

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR POMPA AIR 12V DC  
MENGUNAKAN KONTROLER PID DENGAN VARIASI DEBIT  
AIR PADA PERKEBUNAN HIDROPONIK**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**GLANN DY PARWATI PUTRA**  
**NIM. 175060307111019**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2021**







LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDAIAN KECEPATAN MOTOR POMPA AIR 12V DC MENGGUNAKAN KONTROLER PID DENGAN VARIASI DEBIT AIR PADA PERKEBUN HIDROPONIK

SKRIPSI

GIANNY PARWATI PUERA  
NIM. 17506030411019

Skrripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing I pada tanggal 24 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Muhammad Muttakin, S.T., M.T.

Sapriesty, S.T., M.T.

NIP. 19700121 200501 1 004

NIP. 200304 198804 1 2007







JUDUL SKRIPSI

PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR POMPA AIR 12V DC MENGGUNAKAN KONTROLER PID DENGAN VARIASI DEBIT AIR PADA PERKEBUNAN HIDROPONIK

Nama Mahasiswa : Glanndy Parwati Putra

Nim : 175060307111019

Program Studi : Teknik Elektro


Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing I : Adharul Muttaqin, S.T., M.T.



Pembimbing II : Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T.



TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Lunde Ardhenta, S.T., M.Sc.

 disetujui tanggal 21 Juli 2021

Dosen Penguji II : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPM

 disetujui tanggal 21 Juli 2021

Tanggal Ujian : 8 Juli 2021

Sk Penguji : No. 1163 Tahun 2021





**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2021

Mahasiswa,

Glanndy Parwati Putra

NIM.175060307111019









*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:  
Papa dan Mama Tercinta*





## RINGKASAN

**Glanny Parwati Putra**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021, *Pengendalian Kecepatan Motor Pompa Air 12V DC Menggunakan Kontroler PID dengan Variasi Debit Air Pada Perkebunan Hidroponik*, Dosen Pembimbing: Adharul Muttaqin dan Sapriesty Nainy Sari.

Pertambahan jumlah penduduk yang tinggi di Indonesia mengakibatkan berkurangnya jumlah lahan pertanian. Dampak dari kurangnya lahan pertanian di Indonesia dapat menyebabkan sulitnya pencapaian peningkatan produksi pangan karena keterbatasan lahan pertanian. Maka dari itu, sistem hidroponik digunakan sebagai solusi dari masalah tersebut. Metode penanaman tanaman pada sistem hidroponik ini tidak menggunakan tanah, melainkan menggunakan air sebagai media tanamnya. Hal itu membuat perawatan pada sistem hidroponik cukup sulit, karena ada beberapa variabel yang harus dikontrol, yaitu pH air, suhu, dan larutan nutrisi *AB Mix*. Maka dari itu, diperlukan sistem *smart hydroponic* untuk memonitor dan mengontrol beberapa aspek tersebut. Dalam sistem tersebut, digunakan aktuator berupa motor pompa air 12V DC untuk mengubah nilai dari variabel pH air maupun larutan nutrisi *AB Mix* apabila sensor membaca nilai tidak sesuai yang diinginkan.

Namun, setelah proses penyemprotan larutan terdapat jeda pembacaan sensor selama 10 menit. Hal ini menyebabkan petani tidak dapat melihat nilai variabel yang ada di tandon secara langsung. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan kecepatan motor pompa air 12V DC agar mempercepat penyemprotan larutan dengan cara mempercepat respon peralihannya sehingga jeda pembacaan sensor bisa kurang dari 10 menit. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID sebagai pengendali kecepatan dari motor pompa air 12V DC. Dengan mengubah nilai dari debit air motor pompa air 12V DC diharapkan dapat mempertahankan kecepatannya sehingga waktu untuk mencapai *setpoint* dapat dipercepat.

Pada penelitian ini nilai *setpoint* yang digunakan adalah 500 mL/min, 1000 mL/min, 1500 mL/min, dan 2000 mL/min. Ada beberapa nilai yang diamati pada saat pengujian, yaitu *overshoot*, *error steady state*, *rise time*, dan *settling time*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa perubahan nilai *setpoint* tidak mempengaruhi dari nilai performansi sistem, pada sistem open-loop memiliki *overshoot* sebesar 1.96%, *error steady state* sebesar 0%, mempunyai nilai *rise time* sebesar 0.0946 detik, dan nilai *settling time* sebesar 0,146 detik. Sehingga performansi sistem sudah sesuai dengan karakteristik yang diinginkan.

**Kata kunci:** Hidroponik, Motor Pompa Air DC, Kontroler PID





## SUMMARY

**Glanndy Parwati Putra**, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2021, Speed Control of DC Motor Water Pump 12V Using PID Controller With Water Flow Variations in Hydroponic Plantation*, Dosen Pembimbing: Adharul Muttaqin dan Sapriesty Nainy Sari.

*The high population growth in Indonesia has resulted in a reduction of the amount of agricultural land. It is difficult to achieve increased food production due to limited agricultural land. Therefore, a hydroponic system can be used as a solution to this problem. The method of planting plants in this hydroponic system does not use soil, but uses water as the planting medium. This makes maintenance on a hydroponic system quite difficult, because there are several variables that must be controlled, including pH, temperature, and AB Mix nutrient solution. Therefore, a smart hydroponic system is needed to monitor and control some of these aspects. In the smart hydroponic system, an actuator in the form of a 12V DC water pump motor is used to change the value of the water pH variable and the AB Mix nutrient solution if the sensor reads the value not as desired.*

*However, after the process of spraying the solution there is a pause in sensor readings for 10 minutes. This causes farmers to not be able to see the value of the variables in the reservoir directly. Therefore, this study aims to control the speed of the 12V DC water pump motor in order to accelerate the spraying of the solution by accelerating the transition response so that the sensor reading delay can be less than 10 minutes. The controller used is the PID controller as the speed controller of the 12V DC water pump motor. By changing the value of the water discharge of the 12V DC water pump motor, it is expected to be able to maintain its speed so that the time to reach the setpoint can be accelerated.*

*In this study, the setpoint values used were 500 mL/min, 1000 mL/min, 1500 mL/min, and 2000 mL/min. There are several values observed during the test, namely overshoot, steady state error, rise time, and settling time. The results obtained from this study are that the change in the setpoint value does not affect the system performance value, the open-loop system has an overshoot of 1.96%, a steady state error of 0%, a rise time value of 0.0946 seconds, and a settling time value of 0.146 seconds. So that the system performance is in accordance with the desired characteristics.*

**Keywords:** *Hydroponics, DC Water Pump Motor, PID Controller*





DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR LAMPIRAN .....	vii
BAB I .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II .....	5
2.1 Motor DC .....	5
2.1.1 Prinsip Kerja Motor DC .....	7
2.1.2 Konstruksi Motor DC .....	7
2.1.3 Motor Pompa Air DC Tipe 365B7 .....	8
2.2 Kontroler <i>Proporsional Integral Derivative</i> (PID) .....	9
2.3 Arduino Uno .....	11
2.4 Driver Motor BTS7960 .....	11
2.5 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	12
2.6 Sensor <i>Water Flow</i> .....	13
BAB III .....	14
3.1 Studi Literatur .....	15
3.2 Blok Diagram Sistem .....	16
3.3 Karakterisasi Motor DC .....	16
3.4 Penentuan Fungsi Alih Motor DC .....	17
3.5 Penentuan Parameter Kontroler PID dengan PID Tuner pada MATLAB .....	20
3.6 Perangkat Keras .....	21
BAB IV .....	22
4.1 Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM .....	23
4.2 Pengujian Sistem <i>Open-loop</i> .....	24
4.3 Pengujian Sistem <i>Closed-loop</i> .....	24

4.3.1	Respon Sistem dengan <i>Setpoint</i> 500 mL/min .....	25
4.3.2	Respon Sistem dengan <i>Setpoint</i> 1000 mL/min .....	25
4.3.3	Respon Sistem dengan <i>Setpoint</i> 1500 mL/min .....	26
4.3.4	Respon Sistem dengan <i>Setpoint</i> 2000 mL/min .....	27
BAB V .....		28
5.1	Kesimpulan .....	29
5.2	Saran .....	29
DAFTAR PUSTAKA .....		30
LAMPIRAN .....		33





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor Pompa Air DC Tipe 365B7 .....	9
Tabel 2.2 <i>Tuning</i> PID.....	11
Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Driver BTS7960.....	12
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor <i>Water Flow</i> .....	13
Tabel 3.1 Data Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM.....	17
Tabel 3.2 Parameter Kontroler .....	21
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM.....	23



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Konversi Energi Elektromekanik .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Diagram blok pengontrolan motor DC magnet permanen .....	6
<b>Gambar 2.4</b> Gaya Medan Magnet pada Konduktor yang Dialiri Arus Listrik .....	7
<b>Gambar 2.5</b> Konstruksi Motor DC .....	8
<b>Gambar 2.6</b> Skematik motor DC dua kutub .....	8
<b>Gambar 2.7</b> Motor Pompa Air DC Tipe 365B7 .....	9
<b>Gambar 2.8</b> Diagram blok kontroler PID .....	10
<b>Gambar 2.9</b> Arduino Uno .....	11
<b>Gambar 2.10</b> Driver Motor H-Bridge BTS7960 .....	11
<b>Gambar 2.11</b> Sinyal PWM .....	12
<b>Gambar 2.12</b> Sensor <i>Water Flow</i> .....	13
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metode Penelitian .....	15
<b>Gambar 3.2</b> Blok Diagram Sistem .....	16
<b>Gambar 3.3</b> Masukan dan Keluaran Motor Pompa Air DC .....	18
<b>Gambar 3.4</b> <i>System Identification Toolbox</i> .....	18
<b>Gambar 3.5</b> Hasil Estimasi Model .....	19
<b>Gambar 3.6</b> Model Fungsi Alih Motor DC .....	19
<b>Gambar 3.7</b> <i>Step Response</i> dari Fungsi Alih .....	20
<b>Gambar 3.8</b> Respon Sistem .....	20
<b>Gambar 3.9</b> <i>Tuning Tools</i> .....	21
<b>Gambar 3.10</b> Perangkat Keras Sistem .....	21
<b>Gambar 4.1</b> Respon sistem menggunakan Kontroler PID dengan masukan <i>unit step</i> .....	24
<b>Gambar 4.2</b> Respon sistem dengan <i>setpoint</i> 500 mL/min .....	25
<b>Gambar 4.3</b> Respon sistem dengan <i>setpoint</i> 1000 mL/min .....	25
<b>Gambar 4.4</b> Respon sistem dengan <i>setpoint</i> 1500 mL/min .....	26
<b>Gambar 4.5</b> Respon sistem dengan <i>setpoint</i> 2000 mL/min .....	27



# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Data Sheet</i> Arduino UNO.....	33
Lampiran 2. <i>Data Sheet</i> Driver Motor BTS7960.....	40
Lampiran 3. <i>Data Sheet</i> sensor <i>Water Flow</i> YF-S201.....	45







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Badan Pusat Statistik (2020) mengungkapkan bahwa lahan pertanian di Indonesia pada tahun 2019 berkurang sebesar 6,15% dibanding tahun 2018. Meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan ketersediaan lahan pertanian semakin sempit karena digunakan untuk perumahan dan perluasan perkotaan. Hal ini mempersulit pencapaian peningkatan produksi pangan karena keterbatasan lahan pertanian (Rosliani dan Sumarni, 2005).

Seiring dari permasalahan tersebut, banyak penelitian yang dikembangkan untuk mencari solusi tepat dari permasalahan tersebut. Metode penanaman tanaman terus dikembangkan, guna mencapai peningkatan produksi pangan. Salah satu inovasi untuk mengatasi kurangnya lahan pertanian di perkotaan adalah dengan metode penanaman tanaman tanpa menggunakan media tumbuh dari tanah melainkan menggunakan air sebagai media tumbuh yang disebut sistem hidroponik. Sistem hidroponik dikenalkan dan dikembangkan secara komersial pada awal tahun 1900-an di Amerika Serikat. Di Indonesia, sistem hidroponik telah mulai mendapat perhatian masyarakat dan berkembang sejak tahun delapan puluhan, yang dimulai oleh beberapa pengusaha di daerah perkotaan (Rosliani dan Sumarni, 2005).

Pada perawatannya, tanaman yang menggunakan sistem hidroponik perlu memperhatikan beberapa aspek, diantaranya pengendalian pH, nutrisi tanaman, dan suhu agar menghasilkan kualitas tanaman yang baik (Gent, 2016). Kenaikan pH akan menyebabkan timbulnya bintil akar dan proses penyerapan nutrisi nitrogen dan fosfor terhambat. Sedangkan apabila tanaman kekurangan nutrisi, maka akan menyebabkan tanaman layu (Lubis et al, 2015). Maka dari itu, perlu dirancang suatu sistem *smart hydroponic* untuk memonitor dan mengendalikan beberapa aspek tersebut. Salah satu aktuator dalam sistem ini adalah motor pompa air DC untuk mengendalikan pH maupun nutrisi tanaman dengan cara menyemprotkan larutan asam fosfat maupun larutan nutrisi AB Mix pada tandon. Namun, setelah proses penyemprotan larutan terdapat jeda pembacaan sensor selama 10 menit untuk proses pencampuran pada tandon karena sirkulasi air tandon yang cukup jauh. Hal ini menyebabkan petani tidak dapat memonitor nilai variabel secara langsung karena harus menunggu jeda tersebut.



Pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kecepatan motor pompa air DC menggunakan kontroler PID yang bertujuan untuk mempercepat penambahan larutan pada tandon air dengan cara mempercepat respon peralihannya sehingga jeda pembacaan sensor dapat dipercepat dan petani tidak perlu menunggu jeda selama 10 menit. Harapannya penelitian ini dapat meningkatkan kemampuan kerja motor pompa air DC.

### 1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengatur kecepatan motor pompa air DC menggunakan kontroler PID?
2. Bagaimana respon peralihan motor pompa air DC setelah menggunakan kontroler PID dengan variasi debit air yang diberikan?
3. Bagaimana pengaruh nilai *setpoint* pada sistem setelah diberikan kontroler PID?

### 1.3 Batasan Masalah

1. Pada penelitian ini tegangan masukan ( $V_{dc}$ ) ditentukan sebesar 12V DC.
2. Daya motor pompa air DC pada penelitian ini adalah 6W.
3. Arus nominal motor pompa air DC pada penelitian ini adalah 0,5A.
4. Parameter tegangan dan arus didapatkan dari motor pompa air DC pada perkebunan Ifresh Hydrofarm
5. Menggunakan aplikasi MATLAB untuk pemodelan keseluruhan sistem.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Membandingkan respon peralihan kecepatan motor pompa air DC tanpa menggunakan PID Controller dan menggunakan PID Controller yang dilakukan di dalam *software* MATLAB.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Bagi penulis, mampu memberikan pembelajaran dalam mengatur kecepatan motor pompa air DC.
2. Bagi pembaca, mampu memberikan wawasan mengenai cara kerja motor pompa air DC dan sistem pengendalinya.
3. Bagi akademisi, diharapkan mampu digunakan sebagai rujukan penelitian selanjutnya mengenai pemodelan sistem pengendali pada motor pompa air DC.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika pembahasan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan tentang dasar teori yang mendukung terhadap penelitian yang akan dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini menguraikan tentang metode dan langkah kerja yang terdiri dari studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

### **BAB IV : PEMBAHASAN**

Bab ini menguraikan tentang data-data yang diperlukan, dengan analisis terhadap masalah yang akan diajukan sehingga diperoleh hasil dalam penelitian ini.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat kesimpulan dan saran.



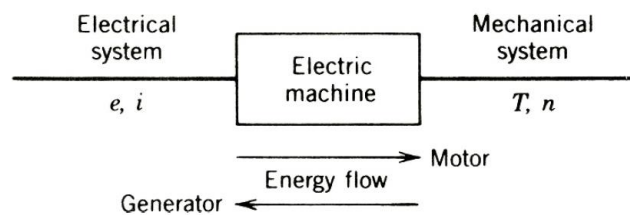
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

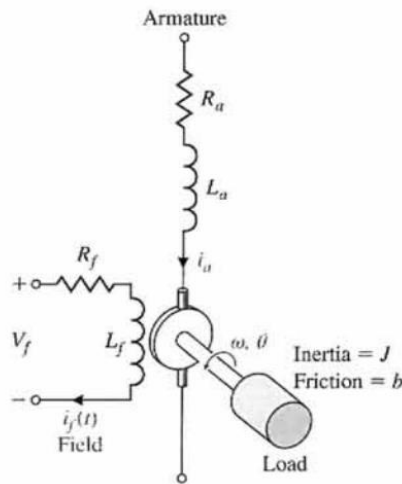
### 2.1 Motor DC

Mesin listrik merupakan bagian terbesar dalam kehidupan manusia di era modern ini. Pemakaian mesin listrik telah meliputi segala bidang mulai dari peralatan rumah tangga, peralatan industri, robot, pesawat ruang angkasa, komputer, sarana transportasi, bahkan peralatan audio video pun menggunakan mesin listrik. Terdapat dua jenis mesin listrik yang ada di kehidupan sehari-hari, yaitu mesin AC dan mesin DC. Mesin listrik yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah mesin DC. Mesin DC terdapat dua jenis yaitu, dapat berupa generator DC maupun motor DC. Pada saat digunakan sebagai generator DC, masukan dari generator DC berupa energi mekanik yang diubah menjadi energi listrik. Lalu, penggerak utama akan memutar jangkar mesin DC, dan menghasilkan daya. Pada saat digunakan sebagai motor DC, masukan dari generator DC berupa energi listrik yang diubah menjadi energi mekanik (Sen, 1996).



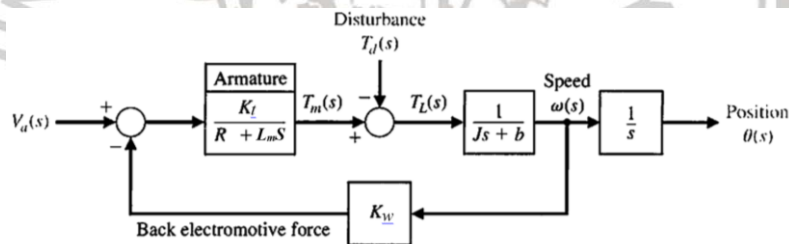
**Gambar 2.1** Konversi Energi Elektromekanik  
Sumber: (Sen, 1996)

Motor DC adalah jenis motor listrik yang paling sering digunakan sebagai aktuator dalam sistem kontrol. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar yang disebut rotor (bagian yang berputar). Motor DC membutuhkan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Untuk memberikan tegangan pada kumparan medan membutuhkan sikat yang menyentuh komutator, dua bagian seperti cincin terputus yang terhubung pada ujung lilitan. Kumparan dalam satu lilitan disebut *armature* (jangkar). *Armature* adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet. Rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen  
Sumber: (Dorf, R. C & Bishop, R. H., 2011)

Pada motor DC magnet permanen, arus kumparan medan  $I_f$  dibuat konstan. Diagram blok pengontrolan kecepatan motor DC magnet permanen dapat dilihat dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Diagram blok pengontrolan motor DC magnet permanen  
Sumber: (Dorf, R. C & Bishop, R. H., 2011)

Apabila *disturbance* (gangguan)  $T_d(s) = 0$ , maka fungsi alih motor DC adalah

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(R + L_m s)(J s + b) + (K_t K_w)} \quad (2-1)$$

Dengan:

$K_t$  = Konstanta motor

$K_w$  = Konstantan *back electromotive force*

$R$  = Resistansi *armature*

$L_m$  = Induktansi *armature*

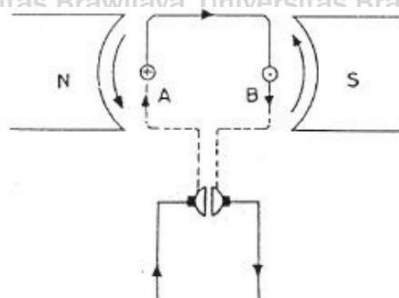
$J$  = Inersia

$b$  = Gesekan



### 2.1.1 Prinsip Kerja Motor DC

Pada dasarnya prinsip kerja dari motor DC adalah jika sebuah konduktor dialiri arus listrik dan diletakan pada medan magnet, maka akan terjadi gaya pada konduktor tersebut yang akan membuat konduktor berotasi. Gaya medan magnet pada konduktor yang dialiri arus listrik dapat dilihat pada Gambar 2.4.

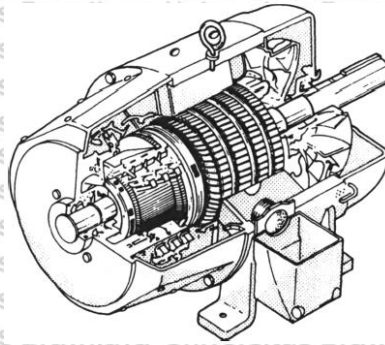


**Gambar 2.4** Gaya Medan Magnet pada Konduktor yang Dialiri Arus Listrik  
Sumber: (Dhokal, 1985)

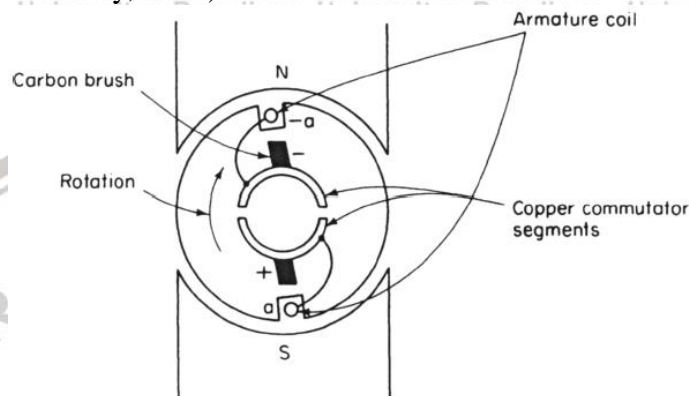
Dalam Gambar 2.4 terlihat sebuah konduktor dialiri arus listrik dan diletakan pada medan magnet tetap. Karena itu, akan terjadi gaya pada kumparan sisi A dan pada kumparan sisi B. Menggunakan aturan tangan kiri Fleming dapat ditentukan arah putaran berlawanan arah jarum jam. Gaya akan terus ada sampai konduktor meninggalkan medan magnet. Untuk membuat putaran yang terus menerus dibutuhkan konduktor yang banyak, sehingga jika sebuah konduktor meninggalkan medan magnet saat itu juga akan ada konduktor yang masuk ke medan magnet. Ketika kumparan berputar 180 derajat, maka arus listrik pada sisi A dan B akan berubah arah. Maka dari itu, komutator berfungsi untuk membalik arah arus dalam kumparan (Dhokal, 1985).

### 2.1.2 Konstruksi Motor DC

Motor DC adalah perangkat konversi energi elektromekanis yang memiliki kutub menonjol yang dieksitasi oleh satu atau lebih belitan medan. Belitan jangkar motor DC terdapat pada rotor, dengan arus yang dihantarkan melalui sikat arang yang bersentuhan dengan segmen komutator. Tampilan dari konstruksi motor DC ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan skematik dari motor DC dua kutub ditunjukkan pada gambar 2.6



**Gambar 2.5** Konstruksi Motor DC  
Sumber: (El-Hawary, 2002)



**Gambar 2.6** Skematik motor DC dua kutub  
Sumber: (El-Hawary, 2002)

Pada kecepatan konstan, tegangan induksi muncul pada kumparan jangkar. Tegangan terinduksi adalah tegangan bolak-balik dan harus disearahkan untuk menghasilkan tegangan DC. Penyearahan secara tradisional dilakukan dengan menggunakan komutator, yaitu silinder yang dipasang pada rotor dan dibentuk dari segmen tembaga. Lalu, segmen komutator akan bersentuhan dengan sikat arang. Pada Gambar 2.6 terlihat bahwa komutator menghubungkan sisi kumparan yang berada di bawah kutub selatan ke sikat positif dan dibawah kutub utara ke sikat negatif yang dilakukan secara terus menerus. Komutator pada dasarnya adalah penyearah mekanis gelombang penuh. Medan magnet yang muncul karena tegangan DC di belitan medan bersifat statis. Arus jangkar menciptakan distribusi fluks magnet yang sumbu nya tegak lurus terhadap fluks medan. Interaksi keduanya akan menciptakan torsi di motor DC (El-Hawary, 2002).

### 2.1.3 Motor Pompa Air DC Tipe 365B7



Prinsip kerja motor pompa air beroperasi dengan membuat perbedaan di sisi bagian tekanan dan di sisi bagian hisap yang dapat dilihat pada Gambar

2.7. Pompa air memiliki dua kegunaan, diantaranya:

1. Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya
2. Mensirkulasikan cairan pada suatu sistem



**Gambar 2.7** Motor Pompa Air DC Tipe 365B7

Spesifikasi motor pompa air DC Tipe 365B7 menggunakan tegangan DC sebesar 12V dan arus yang mengalir sebesar 0,5–0,7A seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Motor Pompa Air DC Tipe 365B7

<b>Tegangan</b>	12V DC
<b>Arus kerja</b>	0,5 – 0,7A
<b>Arus tanpa beban</b>	0,18A
<b>Debit</b>	2L/min
<b>Dimensi</b>	90 x 40 x 35 mm

## 2.2 Kontroler *Proporsional Integral Derivative* (PID)

Kontroler adalah komponen yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan pada sistem. Tipe kontroler yang paling populer adalah kontroler PID. Kegunaan kontroler PID terletak pada penerapan di sebagian besar sistem kontrol. Khususnya, ketika model matematis *plant* tidak diketahui dan metode desain analisis tidak dapat digunakan, kontroler PID terbukti berguna untuk masalah tersebut (Ogata, 2010).

Beberapa terminologi dasar untuk mempermudah memahami PID Controller (Rokhmah, 2018):

- a. *Error*: Selisih antara nilai *setpoint* dan *output* dari suatu sistem.
- b. *Proportional* (P): Proporsional berbanding lurus dengan kesalahan saat ini, pengendali proporsional juga bertindak sebagai penguat yang mampu mengubah *output* dari sistem secara proporsional tanpa memberikan efek dinamik pada kinerja pengendali tersebut.
- c. *Integral* (I): Integral bergantung pada kesalahan kumulatif yang dibuat selama jangka waktu (t), pengendali integral merupakan pengendali yang berfungsi untuk memperbaiki respon tunak/*steady state* dari sistem sehingga pengendali ini mampu memperkecil *error* sistem.



d. *Derivative* (D): Istilah turunan tergantung laju perubahan kesalahan. Pengendali ini merupakan suatu pengendali yang berfungsi untuk memperbaiki respon *transien* dari sistem.

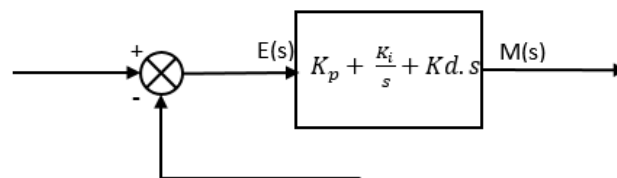
e. *Constant* (faktor): Setiap istilah P, I, D dimasukkan dalam kode dengan mengalikannya terhadap konstanta masing-masing.

- P-faktor ( $K_p$ ): Nilai konstan yang digunakan untuk menambah atau mengurangi dampak proporsional.

- D-faktor ( $K_d$ ): Nilai konstan yang digunakan untuk menambah atau mengurangi dampak dari derivatif.

- I-faktor ( $K_i$ ): Nilai konstan yang digunakan untuk menambah atau mengurangi dampak dari integral.

Kontroler PID merupakan kombinasi dari tiga pengendali, yaitu pengendali Proporsional disingkat P, pengendali Integral disingkat I dan pengendali Diferensial disingkat D. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda pada proses orde satu, proses orde dua, proses orde banyak. Ketiga jenis pengendali ini masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan (Yudaningtyas, 2017). Diagram blok dari kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Diagram blok kontroler PID

Sumber: (Yudaningtyas, 2017)

Adapun fungsi alihnya adalah sebagai berikut:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s \quad (2-2)$$

$K_p$  sebagai penguatan proporsional dan  $K_i$  disebut konstanta integral, dan  $K_d$  yang ketiganya dapat ditentukan. *Tuning* PID dapat dilakukan secara manual dengan cara menambahkan *gain* pada  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  (Dorf, R. C & Bishop, R. H., 2011). Efek dari menambahkan *gain* pada parameter PID dapat dilihat pada Tabel 2.2.

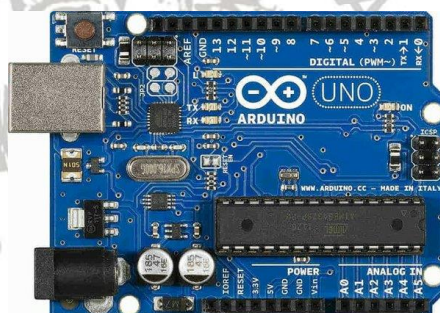


**Tabel 2.2** Efek menambah *gain* pada parameter PID

Parameter	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Error
Kp	Berkurang	Bertambah	Sedikit berubah	Berkurang
Ki	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Dihilangkan
Kd	Sedikit berubah	Berkurang	Berkurang	Tidak berpengaruh

### 2.3 Arduino Uno

Arduino Uno adalah arduino *board* yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol 26 reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB-to-serial converter untuk komunikasi serial ke komputer melalui *port* USB. Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada Gambar 2.9.

**Gambar 2.9** Arduino Uno

### 2.4 Driver Motor BTS7960

**Gambar 2.10** Driver Motor H-Bridge BTS7960

Pada driver motor DC ini dapat mengalirkan arus hingga 43A dan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan diantara 5.5V-27V DC, sedangkan



tegangan *input level* diantara 3.3V-5V DC, *driver* motor ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS7960 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebih. *Driver* motor H-Bridge BTS7960 dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan spesifikasi dari *driver* motor BTS7960 dapat dilihat pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Spesifikasi Motor Driver BTS7960

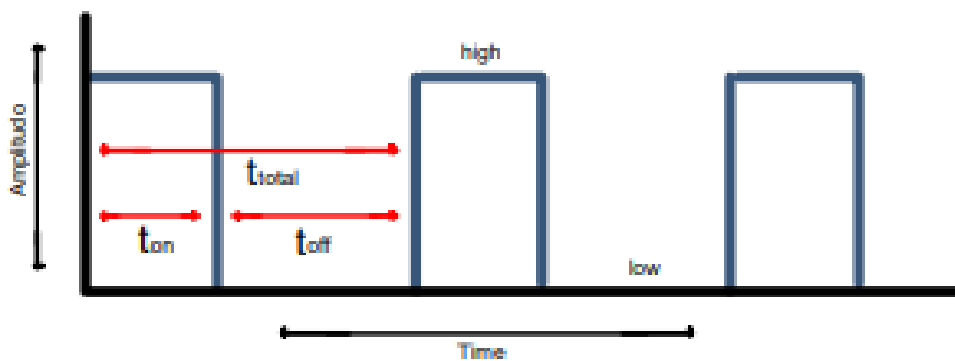
<i>Input Voltage</i>	6V – 27V
<i>Model</i>	IBT-2
<i>Maximum Current</i>	43A
<i>Input Level</i>	3,3V – 5V
<i>Control Mode</i>	PWM or Level
<i>Duty Cycle</i>	0 – 100%

### 2.5 *Pulse Width Modulation (PWM)*

PWM adalah sebuah Teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. PWM ini digunakan untuk menghasilkan sinyal analog dari sebuah perangkat digital seperti mikrokontroler. PWM ini memiliki beberapa jenis teknik dalam pemodulasiannya, seperti Digital PWM, *Programmed PWM*, Sinusoidal PWM (SPWM), dan juga *Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)*.

Lebar pulsa dalam PWM dapat diatur menggunakan *Duty Cycle*. *Duty Cycle* merupakan persentase periode antara sinyal *High* dengan sinyal *Low*, dan persentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan (Budijanto, 2018).

Penjelasan mengenai PWM dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Sinyal PWM

Sumber: (Budijanto, 2018)

Pada Gambar 2.11,  $t_{on}$  merupakan waktu saat tegangan berlogika 1 atau berada pada posisi *High* dan  $t_{off}$  adalah waktu saat tegangan berlogika 0 atau berada pada posisi *Low*. Nilai *Duty Cycle* dapat didefinisikan dengan persamaan:



$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-3)$$

## 2.6 Sensor Water Flow



**Gambar 2.12** Sensor *Water Flow*

Sensor *Water Flow* seperti pada Gambar 2.12 adalah sensor yang mendeteksi aliran air pada saat melewati sensor tersebut. . Sensor ini terdiri dari *body* katup plastik, rotor air, dan sensor *hall-effect*. Ketika air mengalir melewati rotor, rotor akan berputar. Kecepatan putaran ini akan tergantung dengan kecepatan atau besarnya aliran air yang melewati sensor tersebut. Sensor ini tidak akan menghasilkan tegangan apabila sensor belum dialiri air atau belum bekerja dan baru akan menghasilkan tegangan ketika sensor telah dialiri air. Sensor *hall-effect* yang terdapat dalam sensor *water flow* tersebut akan mengeluarkan output pulsa sesuai dengan besarnya aliran air. Spesifikasi dari sensor *water flow* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Spesifikasi Sensor *Water Flow*

<b>Tegangan</b>	5 – 24V DC
<b>Arus maksimum</b>	15 mA
<b>Berat</b>	43g
<b>Operasi kelembaban</b>	35 – 90% RH
<b>Operasi tekanan air</b>	< 1,75 Mpa
<b>Rentang debit</b>	1 – 30L/min

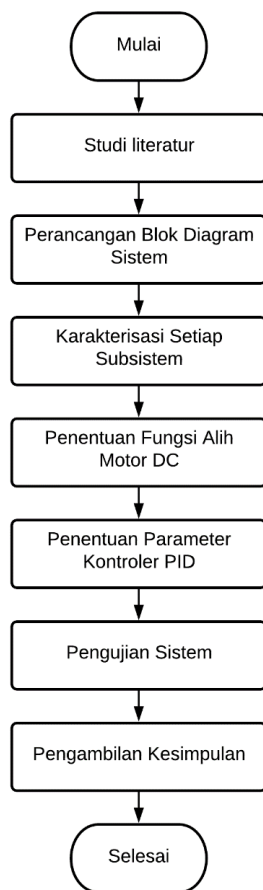


(Halaman ini sengaja dikosongkan)



### BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan informasi dengan tujuan tertentu. Pada bab ini bertujuan untuk merancang suatu sistem pengendalian kecepatan motor pompa air menggunakan kontroler PID yang bertujuan untuk mendapatkan performansi sistem yang diharapkan. Penyelesaian rumusan masalah dalam penelitian ini ada beberapa tahapan, yaitu studi literatur, perancangan blok diagram sistem, karakterisasi setiap subsistem, penentuan fungsi alih motor DC, penentuan parameter kontroler PID, pengujian sistem, pengambilan kesimpulan. Adapun diagram alir metodologi tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metode Penelitian  
Sumber: (Penulis, 2021)

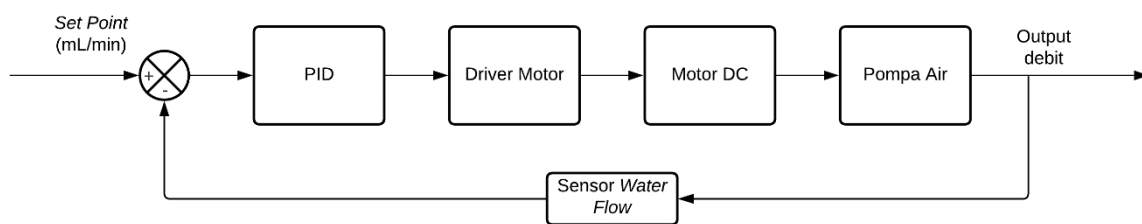
#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi dan pemahaman tentang konsep dan teori yang digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian penelitian ini. Studi literatur pada penelitian ini meliputi teori-teori mengenai motor DC,

kontroler PID, serta metode tuning PID. Penulis menggunakan acuan buku, jurnal, skripsi, dan internet untuk tahap ini.

### 3.2 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem kontrol motor pompa air DC ini menjelaskan ketika sistem diberi *setpoint* tertentu menggunakan arduino, maka *setpoint* tersebut dikirimkan ke motor DC melalui *driver* motor agar menggerakkan pompa untuk mengalirkan air. Setelah itu, *output* akan dibaca dengan sensor *water flow* untuk melihat *error* yang terjadi. Apabila terjadi *error*, kontroler PID akan menghilangkannya agar keluaran dari sistem sesuai dengan *setpoint* yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Blok Diagram Sistem  
Sumber: (Penulis, 2021)

### 3.3 Karakterisasi Motor DC

Pada bagian ini diuraikan tentang bagaimana memperoleh karakteristik perubahan tegangan input motor DC terhadap perubahan debit keluaran motor pompa air DC. Tegangan masukan diubah menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan jangka nilai dari 0-255 pada program arduino. Peralatan yang digunakan pada penelitian untuk menentukan karakterisasi motor DC antara lain:

1. Motor DC 365b-7
2. Power Supply 12V
3. Mikrokontroler Arduino Uno
4. Driver motor BTS7960
5. Sensor *Water Flow*
6. Laptop
7. Software Arduino IDE

Adapun prosedur percobaan untuk menentukan karakterisasi motor DC antara lain:



1. Pin VCC, R\_EN, dan L\_EN pada driver motor dihubungkan pada pin VIN pada mikrokontroler Arduino UNO. Lalu, pin GND pada *driver* motor dihubungkan pada pin GND pada mikrokontroler Arduino UNO.
2. Pin M+ dan M- pada driver motor dihubungkan dengan motor DC 365b-7 dan pin B+ dan B- pada driver motor dihubungkan dengan *power supply* 12V DC.
3. Nilai PWM diubah sesuai dengan Tabel 3.1 pada *software* Arduino IDE.
4. Debit keluaran diukur selama satu menit menggunakan sensor *water flow*
5. Hasil pengujian motor pompa air DC dicatat dalam tabel 4.1 pada bab Hasil dan Pembahasan

**Tabel 3.1** Data Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM

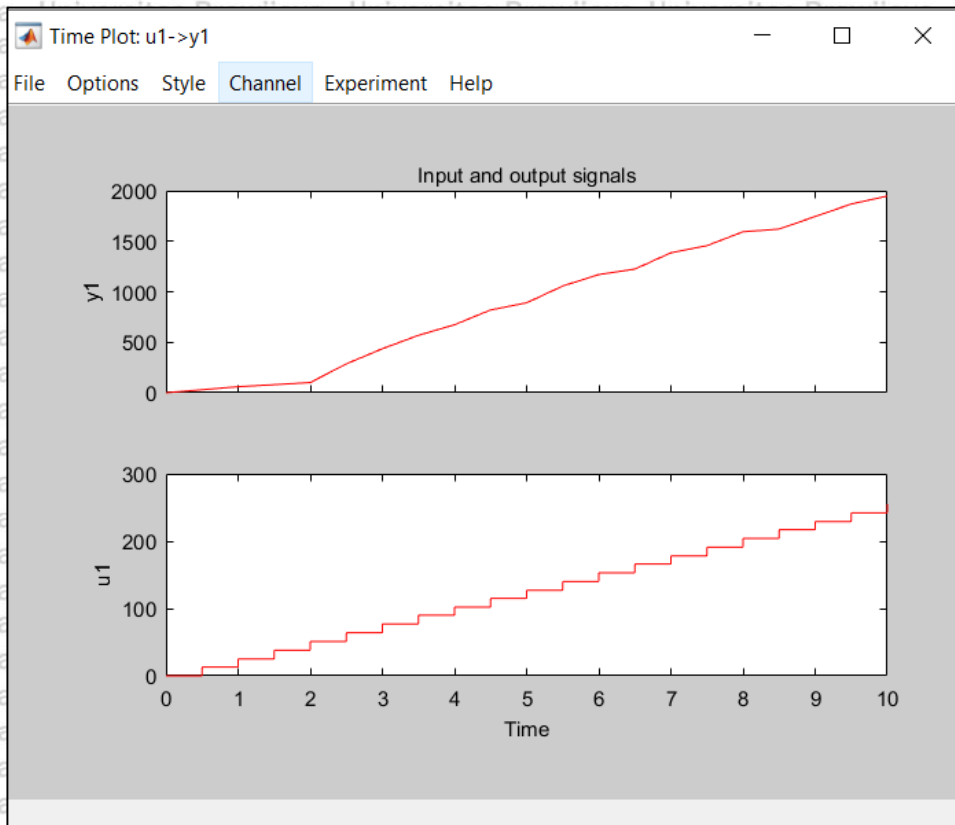
Duty Cycle (%)	PWM
0	0
5	13
10	25
15	38
20	51
25	64
30	77
35	90
40	102
45	115
50	127
55	140
60	153
65	166
70	178
75	191
80	204
85	217
90	229
95	242
100	255

### 3.4 Penentuan Fungsi Alih Motor DC

Pada penelitian ini, motor pompa air DC belum diketahui fungsi alihnya. Parameter kontroler PID ditentukan setelah fungsi alih dari motor pompa air DC didapatkan, dengan demikian perlu dicari terlebih dahulu fungsi alih motor DC. Fungsi alih didapatkan dari dengan pemodelan menggunakan *System Identification Toolbox* pada MATLAB. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan fungsi alih motor DC sebagai berikut:

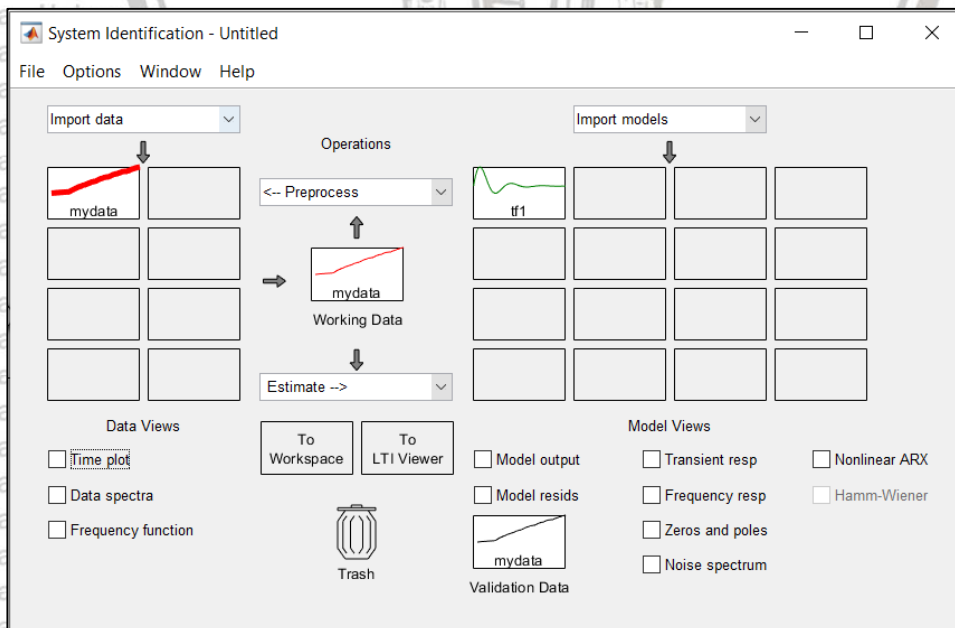
1. Mencari keluaran motor DC dari masukan berupa PWM yang diatur seperti Tabel 3.1.

2. Setelah didapatkan data masukan dan keluaran, selanjutnya data di-import ke MATLAB.



Gambar 3.3 Masukan dan Keluaran Motor Pompa Air DC

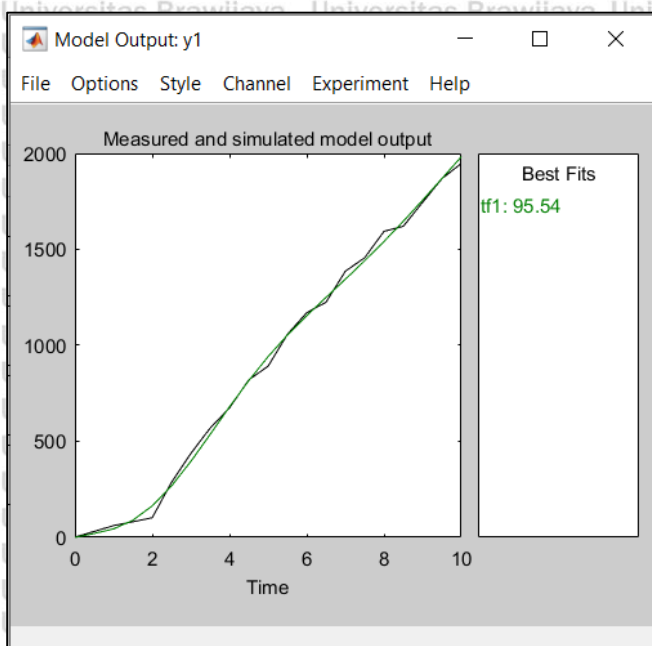
3. Data Keluaran dari motor yang didapatkan dari masukan berupa PWM. Kemudian di-import pada block *System Identification Toolbox* seperti dalam Gambar 3.4



Gambar 3.4 System Identification Toolbox



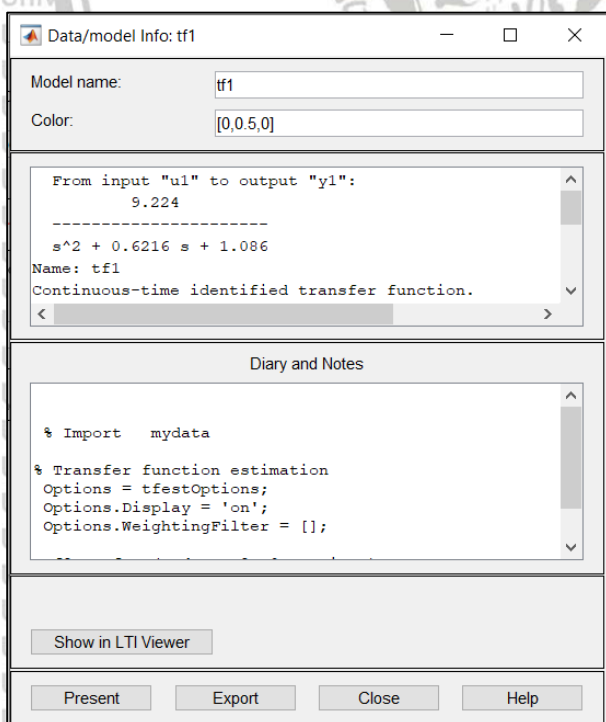
4. Setelah melakukan estimasi model berdasarkan data yang didapatkan, didapatkan fungsi alih motor pompa air DC dengan *best fits* sebesar 95,54% seperti Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Hasil Estimasi Model

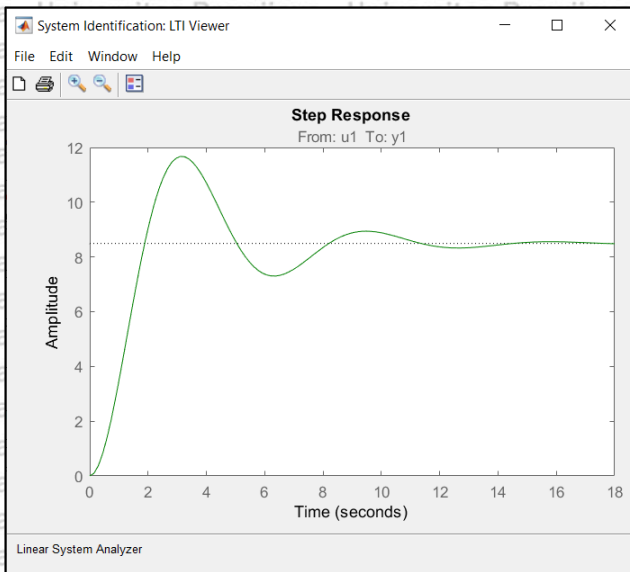
Fungsi alih dari hasil estimasi motor DC berdasarkan *input* dan *output* dapat dilihat dalam Gambar 3.6. Pada Gambar 3.6 diperoleh fungsi alih motor DC adalah:

$$\frac{\hat{\theta}(s)}{U(s)} = \frac{9,224}{s^2 + 0.6216 s + 1.086} \dots \dots \dots (3-1)$$



**Gambar 3.6** Model Fungsi Alih Motor DC

Selanjutnya fungsi alih tersebut diberi masukan berupa *unit step* untuk melihat respon keluaran dari fungsi alih yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.

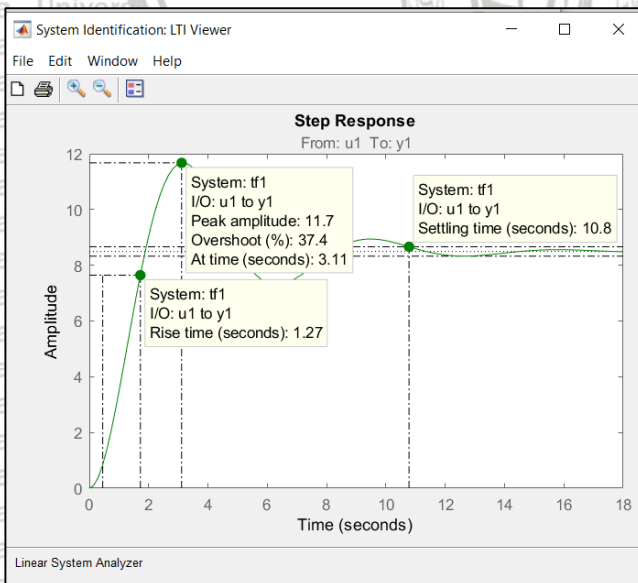


Gambar 3.7 Step Response dari Fungsi Alih

### 3.5 Penentuan Parameter Kontroler PID dengan PID Tuner pada MATLAB

Pada penelitian ini untuk menentukan parameter dari kontroler PID akan menggunakan *toolbox* pada MATLAB yaitu *PID Tuner*. Langkah-langkah untuk mendapatkan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  dengan *PID Tuner* adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan fungsi alih dari motor pompa air DC dengan menggunakan *toolbox* yang ada pada MATLAB.
2. Fungsi alih di-*import* pada *toolbox* *PID Tuner*.
3. Setelah itu respon dari motor pompa air akan muncul. Pada penelitian ini respon sistem ditunjukkan pada Gambar 3.8.

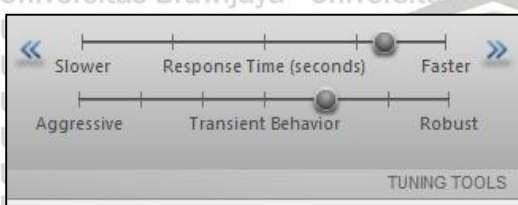


Gambar 3.8 Respon Sistem



Pada Gambar 3.8 dapat dilihat sistem memiliki *rise time* sebesar 1,27 detik, *settling time* sebesar 10,8 detik dan terdapat *overshoot* sebesar 37,4%. Sedangkan untuk performansi sistem yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Sistem memiliki nilai *rise time* kurang dari 1 detik
2. *Settling time* pada sistem kurang dari 5 detik
3. *Overshoot* tidak lebih dari 20%
4. Langkah selanjutnya adalah mengatur nilai *response time* dan *transient behavior* yang diinginkan dengan menggunakan *tuning tools* seperti pada Gambar 3.9. Maka, didapat parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.



**Gambar 3.9** Tuning Tools

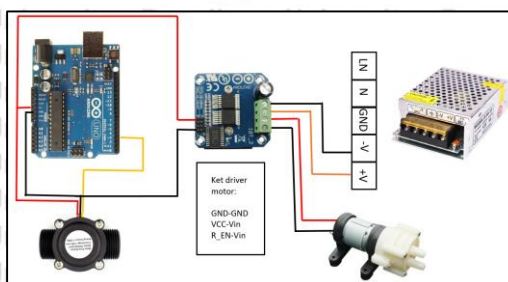
**Tabel 3.2** Parameter Kontroler

Parameter	Nilai
Kp	3,156
Ki	1,0796
Kd	2,3066

Setelah dilakukan *tuning* menggunakan PID Tuner, kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem yang diberi kontroler PID dengan cara memberi masukan unit *step* pada sistem *open-loop*.

### 3.6 Perangkat Keras

Komponen perangkat keras yang digunakan terdiri dari *power supply* 220V AC to 12V DC, motor pompa air tipe 365B7 12V DC, arduino UNO, sensor *water flow*, driver motor H-Bridge BTS7960, dan kabel penghubung. *Wiring diagram* pada perangkat keras sistem dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Perangkat Keras Sistem





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui sistem yang dirancang sesuai dengan yang ditentukan dan mengamati respon sistem yang terjadi. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM
2. Pengujian sistem *open-loop*
3. Pengujian sistem *closed-loop*

### 4.1 Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM

Pengujian motor pompa air dilakukan untuk melihat keluaran debit air dari pompa berdasarkan variasi tegangan motor. Motor pompa air pada pengujian ini diatur kecepatannya menggunakan variasi tegangan PWM. Setelah melakukan prosedur pengujian menggunakan data pada Tabel 3.1, didapatkan hasil dari debit keluaran motor pompa air DC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

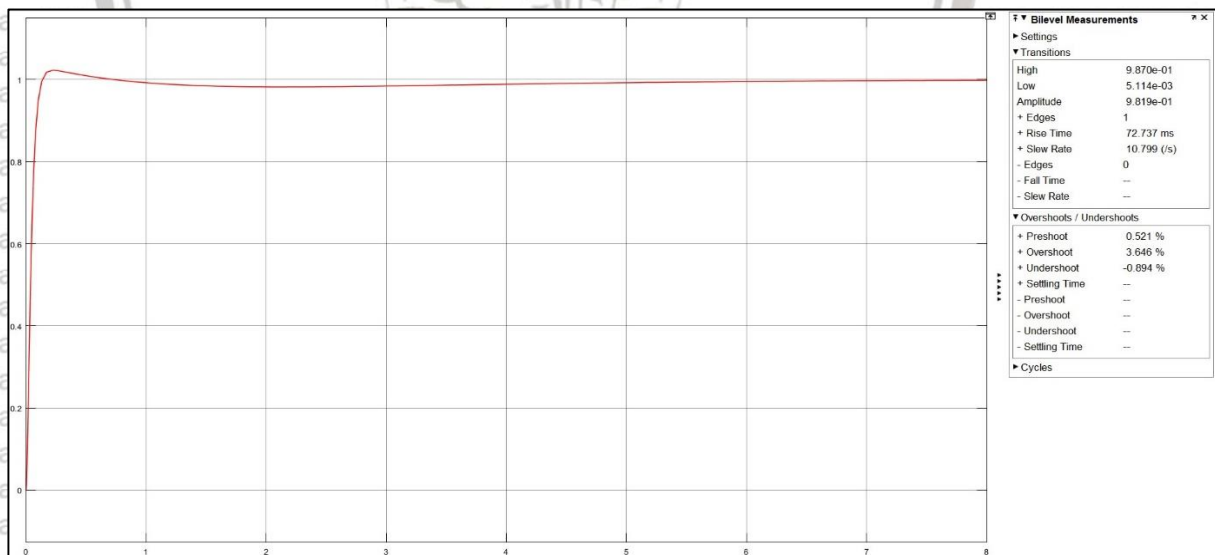
**Tabel 4.1** Hasil Pengujian Motor Pompa Air dengan PWM

Duty Cycle (%)	PWM	Debit (mL/min)
0	0	0
5	13	0
10	25	0
15	38	0
20	51	101,1
25	64	285,9
30	77	436,2
35	90	568,5
40	102	673,5
45	115	819,9
50	127	891
55	140	1056,9
60	153	1170
65	166	1224,6
70	178	1386
75	191	1456,5
80	204	1593,9
85	217	1620,6
90	229	1745,1
95	242	1868,7
100	255	1947,6

Tabel 4.1 menunjukkan debit keluaran dari motor pompa air DC yang diberi masukan tegangan secara bertahap hingga 12V. Pada PWM sebesar 51 motor pompa air DC mulai mengalirkan air, sedangkan pada PWM 0 – 38 motor pompa air DC tidak mengalirkan air, yang disebabkan oleh kecilnya arus yang mengalir pada rotor yang mengakibatkan motor tidak memiliki cukup gaya untuk memutar rotor. Dari Tabel 4.1, debit keluaran maksimal dengan tegangan 12V adalah sebesar 1947,6 mL/min, sedangkan pada spesifikasi motor debit keluaran maksimal sebesar 2000 mL/min. Maka, motor pompa air DC mempunyai *error* sebesar 2,65%.

#### 4.2 Pengujian Sistem *Open-loop*

Setelah dilakukan *tuning* menggunakan PID *Tuner*, selanjutnya perlu dilakukan pengujian sistem pada kondisi *open-loop*. Hal ini dilakukan untuk melihat respon sistem saat diberi sinyal *unit step* agar sesuai dengan yang diinginkan. Setelah sistem diberi sinyal *unit step*, didapatkan nilai *rise time* sebesar 0.072 detik, *settling time* sebesar 0.146 detik, *overshoot* sebesar 3,64%, dan *error steady state* 2%. Hasil dari pengujian terhadap sistem menggunakan kontroler PID dengan memberi masukan *unit step* pada sistem dapat dilihat pada Gambar 4.1.



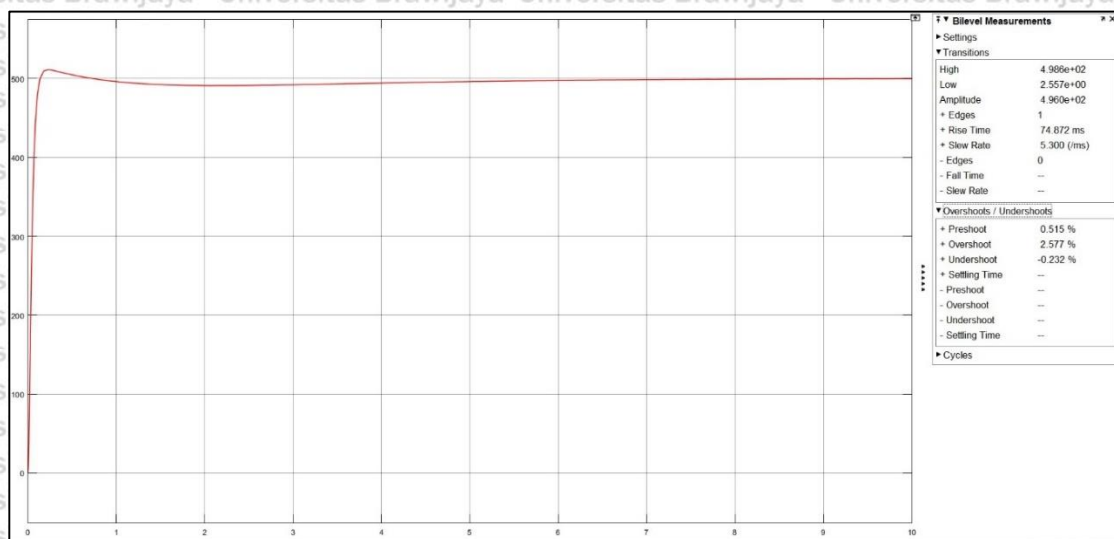
Gambar 4.1 Respon sistem menggunakan Kontroler PID dengan masukan *unit step*

#### 4.3 Pengujian Sistem *Closed-loop*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem ketika dalam kondisi *closed-loop*. *Setpoint* yang ditentukan dalam pengujian ini adalah 500, 1000, 1500, 2000 mL/min. Tujuan dari pengujian ini untuk melihat respon sistem ketika diberi nilai *setpoint* yang berbeda. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada sub-bab 4.3.1 – 4.3.4.



### 4.3.1 Respon Sistem dengan Setpoint 500 mL/min

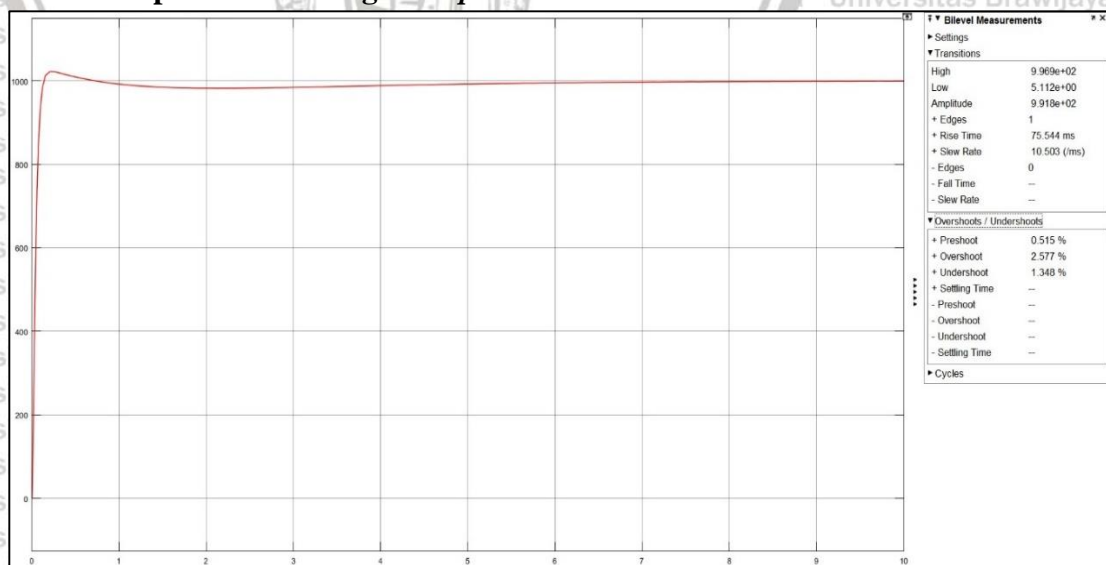


Gambar 4.2 Respon sistem dengan setpoint 500 mL/min

Gambar 4.2 merupakan respon sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva keluaran debit air terhadap waktu dengan setpoint 500 mL/min. Dari pengujian ini didapatkan nilai overshoot sebesar 2,5%, rise time sebesar 0,074 detik, settling time sebesar 0,146 detik, dan nilai error steady state sebesar 0,8%. Nilai error steady state didapatkan dengan mencari nilai rata-rata debit keluaran dengan setpoint yang ditentukan.

$$e_{ss} (\%) = \frac{|496 - 500|}{500} \times 100 \% = 0,8 \%$$

### 4.3.2 Respon Sistem dengan Setpoint 1000 mL/min



Gambar 4.3 Respon sistem dengan setpoint 1000 mL/min

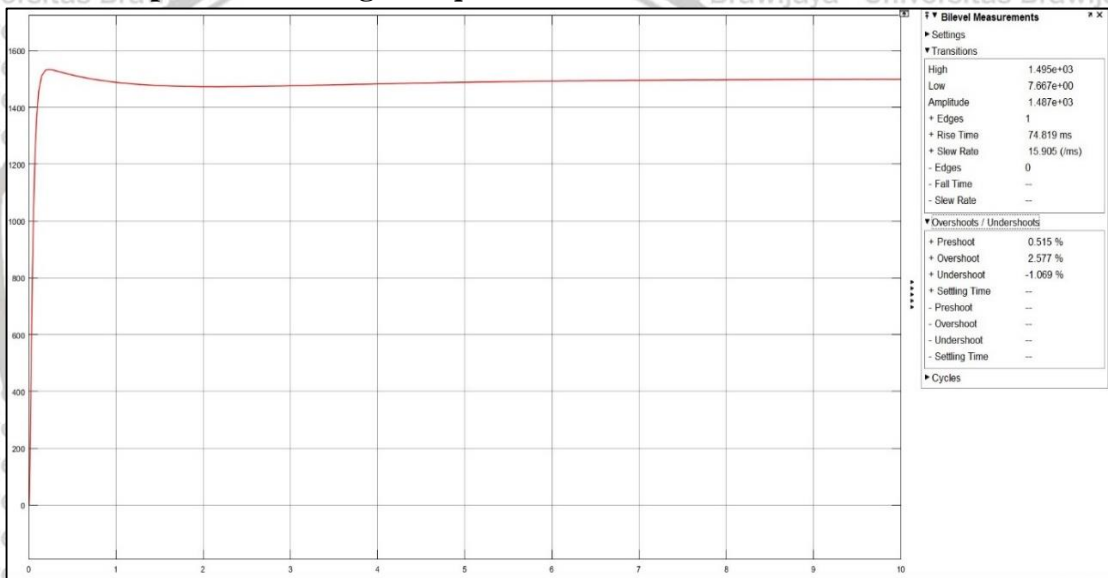
Gambar 4.3 merupakan respon sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva keluaran debit air terhadap waktu dengan setpoint 1000 mL/min. Dari pengujian ini

didapatkan nilai *overshoot* sebesar 2,5%, *rise time* sebesar 0.075 detik, *settling time* sebesar 0,146 detik, dan nilai *error steady state* sebesar 0,82%. Nilai *error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata debit keluaran dengan *setpoint* yang ditentukan.

$$e_{ss} (\%) = \frac{|991,8 - 1000|}{1000} \times 100 \% = 0,82 \%$$

Nilai *error steady state* pada *setpoint* 1000 mL/min sedikit berbeda dengan 500 mL/min. Terdapat perbedaan *error steady state* sebesar 0,02%. Namun, hal ini tidak terlalu mempengaruhi dari performansi sistem dan sistem masih dianggap baik.

#### 4.3.3 Respon Sistem dengan *Setpoint* 1500 mL/min



**Gambar 4.4** Respon sistem dengan *setpoint* 1500 mL/min

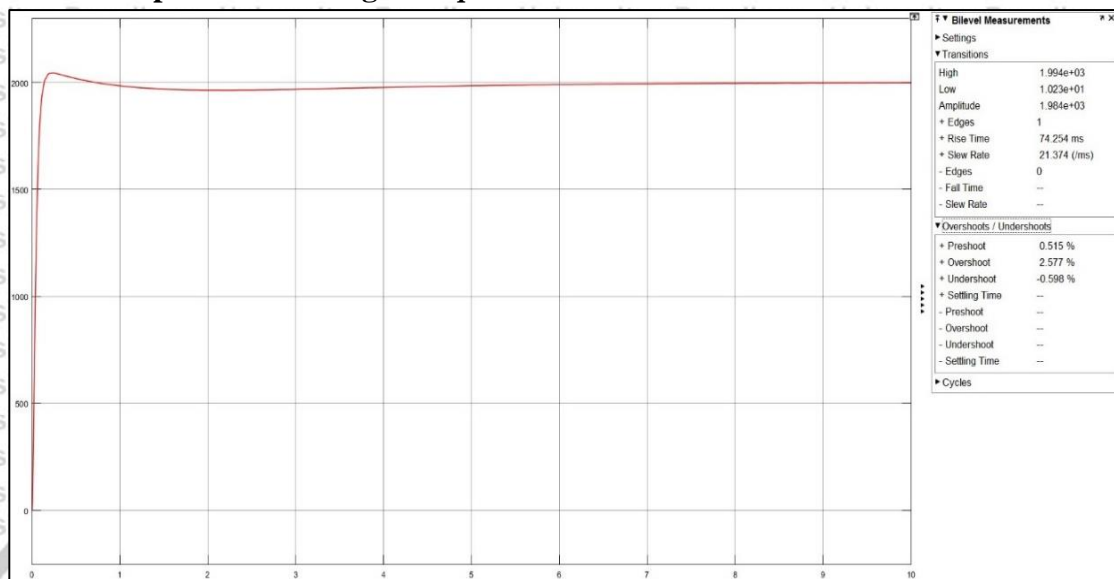
Gambar 4.4 merupakan respon sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva keluaran debit air terhadap waktu dengan *setpoint* 1500 mL/min. Dari pengujian ini didapatkan nilai *overshoot* sebesar 2,5%, *rise time* sebesar 0.074 detik, *settling time* sebesar 0,146 detik, dan nilai *error steady state* sebesar 0,86%. Nilai *error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata debit keluaran dengan *setpoint* yang ditentukan.

$$e_{ss} (\%) = \frac{|1487 - 1500|}{1500} \times 100 \% = 0,86 \%$$



Nilai *error steady state* pada setpoint 1500 mL/min sedikit berbeda dengan 1000 mL/min. Terdapat perbedaan *error steady state* sebesar 0,04%. Namun, hal ini tidak terlalu mempengaruhi dari performansi sistem dan sistem masih dianggap baik.

#### 4.3.4 Respon Sistem dengan Setpoint 2000 mL/min



**Gambar 4.5** Respon sistem dengan setpoint 2000 mL/min

Gambar 4.5 merupakan respon sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva keluaran debit air terhadap waktu dengan setpoint 2000 mL/min. Dari pengujian ini didapatkan nilai *overshoot* sebesar 2,5%, *rise time* sebesar 0,074 detik, *settling time* sebesar 0,146 detik, dan nilai *error steady state* sebesar 0,8%. Nilai *error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata debit keluaran dengan setpoint yang ditentukan.

$$e_{ss} (\%) = \frac{|1984 - 2000|}{2000} \times 100 \% = 0,8 \%$$

Nilai *error steady state* pada setpoint 2000 mL/min sedikit lebih baik dibandingkan dengan setpoint 1000 dan 1500 mL/min. Namun, hal ini tidak terlalu mempengaruhi dari performansi sistem dan sistem masih dianggap baik.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Performansi sistem dengan menggunakan kontroler PID memiliki nilai *rise time* sebesar 0.0946 detik, *settling time* sebesar 0.146 detik, dan *overshoot* sebesar 1.96% dengan nilai parameter  $K_p$  3,156,  $K_i$  1,0796, dan  $K_d$  2,3066. Sedangkan performansi sistem tanpa menggunakan kontroler PID memiliki nilai *rise time* sebesar 1.27 detik, *settling time* sebesar 10.8 detik, dan *overshoot* sebesar 37.4%
2. Performansi sistem *closed-loop* sudah sesuai dengan spesifikasi desain yang diinginkan.
3. Perubahan nilai *setpoint* dari 500 – 2000 mL/min tidak mempengaruhi performansi sistem

### 5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Diperlukan parameter dari kontroler dengan metode yang lebih akurat dalam penentuannya sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan.
2. Diperlukan pengukuran nilai resistansi dan induktansi belitan pada motor pompa air DC agar hasil simulasi lebih akurat.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR PUSTAKA

- Andreas, A., Priyandoko, G., & Mukhsim, M. (2020). Kendali Kecepatan Motor Pompa Air DC Menggunakan PID-CSA Berdasarkan Debit Air Berbasis Arduino. *Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 1-14.
- Badan Pusat Statistik. (2020, Februari 4). *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2019*. Retrieved from Badan Pusat Statistik: [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)
- Baharuddin, Sadjad, R., & Tola, M. (2012). SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS PWM (Pulse Width Modulation).
- Budijanto, A. (2018). Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Robot Line Follower menggunakan Pulse Width Modulation (PWM). *Senasif*, 1162-1169.
- Dhokal, P. S. (2006). *Basic Electrical Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Modern Control Systems*. New Jersey: Pearson Education.
- El-Hawary, M. E. (2002). *Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications*. New York: A John Wiley & Sons.
- Gent, M. (2016). *Effect of Temperature on Composition of Hydroponic Lettuce*. New Haven: Acta Hort.
- Karoba, F., Suryani, & Nurjismi, R. (2015). Pengaruh Perbedaan pH terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae*) Sistem Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). Vol.7, p-529.
- Lubis, D. S., Hanafiah, A. S., & Sembiring, M. (2015). Pengaruh pH Terhadap Pembentukan Bintil Akar, Serapan Hara N, P dan Produksi Tanaman pada Beberapa Varietas Kedelai pada Tanah Inseptisol Di Rumah Kasa. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1111-1115.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. New Jersey: Pearson Education.
- Rokhmah, N. N. (2018). *Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode PID Berbasis Arduino Uno*. Cimahi: Tidak dipublikasi.
- Rosliani, R., & Sumarni, N. (2005). *Budidaya Tanaman Sayuran dengan Sistem Hidroponik*. Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran.

Sen, P. C. (2014). *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Yudaningtyas, E. (2017). *Belajar Sistem Kontrol Soal dan Pembahasan*. Malang: UB Press.





# LAMPIRAN

## Lampiran 1. *Data Sheet* Arduino UNO

Arduino UNO

Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Enviroment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Enviromental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7

# Technical Specification

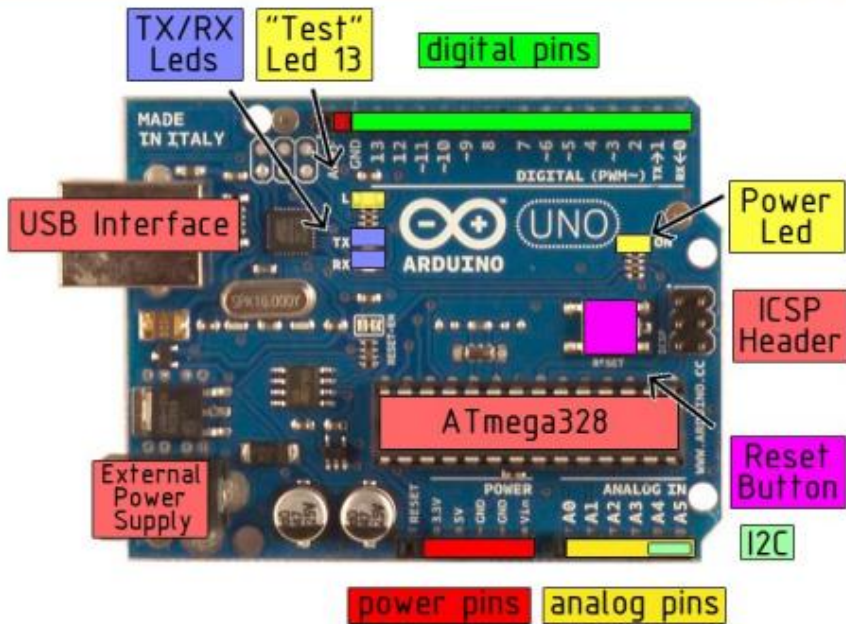


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



radiospares

RADIONICS





## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares

RADIONICS



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an \*.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I<sup>2</sup>C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I<sup>2</sup>C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



**radiospares**

**RADIONICS**













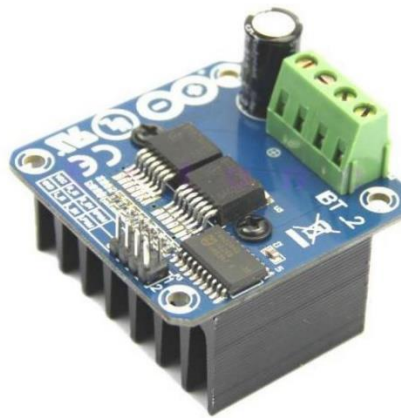
Lampiran 2. *Data Sheet Driver Motor BTS7960*

# Handson Technology

User Guide

## BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver

The BTS7960 is a fully integrated high current H bridge module for motor drive applications. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit. The BTS7960 provides a cost optimized solution for protected high current PWM motor drives with very low board space consumption.



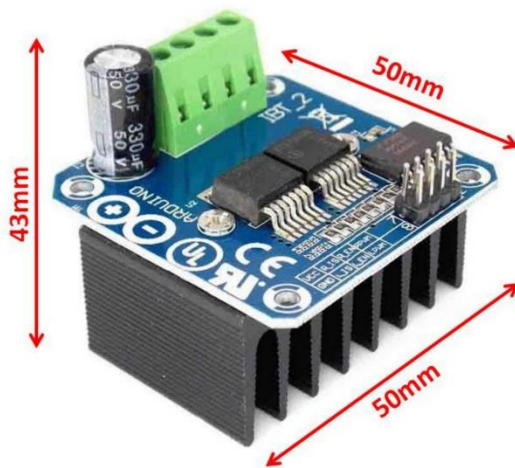
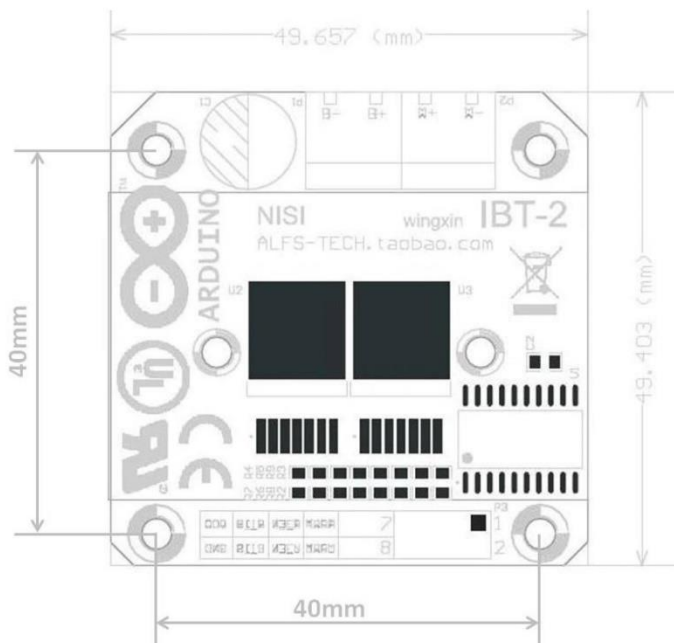
**SKU: [DRV-1012](#)**

### Brief Data:

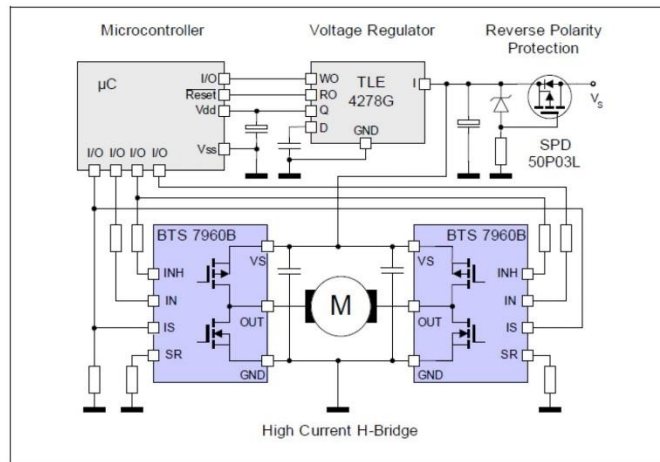
- Input Voltage: 6 ~ 27Vdc.
- Driver: Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
- Peak current: 43-Amp.
- PWM capability of up to 25 kHz.
- Control Input Level: 3.3~5V.
- Control Mode: PWM or level
- Working Duty Cycle: 0 ~100%.
- Over-voltage Lock Out.
- Under-voltage Shut Down.
- Board Size (LxWxH): 50mm x 50mm x 43mm.
- Weight: ~66g.



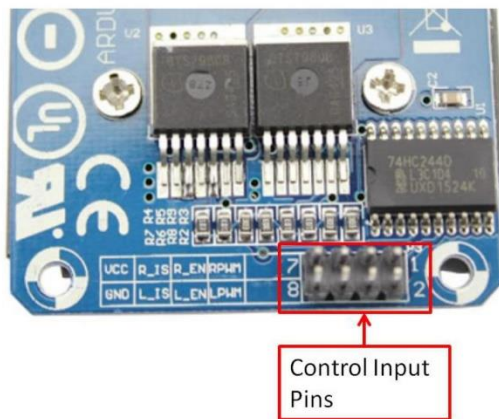
**Mechanical Dimension:**



**Schematic Diagram:**



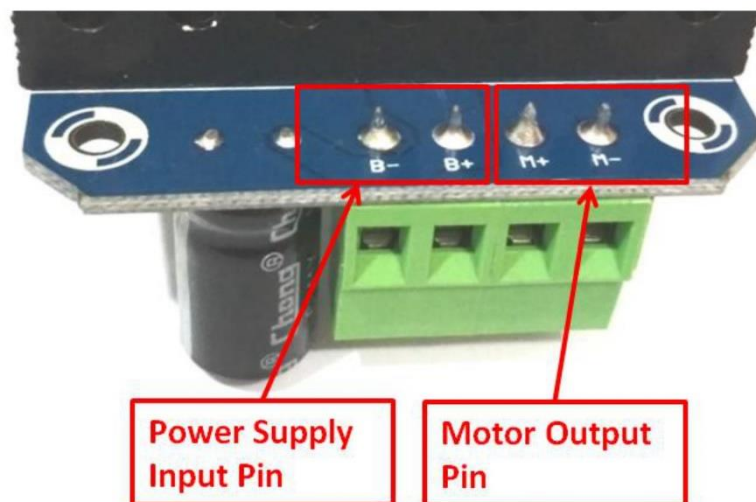
**Control Input Pin Function:**



Pin No	Function	Description
1	RPWM	Forward Level or PWM signal, Active High
2	LPWM	Reverse Level or PWM signal, Active High
3	R_EN	Forward Drive Enable Input, Active High/ Low Disable
4	L_EN	Reverse Drive Enable Input, Active High/Low Disable
5	R_IS	Forward Drive, Side current alarm output
6	L_IS	Reverse Drive, Side current alarm output
7	Vcc	+5V Power Supply microcontroller
8	Gnd	Ground Power Supply microcontroller



### Motor Power Supply & Output Pin Assignment:



Pin No	Function	Description
1	B+	Positive Motor Power Supply. 6 ~ 27VDC
2	B-	Negative Motor Power Supply. Ground
3	M+	Motor Output +
4	M-	Motor Output -

### Controlling DC Motor with BTS7960 Using Arduino:

Below is the circuit connection using BTS7960 high power driver to control one DC motor with Arduino board. The potentiometer allows the control of motor speed and rotation direction of the motor.





Lampiran 3. Data Sheet sensor Water Flow YF-S201

**MODEL: YF-S201**

**Description:**

Water flow sensor consists of a plastic valve body, a water rotor, and a hall-effect sensor. When water flows through the rotor, rotor rolls. Its speed changes with different rate of flow. The hall-effect sensor outputs the corresponding pulse signal. This one is suitable to detect flow in water dispenser or coffee machine. We have a comprehensive line of water flow sensors in different diameters. Check them out to find the one that meets your need most.

**Features:**

- Compact, Easy to Install
- High Sealing Performance
- High Quality Hall Effect Sensor
- RoHS Compliant

**Specifications:**

- Working Voltage: DC 4.5V~24V
- Normal Voltage: DC 5V~18V
- Max. Working Current: 15mA (DC 5V)
- Load capacity: ≤ 10 mA (DC 5V)
- Flow Rate Range: 1~30L/min
- Load Capacity: ≤ 10mA (DC 5V)
- Operating Temperature: ≤ 80°C
- Liquid Temperature: ≤ 120°C
- Operating Humidity: 35%~90%RH
- Allowing Pressure: ≤ 1.75MPa
- Storage Temperature: -25~+ 80°C
- Storage Humidity: 25%~95%RH
- Electric strength 1250V/min
- Insulation resistance ≥ 100MΩ
- External threads: 1/2"
- Outer diameter: 20mm
- Intake diameter: 9mm
- Outlet diameter: 12mm



**Application:**

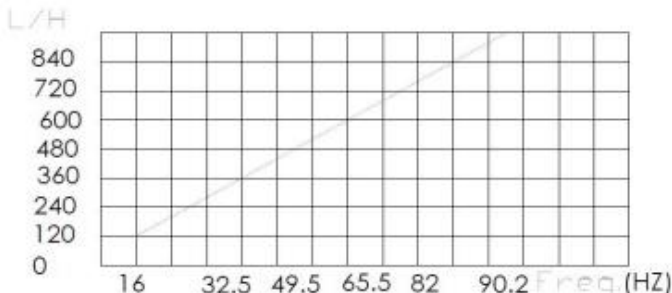
Water heaters, credit card machines, water vending machine, flow measurement device!

**Circuit:**

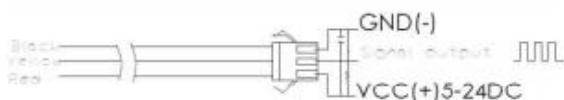
- Red: Positive
- Black: GND
- Yellow: Output signal

Flow Range: 100L/H/1800H-L/H

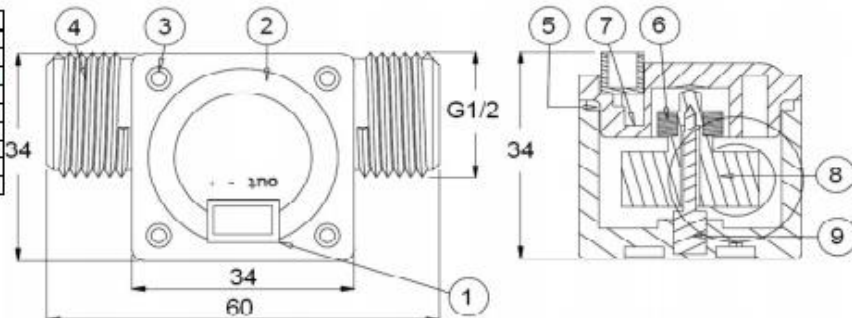
Flow (L/H)	Frezq (Hz)	Erro range
120	16	±10
240	32.5	
360	49.3	5%
480	65.5	
600	82	
720	90.2	



**Connection method:**



N°	Item	Material
1	Wire	PVC
2	Bonnet	PA
3	Screw	Zinc Plated
4	Valve Body	PA
5	Press Valve	
6	Magnet	
7	Hall	
8	Impeller	POM
9	Steel Sharft	SUS304



Closed