.
e. *Pressure Port / Discharge,* merupakan lubang keluarnya fluida yang telah dipompa.
f. *Suction Port,* merupakan lubang penghisap fluida pada pompa.

g. *Bushings,* merupakan bantalan yang sudah menyatu dengan *bearing block* di dalamnya dan berfungsi untuk menjaga poros agar berada di posisi yang tepat, memperhalus gerakan poros dan melindunginya dari gesekan.

h. *Drive Gear,* merupakan *gear* penggerak yang terhubung secara langsung dengan poros penggerak dan berfungsi melakukan proses pemompaan.

i. *Idler Gear,* merupakan *gear* yang digerakan oleh *drive gear* dan berfungsi untuk melakukan pemompaan juga. *Idler gear* juga sering dikenal dengan istilah *driven gear.*

j. *Case Seal,* merupakan pelindung, pencegah kebocoran pompa dan mempertahankan kerekatan antara *housing pump* baik dengan *cover* depan maupun *cover* belakang.

k. *Fastenig Screws,* merupakan sekrup pengunci keseluruhan badan pompa mulai dari *cover* depan, *housing pump,* hingga *cover* belakang pompa.

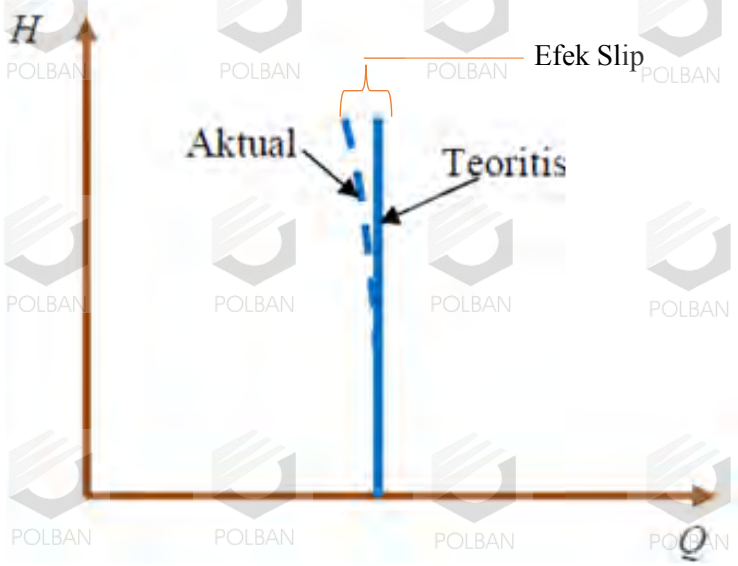
Cara Kerja pompa roda gigi eksternal secara sederhana dapat dilihat seperti pada Gambar II.7, yaitu:

1. Ketika motor dinyalakan, daya motor akan ditransmisikan ke *drive gear*. Apabila *drive gear* berputar searah jarum jam, maka *idler gear* akan berputar kearah sebaliknya. Ketika pasangan roda gigi ini berputar, daerah pada sisi isap akan membesar sehingga tekananya turun kemudian cairan masuk ke pompa.
2. Setelah cairan masuk ke bagian dalam pompa, cairan tersebut akan bergerak dan terperangkap dicelah antara roda gigi dan permukaan bagian dalam rumah pompa. Ini terjadi baik di *drive gear,* maupun di *idler gear* (bagian atas dan bawah).
3. Kemudian pasangan roda gigi ini akan mendorong fluida yang telah dipompa ke bagian sisi buang *(discharge).*

Gambar II.7 Cara kerja pompa roda gigi

(Sumber: http://www.pumpschool.com/principles/external.asp, 2018)

Ketiga tahap cara kerja pompa roda gigi akan berlangsung secara terus menerus selama pompa beroperasi dan bekerja sesuai dengan karakteritik pompa roda gigi. Yaitu, secara teoritis pada satu putaran tertentu, pompa akan menghasilkan debit konstan meskipun berada pada tekanan yang berbeda-beda. Secara aktual pada suatu putaran tertentu, debit pompa akan relatif berkurang jika tekananya semakin dinaikan. Hal ini terjadi karena adanya slip. Secara sederhana karakteristik pompa roda gigi dapat dilihat pada gambar II.8.



Gambar II.8 Cara kerja pompa roda gigi [1]

Karakteristik pompa memperlihatkan variabel-variabel penting seperti *total head pump,* debit, daya elektrik, daya hidrolik, daya pompa dan daya motor, efisiensi pompa, efisiensi motor 3 phasa dan efisiensi total. Berikut terdapat beberapa perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik suatu pompa roda gigi diantaranya:

A. *Head* Total Pompa

Head total pompa menyatakan jumlah besarnya tekanan ketika air mengalir dari suatu sistem pompa. *Head* total pompa dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1).

$$HP = HS + HL \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

HP : *Head* Total Pompa (m)

HS : *Head Static* (m)

HL : *Headloss Total* (m)

B. Laju Aliran (Debit)

Laju aliran merupakan jumlah fluida yang mengalir melewati suatu sistem pemipaan per satuan waktu. Laju aliran dapat dicari menggunakan persamaan (3).

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \text{.....(2)}$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:

v : Kecepatan Aliran (m/s)

Q : Debit (m^3/s)

A : Luas (m^2)

d : Diameter (m)

C. Bilangan Reynold (Re)

Bilangan Reynold adalah bilangan yang menyatakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang menyatakan jumlah hubungan kedua gaya tersebut dengan kondisi aliran tersentu. Dengan kata lain, bilangan Reynold berfungsi untuk mengetahui jenis aliran di dalam suatu sistem pemipaan. Untuk mengetahui berapa nilai bilangan Reynold suatu aliran dapat menggunakan persamaan (4)

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{v} \cdot \mathrm{d}}{\nu} \quad \text{.....(4)}$$

Keterangan:

Re : Bilangan Reynold

v : Kecepatan Aliran (m/s)

d : Diameter (m)

ν : Viskositas Kinematik (m/s^2)

Terdapat 3 jenis aliran dalam pipa berdasarkan jumlah bilangan Reynold. yaitu :

1. Re < 2000 : Aliran laminer
2. 2000 < Re < 4000 : Aliran transisi
3. Re > 4000 : Aliran turbulen

D. Daya Elektrik [2]

Daya elektrik merupakan hasil perkalian antara tegangan dengan arus. Nilai $Cos\ \varphi$ merupakan faktor daya listrik pada motor. Untuk mengetahui daya motor 3 phasa dapat dicari menggunakan persamaan (5).

$$P_e = \sqrt{3}.V.I.Cos\ \varphi \quad \text{.....(5)}$$

Keterangan :

P_e : Daya Elektrik (W)

V : Tegangan (v)

I : Arus (a)

E. Daya Hidrolik

Daya hidrolik merupakan daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya hidrolik dapat dicari menggunakan persamaan (6).

$$P_h = \rho . g . Q . H \quad \text{.....(6)}$$

Keterangan :

P_h : Daya Hidrolik (W)

ρ : Massa Jenis (kg/m^3)

g : Percepatan Gravitasi (m/s^2)

Q : Debit Teoritis (m^3/s)

H : *Head* (m)

F. Daya Pompa dan Motor

Daya pompa merupakan hasil perkalian antara torsi dengan omega. Daya pompa memiliki nilai yang sama dengan daya motor dengan asumsi bahwa dihubungkan secara langsung melalui poros dan efisiensinya dianggap 1. Untuk mengetahui nilai daya pompa dapat dicari menggunakan persamaan (7).

$$P_p = P_m = T . \omega \quad \text{.....(7)}$$

Keterangan :

P_p : Daya Pompa (W)

P_m : Daya Motor (W)

T : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Sudut (rad/s)

G. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan hasil bagi dari daya hidrolik dengan daya pompa. Efisiensi pompa dapat dicari dengan menggunakan persamaan (8).

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_p} \quad \text{.....(8)}$$

Keterangan:

ηp : Efisiensi Pompa

P_h : Daya Hidrolik (W)

P_p : Daya Pompa (W)

H. Efisiensi Motor 3 Phasa

Efisiensi motor 3 phasa merupakan hasil bagi dari daya motor dengan daya elektrik. Efisiensi motor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (9)

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_e} = \frac{T.\ \omega}{\sqrt{3}.\ V.\ I.\ Cos\ \varphi} \quad \text{.....(9)}$$

Keterangan:

ηm : Efisiensi Motor

P_m : Daya Motor (W)

P_e : Daya Elektrik (W)

I. Efisiensi Total

Episiensi total merupakan hasil bagi dari daya hidrolis dengan daya motor. Efisiensi total dapat dicari dengan menggunakan persamaan (10).

$$\eta_t = \frac{P_h}{P_e} \quad \text{.....} (10)$$

Keterangan:

η_t : Efisiensi total

P_h : Daya Hidrolik (W)

P_e : Daya Elektrik (W)

J. *Total Headloss* (HL)

Headloss merupakan rugi-rugi yang menyebabkan turunanya tekanan pada suatu aliran fluida di dalam sistem pemipaan. *Headloss* terbagi menjadi dua macam, yaitu *headloss* mayor dan *headloss* minor. *Headloss* mayor adalah kerugian yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi di sepanjang dinding pipa. Sedangkan *headloss* minor adalah kerugian akibat separasi pada sambungan, katup, dan lain-lain pada sistem pemipaan. Maka, *headloss* total dapat didefinisikan sebagai gabungan dari *headloss* mayor dengan *headloss* minor pada suatu sistem pemipaan. Untuk mengetahui *headloss* major, *headloss* minor dan *total headloss* secara berurutan dapat menggunakan persamaan (11), (12), dan (13).

$$hf = \frac{f \cdot \mathrm{l}}{\mathrm{d}} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....} (11)$$

$$hs = \Sigma \mathrm{k} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....} (12)$$

$$HL = hf + hs$$

$$HL = \left(\frac{f \cdot \mathrm{l}}{\mathrm{d}} + \Sigma \mathrm{k}\right) \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....} (13)$$

Keterangan:

HL : *Total Headloss* (m)

hf : *Headloss* Mayor (m)

hs : *Headloss* Minor (m)

f : Koefisien Gesek (Dari Diagram *Moody*)

l : Panjang (m)

k : Konstanta Rugi Minor

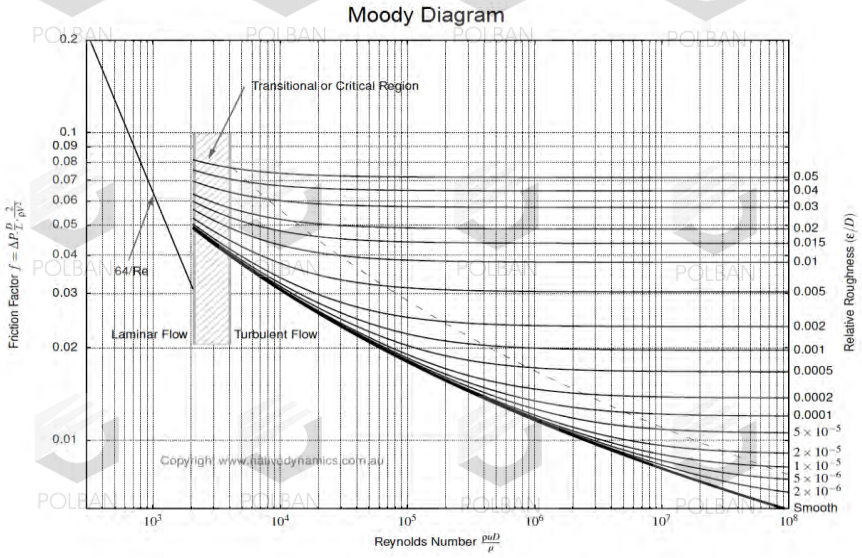
v : Kecepatan Aliran (m/s)

g : Percepatan Gravitasi (m/s^2)

Nilai f pada persamaan (11) didapatkan dengan dua cara yang bergantung pada jenis alirannya. Jika aliranya laminer, maka nilai f ditentukan dengan persamaan (14).

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{.....(14)}$$

Jika aliranya turbulen, nilai f ditentukan dengan menggunakan diagram Moody seperti terlihat pada Gambar II.9.



Gambar II. 9 Diagram Moody

(Sumber: http://www.printablediagram.com/moody-diagram-in-high-quality/, 15-1-2018, 2018)

Nilai *f* didapat dengan cara menentukan perpotongan dari garis vertikal bilangan Reynold dengan kurva kekasaran relatif pipa (Ɛ/d). Kemudian dari titik perpotongan itu ditarik garis horizontal ke arah kiri untuk mendapatkan nilai *f*. Ɛ merupakan nilai kekasaran permukaan bagian dalam pipa. Nilai Ɛ tergantung kepada material dan contoh beberapa nilai Ɛ dapat dilihat pada tabel II-3.

Tabel II.3 Nilai kekasaran dari berbagai material [1]

Material	Condition	ε		Uncertainty, %
		ft	mm	
Steel	Sheet metal, new	0,00016	0,05	± 60
	Stainless, new	0,000007	0,002	± 50
	Commercial, new	0,00015	0,046	± 30
	Riveted	0,01	3	± 70
	Rusted	0,007	2	± 50
Iron	Cast, new	0,00085	0,26	± 50
	Wrought, new	0,00015	0,046	± 20
	Galvanized, new	0,0005	0,15	± 40
	Asphalted cast	0,0004	0,12	± 50
Brass	Drawn, new	0,000007	0,002	± 50
Plastic	Drawn tubing	0,000005	0,0015	± 60
Glass	-	Smooth	Smooth	
Concrete	Smoothed	0,00013	0,04	± 60
	Rough	0,007	2	± 50
Rubber	Smoothed	0,000033	0,01	± 60
	Stave	0,0016	0,5	± 40

Untuk perhitungan *headloss* minor diperlukan konstanta rugi minor (k) yang nilainya berbeda-beda sesuai dengan komponen yang digunakan. Diagram Moody dan nilai k dari beberapa komponen dapat dilihat pada Gambar II.9 dan Tabel II-4.

Tabel II.4 Koefisien Rugi Minor [1]

	Nominal diameter, in								
	Screwed				Flanged				
	1/2	1	2	3	1	2	3	4	20
Valves (fully open) :									
Globe	14,00	8,20	6,90	5,70	13,00	8,50	6,00	5,80	5,50
Gate	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
Swing Check	5,10	2,90	2,10	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Angle	9,00	4,70	2,00	1,00	4,50	2,40	2,00	2,00	2,00
Elbows :									
45 regular	0,39	0,32	0,30	0,29					
45 long radius					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90 regular	2,00	1,50	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90 long radius	1,00	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180 regular	2,00	1,50	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180 long radius					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
Tees :									
Line flow	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Branch flow	2,40	1,80	1,40	1,10	1,00	0,80	0,64	0,58	0,41

2.2.2 Instrumentasi

Instrumentasi merupakan suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan baik secara fisik maupun lingkungan. Perubahan tersebut dapat berupa perubahan gerak, suhu, kelembaban, tekanan dan sebagainya. Salah satu instrumentasi adalah sensor. *Output* dari sensor sendiri ada yang berbentuk mekanik dan ada yang elektrik. *Output* yang berbentuk mekanik secara langsung dikirim ke *display* dan dapat terbaca secara langsung oleh *user*, sedangkan sinyal yang berbentuk elektrik akan dikirim ke *microcontroller*. Jenis sinyal dapat berupa sinyal analog atau sinyal digital. Jika yang terbaca oleh sensor adalah sinyal analog, maka sinyal tersebut akan diubah ke bentuk digital oleh *microcontroller* dengan bantuan *Analog to Digital Converter* (ADC). Adapun sensor-sensor yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sensor debit (*flowmeter sensor*) dan sensor tekanan (*pressure transmitter*).

2.2.2.1 *Flowmeter Sensor*

Flowmeter Sensor merupakan alat ukur debit atau aliran air pada suatu jalur pemipaan yang mengukur banyaknya air yang dipindahkan dalam satuan waktu tertentu. Terdapat beberapa jenis *flowmeter sensor* yang banyak dipasaran, diantaranya *Flowmeter* FS 300A-G3/4", *Flowmeter* AICHI G1/2" OF05ZAT, dan *Flowmeter* YF-S201.

***Flowmeter* FS300A-G3/4"**

Flowmeter jenis ini seperti terlihat pada Gambar II.10, bekerja pada tegangan minimum 4,5 V dan maksimum 5 V DC, dengan arus sebesar 15 mA. Sensor ini juga mampu mengukur laju aliran hingga 60 L/menit, bekerja pada temperatur fluida hingga 120^0C dan pada tekanan maksimum 2 Mpa. Untuk informasi lebih detail, dapat dilihat pada Tabel II.5.

Gambar II.10 Flowmeter FS300A-G3/4'

(Sumber : https://indonesian.alibaba.com/p-detail/g3-4-water-flow-sensor-switch-flow-meter-flowmeter-3-4-1-60l-min-60555372623.html, 2018)

Tabel II.5 Spesifikasi Flow Meter FS300A-G3/4'

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Mini. Wokring Voltage*	DC 4.5V
2	*Max. Working Current*	15mA (DC 5V)
3	*Working Voltage*	DC 5V~24V
4	*Flow Rate Range*	1~60L/min
5	*Operating Temperature*	≤80°C
6	*Liquid Temperature*	≤120°C
7	*Operating Humidity*	35%~90%RH
8	*Water Pressure*	≤2.0MPa
9	*Storage Temperature*	-25~+ 80°C
10	*Storage Humidity*	25%~95%RH
11	*Price*	US $3.85

(Sumber : https://indonesian.alibaba.com/p-detail/g3-4-water-flow-sensor-switch-flow-meter-flowmeter-3-4-1-60l-min-60555372623.html, 2018)

***Flowmeter* AICHI G1/2" OF05ZAT**

Flowmeter sensor jenis ini seperti terlihat pada Gambar II.11, bekerja pada tegangan antara 3,5 V hingga 12 V DC dan pada arus 10mA. Alat ini memiliki diameter luar lubang sebesar ½ inch, dan memiliki aliran pulsa 2,5 Hz dalam keadaan normal. Alat ini juga mampu membaca besar nya aliran fluida yang masuk hingga 600 L/jam yang bergantung pada viscositas fluida yang digunakan. Untuk informasi lebih detail dapat dilihat pada Tabel II.6.

Gambar II.11 Flowmeter AICHI G1/2" OF05ZAT

(Sumber: https://www.aliexpress.com/item/G1-2-DN15-Water-liquid-1-30L-min-Black-Plastic-Hall-natural-flow-sensor-meter-for/32414902642.html, 2018)

Tabel II.6 Spesifikasi *Flowmeter* AICHI G1/2" OF05ZAT

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Working Voltage*	DC 3.5V~12V
2	*Flow Rate*	5-600L/Hour
3	*Load Capacity*	10 mA (DC 5 V)
4	*Colour*	black
5	*Flow Pulse*	2.5 (Hz)
6	*Thread Size*	Male, 1/2" / 0.8 INCH
7	*Size*	L85 x W46 X1/2"

(Sumber: https://www.aliexpress.com/item/G1-2-DN15-Water-liquid-1-30L-min-Black-Plastic-Hall-natural-flow-sensor-meter-for/32414902642.html, 2018)

***Flowmeter* YF-S201**

Flowmeter sensor jenis ini seperti terlihat pada Gambar II.12, bekerja pada tegangan 5 V DC dan pada arus sebesar 10mA. Alat ini juga dapat bekerja pada temperatur operasi antara -25^{0}C hingga 80^{0}C. alat ini juga mampu bekerja pada tekanan maksimum 1.75 Mpa dan mengukur laju aliran fluida hingga 30 L/menit serta memiliki aliran pulsa 7,5 Hz pada keadaan normal. Untuk informasi lebih detail dapat dilihat pada Tabel II.7.

Gambar II.12 *Flowmeter* YF-S201

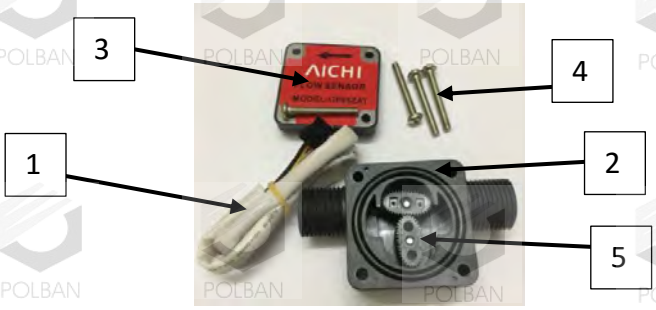
(Sumber: http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter, 2018)

Tabel II.7 Spesifikasi *Flowmeter* YF-S201

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Operating Voltage*	5Vdc, 10mA
2	*Material*	*Plastic*
3	*Pulse Frequency (Hz)*	*(Hz)/7.5* in L/min
4	*Flow Rate Range*	1 ~ 30L/min (Max)
5	*Operating Temperature*	-25 ~ + 80 ° C
6	*Pulses per Liter*	450
7	*Water Pressure*	1.75 Mpa (Max)
8	*Price*	£ 6,60

(Sumber: http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter, 2018)

Secara umum konstruksi dari *flowmeter sensor* dapat dilihat pada gambar II.13. Gambar yang dijadikan contoh sendiri adalah konstruksi dari *flowmeter* OF05ZAT.



Gambar II.13 Konstruksi *flowmeter sensor*

(Sumber: https://www.aliexpress.com/item/G1-2-DN15-Water-liquid-1-30L-min-Black-Plastic-Hall-natural-flow-sensor-meter-for/32414902642.html, 2018)

Berdasarkan Gambar II.13 dapat diketahui bahwa bagian-bagian dari *flowmeter sensor* OF05ZAT adalah:

1. *Connection Wires.* Terdapat tiga kabel berwarna merah, hitam dan kuning. Kabel merah untuk tegangan 5 volt, kabel hitam untuk *ground* (0 volt). Sedangkan kabel kuning, adalah sinyal *output* dari *flowmeter* yang menjadi masukan (*input*) ke Arduino.
2. *Casing*. Sebagai badan utama sensor. Fungsinya untuk melindungi komponen bagian dalam sensor. *Casing* mempunyai bagian *inlet* dan *outlet* dengan ulir luar untuk menghubungkan dengan pipa.
3. *Bonnet* atau penutup *casing*. Sebagai penutup pada bagian samping dari badan sensor (*Casing)*
4. *Screw* (Baut). Sebagai pengunci antara badan dengan penutup.
5. *Impeller*. Sebagai *sensing element* atau bagian pengukur aliran fluida yang berputar dan mengaktifkan inti magnet pada sensor.

Cara kerja dari *flowmeter sensor* OF05ZAT ini adalah dengan memanfaatkan *hall effect*. Ketika air masuk ke dalam *flowmeter sensor* dan memutarkan rotor, magnet di dalamnya akan menghasilkan medan magnet. Semakin cepat putaran rotor maka kondisi perulangan "ada medan magnet" dan "tidak ada medan magnet" akan semakin sering dan sinyal kotak yang tercipta akan semakin rapat yang artinya sinyal pulsa yang dihasilkan semakin besar. Sinyal pulsa ini memiliki bentuk tegangan dan akan dikirim ke *microcontroller* untuk diolah menjadi data yang dapat dibaca oleh pengguna.

Adapun program yang digunakan untuk *flowmeter sensor* OF05ZAT adalah sebagai berikut:

1. Proses Deklarasi
   a. Deklarasi pin *input*

      int flowPin = 2; //Deklarasi pin yang dijadikan *input* pada Arduino (2)

   b. Deklarasi variabel debit

      double flowRate; //Deklarasi nilai "*flowrate*" yang dihitung berbentuk desimal

c. Deklarasi pengupdate data

volatile int count; //Deklarasi *integer* pengupdate proses *interrupt*

2. Proses Inisialisasi

a. Inisialisasi pin di *input*

pinMode (*flowPin, INPUT*); //Inisialisasi *flowPin* sebagi *input*

Serial.begin (9600); //Inisialisasi *port serial*

attachInterrupt (0, *Flow, RISING*); //Inisialisasi pin *interrupt* 0 menjalankan fungsi "i"

count = 0; // Inisialisasi perhitungan dari 0 saat *reset* program dilakukan

interrupts (); //Inisialisasi pengaktifkan *interrupt*

delay (1000); //Inisialisasi waktu delay (selama 1 detik)

noInterrupts (); //Inisialisasi penon-aktivkan *interrupt*

3. Proses Perhitungan

a. Perhitungan nilai *debit*

flowRate = (*count* * 7.1); //Menghitung data *pulse* yang terbaca, dikali 7,1 (7,1 adalah nilai kalibrasi)

flowRate = *flowRate* * 60; //Mengkonversi nilai hasil perhitungan dari mL/detik ke mL / Menit

flowRate = *flowRate* / 1000; //Mengkonversi nilai hasil perhitungan dari mL/menit menjadi L/menit

4. Proses *Output* di *Serial Monitor*

a. *Output* nilai debit

Serial.println(*flowRate*); //Mencetak nilai hasil perhitungan pada *serial monitor*

5. Proses *Update* Data

a. Pembaruan data perhitungan

count++; //Setiap kali pembacaan dilakukan, nilai perhitungan akan diteruskan (+1)

2.2.2.2 *Pressure Transmitter*

Pressure transmitter merupakan instrumen pengukur tekanan yang bekerja secara elektrik dan umum digunakan pada suatu sistem pemipaan. Terdapat beberapa jenis *pressure transmitter* yang banyak dipasaran, diantaranya *pressure transmitter* HK1100C dan *pressure transmitter* G1-1/4-12B-DC5V.

***Pressure Transmitter* HK1100C**

Pressure transmitter jenis ini seperti terlihat pada Gambar II.14, bekerja pada tegangan 5 V DC dan pada arus kurang dari 10mA. *Output* voltase yang dihasilkan berkisar antara 0,5 V hingga 4,5 V. alat ini mampu bekerja pada temperatur 85^0C dan pada tekanan 1,5 Mpa. Untuk informasi lebih detail dapat dilihat pada Tabel .8.

Gambar II.14 *Pressure Transmitter* HK1100C

(Sumber : http://lapantech.com/Hydraulic-Pressure-Sensor-HK1100C-sensor-tekanan-hidrolik-arduino-raspberry-surabaya-solenoid-valve, 2018)

Tabel II.8 Spesifikasi *Pressure Transmitter* HK1100C

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Working Voltage*	*5.0 VDC*
2	*Output Voltage*	*0.5-4.5 VDC*
3	*Working Current*	*<=10 mA*
4	*Working Pressure Range*	*0-1.2 MPa*
5	*The Biggest Pressure*	*1.5 MPa*
6	*Destroy Pressure*	*3.0 MPa*
7	*Working TEMP. Range*	*0-85 Celsius Degree*
8	*Response Time*	*<=2.0 ms*
9	*Price*	*US $20.00*

(Sumber : http://lapantech.com/Hydraulic-Pressure-Sensor-HK1100C-sensor-tekanan-hidrolik-arduino-raspberry-surabaya-solenoid-valve, 2018)

***Pressure Transmitter* (G1-1/4-12B-DC5V)**

Pressure transmitter jenis ini seperti terlihat pada Gambar II.15, bekerja pada tegangan 5 V DC dan pada arus kurang dari 10mA. *Output* voltase yang dihasilkan berkisar antara 0,5 V hingga 4,5 V. alat ini mampu bekerja pada temperatur 85^0C dan pada tekanan 1,2 Mpa. Untuk informasi lebih detail dapat dilihat pada Tabel II.9.

Gambar II.15 *Pressure Transmitter* (G1-1/4-12B-DC5V)

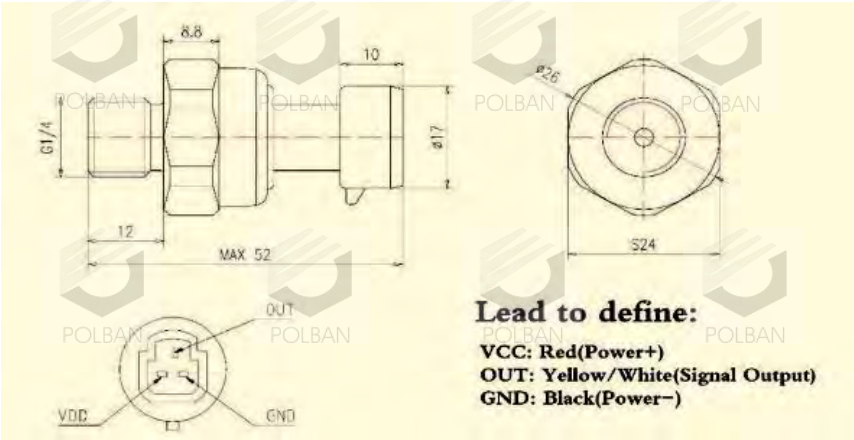
(Sumber: https://www.tokopedia.com/gpinstrument2/pressure-transmitter-g1-14-12b-dc5v.., 2018)

Tabel II.9 Spesifikasi *Pressure Transmitter* (G1-1/4-12B-DC5V)

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Working Voltage*	*5.0 VDC*
2	*Overating Voltage*	*0.5-4.5 VDC*
3	*Working Current*	*<=10 mA*
4	*Working Pressure Range*	*0-1.2 MPa*
5	*The Biggest Pressure*	*2.4 MPa*
6	*Destroy Pressure*	*3.0 MPa*
7	*Working TEMP. Range*	*0-85 Celsius Degree*
8	*Response Time*	*<=2.0 ms*
9	*Price*	*US $20.00*

(Sumber : https://www.tokopedia.com/gpinstrument2/pressure-transmitter-g1-14-12b-dc5v, 2018)

Secara umum konstruksi *pressure transmitter* jenis HK1100C dapat dilihat pada Gambar II.16.



Gambar II.16 *Pressure Transmitter*

(Sumber : http://lapantech.com/Hydraulic-Pressure-Sensor-HK1100C-sensor-tekanan-hidrolik-arduino-raspberry-surabaya-solenoid-valve, 2018)

Konstruksi *pressure transmitter* HK1100C terdiri dari:

1. *Casing*. Sebagai badan utama sensor. Fungsinya untuk melindungi komponen bagian dalam sensor.
2. *Strain Gauges*. Berfungsi sebagai tranduser.
3. *Connector*. Terdapat tiga kabel berwarna merah, hitam dan kuning. Kabel merah untuk tegangan 5 volt, kabel hitam untuk *ground* (0 volt). Sedangkan kabel kuning, adalah sinyal *output* dari *flowmeter* yang menjadi masukan (*input*) ke Arduino.

Pressure transmitter bekerja dengan cara mendeteksi tekanan pada elemen *sensing* bagian muka alat yang akan menyebabkan *strain gauge* di dalamnya mengalami deformasi dan menyebabkan perubahan hambatan listrik dari catu daya ke sensor. Kemudian, nilai aliran listrik yang terbaca akan diterjemahkan dengan program Arduino sehingga dihasilkan berapa nilai perbandingan hambatan listrik dan tekanan.

Adapun program yang digunakan untuk *flowmeter sensor* OF05ZAT adalah sebagai berikut:

1. Proses Deklarasi
   a. Deklarasi pin input

      int sensorVal = analogRead(A2); //Pin yang dijadikan *input* pada Arduino (A2)
   b. Deklarasi nilai kalibrasi

      float voltage = (*sensorVal**5.0)/1023.0; //Menghitung nilai analog per bit

2. Proses Inisialisasi
   a. Inisialisasi *port*

      Serial.begin(9600); //Inisialisasi *serial port*

3. Proses Perhitungan
   a. Perhitungan nilai *Head*

      float pressure_Pascal = ((3.0*((*float*)*voltage*-0.48))*1000000); //Menghitung nilai kalibrasi sensor (0.48) dan merubahkan ke satuan Pascal

      float pressure_bar = pressure_Pascal/10e5; //Merubah satuan Pascal ke bar

      float pressure_head = pressure_bar/(10e3*9,81); //Merubah satuan bar ke meter (*Head*)

4. Proses *Output di Serial Monitor*
   a. *Output* nilai *Head*

      Serial.print("*Sensor Value*: "); //Menampilkan tulisan "*Sensor Value:*" pada *serial monitor*

      Serial.print(*sensorVal*); //Menampilkan nilai terbaca pada *input*

      Serial.print(" "); //Memberi spasi antar cetakan

      Serial.print("*Volt*: "); //Menampilkan tulisan "*Volt*:" pada *serial monitor*

      Serial.print(*voltage*); //Menampilkan besar voltase yang masuk ke input

      Serial.print(" "); //Memberi spasi antar cetakan

      Serial.print("*Head* = "); //Menampilkan tulisan "*Head*:" pada *serial monitor*

      Serial.print(*pressure_head*); //Menampilkan nilai *Head* pada *serial monitor*

Serial.println(" meter"); //Menampilkan tulisan “meter” pada *serial monitor*
delay (1000); //Memberikan waktu penundaan selama 1 detik

2.2.3 *Microcontroller*

Microcontroller adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umunya dapat menyimpan program, umumnya terdiri dari *Central Processing Unit* (CPU), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board mikrokontroler menjadi sangat ringkas. [3].

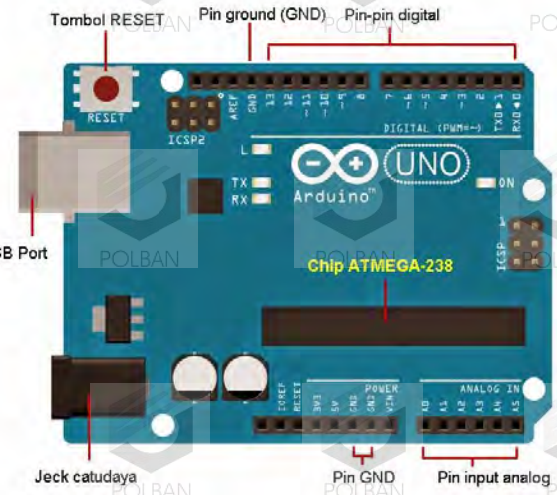
Terdapat beberapa jenis *microcontroller* yang banyak dipasaran, diantaranya Arduino dan Raspberry.

ARDUINO

Arduino adalah *single-board microcontroller* yang tersusun dari berbagai komponenen seperti *chip processor,* catudaya dan pin yang berfungsi untuk menerima, menerjemahkan dan menjalankan suatu perintah dalam bentuk program.

Arduino sendiri merupakan sebuah *platfrom microcontroller* bersifat *open-source* yang digunakan untuk berbagai projek dengan tingkat kesulitan menengah ke bawah. Arduino terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian *hardware* dan *Software.*

Hardware Arduino adalah Arduino *board* yang merupakan badan utama Arduino. Bentuknya seperti pada Gambar II.17.



Gambar II.17 Konstruksi Arduino *board*

(Sumber: http://prakaryarekayasa.blogspot.co.id/2015/01/board-arduino-uno-r3.html, 2018)

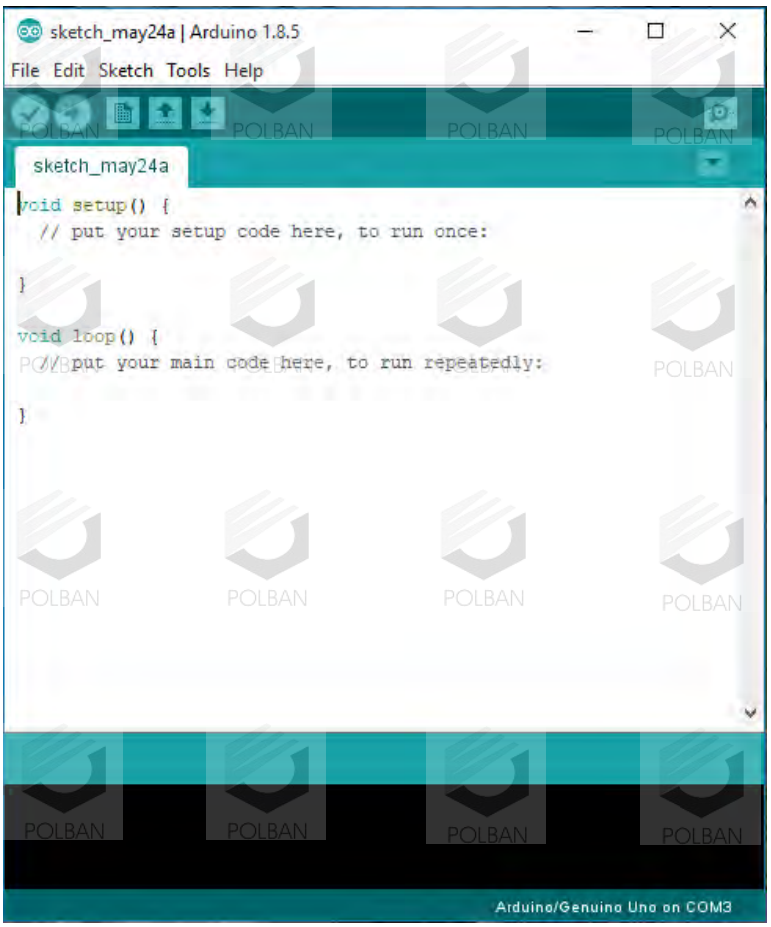
Seperti yang terlihat pada Gambar II.17, Arduino *board* secara umum memiliki bagian-bagian tersebut sebagai berikut:

a. *USB Port.* Berfungsi untuk memuat program dari *PC* ke Arduino *board*, melakukan komunikasi serial antara Arduino *board* dengan *PC*, dan memberikan daya listrik ke Arduino *board* sebesar 5V.
b. Jack Catudaya. Sebagai pemberi daya DC eksternal apabila Arduino memerlukan daya yang berkisar antara 7-12V.
c. Tombol *Reset.* Digunakan untuk memulai ulang program Arduino yang sedang berjalan (bukan menghapus atau mengosongkan program pada Arduino *board*).
d. Pin - Pin Digital. Berfungsi sebagai pemberi input dan output yang dapat kita atur sendiri.
e. Pin *Ground* (GND). Merupakan jalur *ground* atau tanah (jalur pembuangan daya).
f. Pin Analog. Memiliki fungsi yang sama dengan pin digital. Bedanya pin ini dapat merubah sinyal analog berupa voltase yang terbaca menjadi sinyal digital sehingga nilai secara digitalnya dapat terbaca

g. *Prosessor*. Merupakan otak dari Arduino *board*. Berfungsi sebagai komponen pengolah data. *Prosessor* yang digunakan pada Gambar II.10 adalah *chip* ATMEGA-238. Didalamnya sudah termasuk CPU, ROM dan RAM.

Software yang digunakan untuk mengolah data pada arduino adalah Arduino *Integrated Development Environment* (IDE). *Software* ini berfungsi sebagai tempat *programmer* membuat dan mengedit program untuk nantinya dimasukan ke Arduino *board*. File dari Arduino IDE sendiri dapat diunduh secara gratis di http://Arduino.cc/en/Main/Software.

Tampilan dari Arduino IDE untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar II.18.



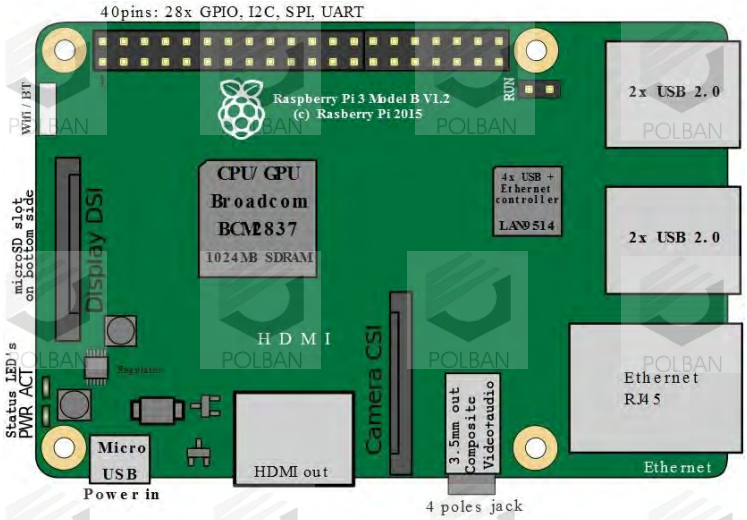
Gambar II.18 Tampilan Arduino IDE

Raspberry

Raspberry adalah *single-board microcomputer* yang tersusun dari berbagai komponenen seperti *chip processor,* catudaya dan pin yang berfungsi untuk menerima, menerjemahkan dan menjalankan suatu perintah dalam bentuk program.

Diberi nama *microcomputer* karena memiliki kemuampuan yang sama dengan computer. Artinya, apapun yang bisa dilakukan oleh komputer, bisa juga dilakukan oleh alat ini seperti memproses audio, foto, atau bahkan video. Raspberry terdiri dari dua bagian, yaitu bagian *hardware* dan *software*.

Hardware Raspberry adalah Raspberry *board* yang merupakan badan utama Raspberry. Bentuknya seperti pada Gambar II.19.



Gambar II.19 Konstruksi Raspberry

(Sumber: http://prakaryarekayasa.blogspot.co.id/2015/01/board-arduino-uno-r3.html, 2018)

Seperti yang terlihat pada Gambar II.19, Raspberry *board* secara umum memiliki bagian-bagian tersebut sebagai berikut:

a. *USB Port.* Sebagai *port input* untuk piranti tambahan seperti *hardisk eksternal, mouse, keyboard, modem,* dan sebagainya.
b. *Ethernet Port.* Sebagai *port* penghubung ke jaringan *Local Area Network* (LAN).
c. *Audio jack.* Sebagai penghubung ke *speaker.*

d. *Camera Serial Interface* (CSI) *Connector*. Sebagai penghubung ke camera eksternal.

e. *High-Definition Multimedia Interface* (HDMI) *port*. Sebagai penghubung ke perangkat *audio-visual*.

f. *Micro USB*. Sebagai pemberi cadu daya sebesar 5 volt.

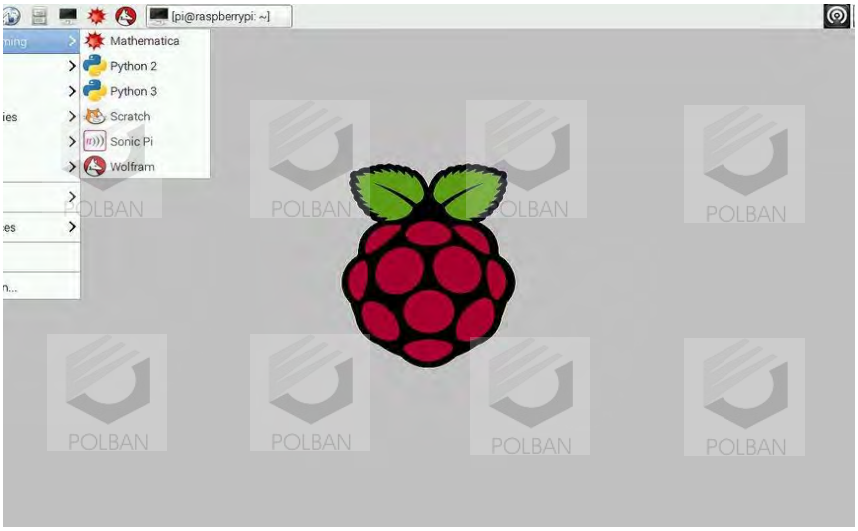
g. *Micro SD Slot.* Sebagai *hard disk internal*

h. *Display Serial Interface* (DSI) *Connector*. Sebagai penghubung ke *display monitor*.

i. *Broadcom BCM2837*. Merupakan jenis prosesor yang digunakan. RAM yang dipasang pada prosessor jenis ini memiliki kapasitas sebesar 1 GB.

j. Terminal *General Purpose Input Output* (GPIO). Pin ini berjumlah 40 pin dan terbagi kedalam 4 jenis, yaitu 28 pin *input* dan *output*, 8 pin *ground*, dan 4 pin tegangan.

Operating system (OS) Raspberry yang umum digunakan adalah *Raspberry Debian,* atau dikenal dengan istilah Rasbian. OS ini adalah yang paling direkomendasikan meskipun bukan hasil ciptaan Raspberry Pi Foundation. Tampilan dari Raspberry dapat dilihat pada Gambar II.20.

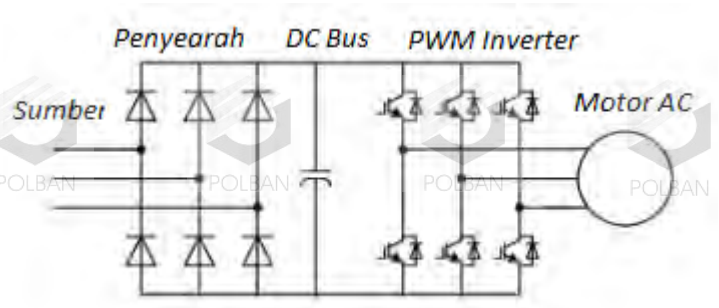


Gambar II.20 Tampilan Raspberry Debian

(Sumber: http://prakaryarekayasa.blogspot.co.id/2015/01/board-arduino-uno-r3.html, 2018)

2.2.4 *Inverter*

Inverter sering dikenal dengan istilah VSD (*Variable Speed Drive*) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengatur kecepatan dan torsi suatu motor. Pada dasarnya *inverter* bukan satu satunya alat yang bisa mengatur kecepatan putar suatu benda. Misalnya sebuah *gear box* juga dapat difungsikan sebagai penurun kecepatan putar suatu alat. Hanya saja *inverter* memiliki kelebihan tersendiri, misalnya pengatur kecepatan dan torsi yang mudah, perubahan kecepatan dapat dipantau secara langsung pada *display inverter* serta memperhalus *starting* awal motor. Konstruksi dari *inverter* dapat digambarkan dengan sebuah blok diagram seperti pada gambar II.21.



Gambar II.21 Blok diagram *inverter* 3 *phase*
(Sumber: http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2013/09/Prinsip-Dasar-Inverter.html)

Cara kerja daari *inverter* sendiri adalah dengan mengatur jumlah frekuensi dan tegangan masuk serta mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternative Current*). Keluaran berupa tegangan AC ini memiliki besar frekuensi sesuai dengan yang diinginkan sehingga putaranya pun berada pada kecepatan yang diinginkan pula. Terdapat beberapa jenis *inverter* yang banyak dipasaran diantaranya *inverter* TOSVERT VF-S11, *inverter* Huan Yang, dan *inverter* ENC EN600-4T0015G.

TOSVERT VF-S11 (4037PL)

Inverter ini memiliki bentuk seperti terlihat pada Gambar II.12. *Inverter* jenis ini mampu bekerja pada motor yang memiliki daya maksimum hingga 3,7 kW,

memiliki berat hingga 2,9 kg, dipergunakan untuk motor tiga phasa, dan mampu bekerja pada tegangan listrik hingga 400 V. Untuk keterangan lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel II.10.

Gambar II.22 TOSVERT VF-S11

(Sumber: https://www.inverter.co.jp/product/inv/idx_ol_e.asp?s=S11, 2018)

Tabel II.10 Spesifikasi TOSVERT VF-S11 (4037PL)

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Type Form*	*VF-S11 (4037PL)*
2	*Input Phase*	*3 Phase*
3	*Voltage Class*	*400V*
4	*Capacity*	*3,7 kW*
5	*Weight*	*2,9 kg*
6	*Price*	*US $379.00*

(Sumber: https://www.inverter.co.jp/product/inv/idx_ol_e.asp?s=S11, 2018)

Huan Yang Inverter *(Classic VFD Inverter)*

Bentuk dari *inverter* ini seperti terlihat pada Gambar II.23. *Inverter* jenis ini memiliki spesifikasi umum yang sama persis dengan TOSVERT VF-S11, yaitu mampu bekerja pada motor yang memiliki daya maksimum hingga 3,7 kW, memiliki berat hingga 2,9 kg, dipergunakan untuk motor tiga phasa, dan mampu bekerja pada tegangan listrik hingga 400 V. Yang menjadi pembeda adalah harganya yang jauh lebih murah, yaitu US $176 atau sekitar 2,5 juta-an. Untuk penjelasan lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel II.11.

Gambar II.23 Huan Yang Inverter (Classic VFD Inverter)

(Sumber: https://m.aliexpress.com/item/628549485.html, 2018)

Tabel II.11 Spesifikasi Huan Yang Inverter (Classic VFD Inverter)

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Type Form*	*Classic VFD Inverter*
2	*Input Phase*	*3 Phase*
3	*Voltage Class*	*370V*
4	*Capacity*	*4 kW*
5	*Weight*	*2,9 kg*
6	*Price*	*US $176.00*

(Sumber: https://m.aliexpress.com/item/628549485.html, 2018)

ENC Inverter (EN600-4T0015G)

Bentuk dari *inverter* ini seperti terlihat pada Gambar II.24. *Inverter* jenis ini mampu bekerja pada motor dengan daya maksimum 55 kW, memiliki berat hingga 3,5 kg, bekerja pada motor 3 phasa, dan digunakan pada tegangan maksimum 380 V. untuk spesifikasi lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel II.12.

Gambar II. 24 ENC Inverter (EN600-4T0015G)

(Sumber: https://www.alibaba.com/product-detail/5-5kw-advanced-drive-technology-motor_60558236312.html, 2018)

Tabel II.12 Spesifikasi ENC Inverter (EN600-4T0015G)

No.	Spesifikasi	Nilai
1	*Type Form*	*EN600-4T0015G*
2	*Input Phase*	*3 Phase*
3	*Voltage Class*	*380V*
4	*Capacity*	*0,75~55kW*
5	*Weight*	*3.5 kg*
6	*Price*	*US $230.00*

(Sumber: https://www.alibaba.com/product-detail/5-5kw-advanced-drive-technology-motor_60558236312.html, 2018)