



TUGAS AKHIR - TE 141599

KONTROL LAJU ALIR POMPA AIR BERPENGGERAK *BRUSHLESS DC MOTOR*

Arista Ainurrohmah
NRP 07111645000076

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

***FLOW RATE CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTORIZED
WATER PUMP***

Arista Ainurrohmah
NRP 07111645000076

Advisor
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Kontrol Laju Alir Pompa Air Berpenggerak *Brushless DC Motor***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 25 Juni 2018



Arista Ajurrohmah
NRP 07111645000076

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**KONTROL LAJU ALIR POMPA AIR BERPENGERAK
BRUSHLESS DC MOTOR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
NIP. 196904261994031003

Ir. Tasripan, MT.
NIP. 196204181990031004



JULI, 2018

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KONTROL LAJU ALIR POMPA AIR BERPENGERAK *BRUSHLESS DC MOTOR*

Nama : Arista Ainurrohmah
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Tasripan, MT.

ABSTRAK

Saat ini telah banyak dikembangkan sistem irigasi menggunakan tenaga matahari. Hal ini lebih diminati karena memanfaatkan energi alternatif dari alam. Namun penggunaan energi tersebut tidak efektif, karena pada sistem irigasinya masih menggunakan pompa air listrik berpengerak motor induksi yang membutuhkan arus bolak-balik (AC). Sehingga dibutuhkan inverter untuk mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan AC. Maka pada penelitian telah dilakukan rancang bangun untuk mengontrol laju aliran pompa air berpengerak *Brushless DC motor (BLDC)*. Laju alir pompa air dibuat konstan dengan mengatur kecepatan putar motor BLDC menggunakan kontrol *Proportional-Integral-Derivative (PID)* yang terdeteksi dari sensor *hall-effect*. Laju alir pompa air akan terbaca oleh sensor *flow rate* yang kemudian akan dibandingkan nilainya dengan nilai yang telah ditentukan sebagai nilai *setpoint*. Sistem ini akan diintegrasikan menggunakan mikrokontroler Arduino Due. Pada hasil pengujian keseluruhan sistem menggunakan PID, apabila diberikan beban berupa putaran kran pada sistem, didapatkan laju aliran air yang stabil dan mendekati nilai *setpoint* yaitu dengan nilai *error* minimum 0% dan *error* maksimum 2.8%, serta rata – rata *error* nya mencapai 0.9%. Sehingga didapatkan laju aliran air yang konstan mendekati nilai *setpoint*, ketika putaran motor BLDC telah mencapai keadaan *steady*.

Kata Kunci: Arduino Due, Kontroler PID, Motor BLDC, Sensor Water Flow, Ziegler Nichols

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

FLOW RATE CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTORIZED WATER PUMP

Name : Arista Ainurrohmah
Advisor : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Tasripan, MT.

ABSTRACT

Nowadays, many irrigation systems have been developed using solar power. This is more desirable because it utilizes alternative energy from nature. But the use of energy is not effective, because the irrigation system is still using an electric water pump which driven induction motors that require alternating current (AC). So it takes an inverter to convert DC voltage into AC voltage. In this research have been made a system to control the flow rate of Brushless DC motorized water pump (BLDC). The flow rate of the water pump is made constant by adjusting the rotation speed of the BLDC motor using Proportional-Integral-Derivative (PID) control from the hall-effect sensor. The flow rate of the water pump will be read by the flow rate sensor then compare its value to the specific value as the set point value. This system will be integrated using Arduino Due. In the test result the whole system using PID, when the load given in the form of tap rotation on the system, obtained a steady flow rate of water and close to the set point value with a minimum error of 0% and maximum error 2.8%, and the average error reaches 0.9%. So that the water flow rate is constant close to the set point value, when the motor rotation of BLDC has reached steady state.

Keywords: *Arduino DUE, BLDC Motor, PID Controller, Water Flow Sensor, Ziegler Nichols*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Elektronika, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

KONTROL LAJU ALIR POMPA AIR BERPENGGERAK *BRUSHLESS DC MOTOR*

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak semua kendala tersebut dapat diatasi. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih, rasa hormat dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Tasripan, MT. selaku dosen pembimbing mata kuliah Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc., Bapak Totok Mujiono, Ir., M.IKom., Dr.Eng., Bapak Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Dr., dan Bapak Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng, PhD. selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir.
3. Bapak Suwito, ST., MT yang telah membantu penulis dalam merealisasikan penelitian ini.
4. Rekan-rekan Lintas Jalur angkatan 2016 atas momen kekeluargaan dan kerja sama yang luar biasa.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan penelitian ini masih terdapat beberapa kekurangan dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis, walaupun demikian penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi khalayak dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 25 Juni 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB II TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Sensor <i>Water Flow</i>	7
2.3 Brushless DC Motor.....	8
2.3.1 Prinsip Kerja Motor BLDC.....	9
2.3.2 Konstruksi Motor BLDC.....	12
2.4 Kontrol PID.....	14
2.4.1 Kontroler Proporsional.....	15
2.4.2 Kontroler Integral.....	16
2.4.3 Kontroler Derivatif.....	16
2.5 Ziegler Nichols.....	16
2.6 Karakteristik Sistem Orde Pertama.....	18
2.7 Arduino DUE.....	21
2.8 Power Supply.....	21
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	23
3.1 Blok Fungsional Sistem.....	23

3.2	Perancangan Perangkat Mekanik	24
3.3	Perancangan Perangkat Elektrik	26
3.3.1	Rangkaian Modifikasi Analog Output Arduino Due	26
3.3.2	<i>Wiring</i> Mikrokontroler dengan Perangkat Elektrik	28
3.3.3	<i>Wiring</i> Perangkat Kontrol	28
3.4	Perancangan Kendali PID	29
3.5	Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak.....	29
3.5.1	<i>Flowchart</i>	30
3.5.2	Perancangan Program Pada Arduino	34
3.5.3	Perancangan Program Kontrol Laju Alir	36
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....		41
4.1	Cara Kerja Sistem	41
4.2	Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog Output Arduino Due	42
4.3	Pengujian Sensor <i>Water Flow</i>	43
4.4	Karakterisasi Sensor <i>Water Flow</i>	44
4.5	Pengujian Motor BLDC	46
4.6	Pengujian Sistem.....	47
4.6.1	Pengujian Kestabilan Sistem.....	47
4.6.2	Pengujian Efisiensi Sistem.....	49
4.6.3	Pengujian Sistem Tanpa Beban.....	52
4.6.4	Pengujian Sistem Menggunakan Beban	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		63
1.	Desain Board Rangkaian Sistem.....	63
2.	Listing Program Keseluruhan Sistem	64
3.	Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog Output	67
4.	Pengujian Keseluruhan Sistem	67
5.	Dokumentasi Pengujian Sistem	71
6.	Datasheet.....	74
RIWAYAT HIDUP		81

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2. 1 Struktur Dalam <i>Water Flow Sensor</i>	8
Gambar 2. 2 Konstruksi Motor BLDC	9
Gambar 2. 3 Skema Kerja Motor BLDC.....	10
Gambar 2. 4 Urutan Arus pada Motor BLDC	10
Gambar 2. 5 Permanen Magnet Rotor – 4 kutub dan 8 kutub	12
Gambar 2. 6 Stator Motor BLDC.....	13
Gambar 2. 7 Posisi Sensor Hall Effect pada Motor BLDC	13
Gambar 2. 8 Diagram Blok PID.....	14
Gambar 2. 9 Kurva Respon Berbentuk S	17
Gambar 2. 10 Karakteristik Sistem Orde Pertama	18
Gambar 2. 11 Blok AT91SAM3X8E Architecture	20
Gambar 2. 12 Power Supply	22
Gambar 3. 1 Diagram Blok Fungsional Sistem.....	23
Gambar 3. 2 Perancangan Mekanik Sistem Pompa Air	24
Gambar 3. 3 Desain Skematik Board Kontrol Laju Aliran Air	26
Gambar 3. 4 Rangkaian Modifikasi Analog <i>Output</i>	27
Gambar 3. 5 <i>Wiring</i> Mikrokontroler dengan Perangkat Elektrik	28
Gambar 3. 6 <i>Wiring</i> Perangkat Kontrol Laju Alir Pompa.....	28
Gambar 3. 7 Blok Diagram Kontrol PID untuk Debit	29
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> Kontrol Sistem	30
Gambar 3. 9 Tampilan Software Arduino	31
Gambar 3. 10 Tampilan Arduino Ketika Tidak Terjadi <i>Error</i> pada Saat <i>Verify</i> Program	32
Gambar 3. 11 Memilih <i>Board</i> Arduino pada <i>Software</i> Arduino IDE	33
Gambar 3. 12 Memilih <i>Port</i> pada Arduino	33
Gambar 3. 13 Menginstall Arduino Due pada Arduino	34
Gambar 3. 14 Menambahkan <i>Library</i> pada Arduino	34
Gambar 3. 15 Menginisialisasi Pin pada Arduino.....	35
Gambar 3. 16 Program <i>Void Setup</i> pada Arduino	35
Gambar 3. 17 <i>Void Setup</i> yang kosong pada Arduino.....	35
Gambar 3. 18 <i>library</i> pada Program Kontrol Laju Alir Pompa Air	36

Gambar 3. 19 Menginisialisasi Pin dan Variabel pada Program Kontrol Laju Alir Pompa Air.....	37
Gambar 3. 20 Program Penghitungan Pulsa pada Arduino.....	37
Gambar 3. 21 Program Menghitung Kecepatan Aliran Air pada Sensor <i>Water Flow</i>	37
Gambar 3. 22 Deklarasi Parameter untuk Kendali PID	38
Gambar 3. 23 Deklarasi Fungsi myPID.....	38
Gambar 3. 24 Program Kontrol Laju Alir Menggunakan PID.....	39
Gambar 4.1 Hasil Implementasi Sistem Kontrol Laju Alir pompa Air Berpenggerak Brushless DC.....	41
Gambar 4.2 Pengujian Karakterisasi Sensor <i>Water Flow</i>	44
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Sensor <i>Water Flow</i> dengan Pendekatan Polinomial	45
Gambar 4.4 Respon Pengujian Motor BLDC	46
Gambar 4.5 Analisa Respon Motor BLDC Menggunakan Metode Ziegler Nichols	47
Gambar 4.6 Respon Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	48
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Efisiensi Sistem	50
Gambar 4.8 Respon Pengujian Sistem Tanpa Menggunakan PID.....	51
Gambar 4.9 Respon Pengujian Sistem PID	51
Gambar 4.10 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 40 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian.....	54
Gambar 4.11 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 60 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian.....	54
Gambar 4.12 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 40 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian	55
Gambar 4.13 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 60 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian	55

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Karakteristik kontroler proportional, integral, dan derivative	15
Tabel 2.2 Formula Ziegler-Nichols pada Metode Open Loop	17
Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat Sistem	25
Tabel 4. 1 Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog <i>Output</i> Arduino <i>Due</i>	42
Tabel 4. 2 Pengujian Sensor <i>Water Flow</i>	43
Tabel 4. 3 Data Karakterisasi Sensor <i>Water Flow</i>	44
Tabel 4. 4 Parameter K_p , K_i , dan K_d Pada Respon Motor BLDC.....	47
Tabel 4. 5 Pengujian Efisiensi Sistem.....	50
Tabel 4. 6 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID	53
Tabel 4. 7 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID	53

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan bahan alam yang menjadi kebutuhan utama makhluk hidup. Air sebagai media untuk mengangkut zat-zat makanan, serta merupakan sumber energi dan kebutuhan utama untuk berbagai keperluan [1]. Salah satu keperluan makhluk hidup yang menjadikan air sebagai kebutuhan utama yaitu pada bidang pertanian/perkebunan [2]. Pemberian air pada pertanian harus pada kondisi, ruang dan waktu yang tepat atau biasa disebut sistem irigasi [3].

Saat ini sistem irigasi yang banyak dikembangkan yaitu sistem irigasi menggunakan tenaga matahari [4],[5],[6]. Sistem irigasi tersebut dipilih karena matahari merupakan energi yang ramah lingkungan, cocok diletakkan di daerah yang terisolasi listrik dan medan, serta dikarenakan pada umumnya ladang petani berada di daerah yang sulit dijangkau [5]. Radiasi matahari akan dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sebuah alat yang disebut panel surya. Keadaan ini sangat sesuai dengan kondisi negara Indonesia yang merupakan negara tropis dengan tingkat radiasi yang tinggi, sehingga cocok sekali menggunakan tenaga matahari sebagai sumber energi terbarukan [7], [8], [9].

Air untuk sistem irigasi harus dapat dikondisikan agar dapat mengalir sesuai kebutuhan. Sehingga diperlukan sebuah pompa air yang mampu meningkatkan energi kinetik dan potensial pada air. Untuk proses konversi tersebut salah satunya menggunakan pompa air bertenaga listrik. Sistem panel surya memiliki *output* arus searah (DC), sehingga diperlukan pompa air dengan berpengerak motor DC. Karena jika pompa air memiliki arus bolak-balik (AC), masih dibutuhkan inverter untuk mengonversi tenggangannya [4].

Pompa air yang sering digunakan yaitu jenis pompa dengan penggerak motor induksi, hal ini dikarenakan pada motor induksi pemeliharannya mudah dan pengaturannya tidak perlu rangkaian elektronika yang rumit. Tetapi motor ini masih memiliki efisiensi yang rendah. Diantara jenis motor listrik saat ini yang memiliki efisiensi yang paling tinggi adalah *Brushless DC Motor* (BLDC) atau motor DC tanpa sikat.

Dibandingkan dengan motor DC konvensional, motor BLDC memiliki kelebihan antara lain, karakteristik kecepatan dan torsi yang

lebih baik, tanggapan dinamis yang tinggi, efisiensi tinggi, tahan lama dan rendahnya tingkat *noise* dibanding dengan motor induksi dan motor DC konvensional [10]. Jika motor BLDC tersebut dijadikan penggerak pompa air, maka akan diperoleh efisiensi yang lebih tinggi daripada motor DC dan dapat diatur kecepatannya sesuai kebutuhan.

Pada penelitian ini akan dirancang dan diimplementasikan pompa air listrik dengan berpenggerak motor BLDC. Pengaturan kecepatan putar motor BLDC menggunakan kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) yang dikontrol secara *close loop*. Laju alir dari pompa air akan terbaca oleh sensor *water flow* meter. Dimana, nilai keluaran sensor akan dibandingkan dengan nilai *setpoint* dari sistem.

1.2 Permasalahan

Pada penelitian ini yang menjadi permasalahan yaitu:

1. Bagaimana cara mengukur besarnya laju aliran air.
2. Bagaimana cara mengontrol laju alir pada pompa air dengan berpenggerak *brushless DC motor*.
3. Bagaimana pengimplementasian sistem kontrol laju alir pada pompa air berpenggerak *brushless DC motor*.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini yang menjadi batasan masalah yaitu:

1. Motor penggerak menggunakan BLDC *pump* 24 V dengan model DC 50E-24150A.
2. Sensor aliran yang digunakan yaitu *water Hall flow meter sensor* dengan nomor model SUS-44.
3. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Due.
4. Sudut maksimal putaran kran sebagai pengujian beban pada sistem yaitu sebesar 60° .

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan *water Hall flow meter sensor* yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran air.
2. Membuat kontroler PID yang dapat mengatur keluaran sistem agar sesuai dengan kebutuhan dan dapat mencapai *setpoint* yang telah ditentukan.
3. Menggunakan mikrokontroler Arduino Due yang diimplementasikan pada sistem sehingga dapat mengontrol laju

alir pompa air.

1.5 Metodologi Penelitian

Perancangan pompa air berpenggerak motor BLDC, terbagi menjadi empat tahapan, yaitu studi literatur, perancangan sistem, uji coba dan hasil pengujian, serta penyusunan laporan.

Pada tahap studi literatur, dilakukan pencarian literatur buku maupun kumpulan makalah dan jurnal yang mengarah pada topik yang dibahas. Tahapan ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi mengenai prinsip kerja sensor dan sistem secara keseluruhan, serta sejarah sistem yang telah ada sebelumnya.

Selanjutnya pada perancangan sistem, akan dilakukan sebuah perancangan dan pemodelan sistem tersebut, mulai dari bagian sistem elektroniknya sampai ke bagian sistem mekaniknya. Pada tahap kedua ini dibagi menjadi dua yakni *hardware* dan *software*. Pada bagian *hardware* akan dibuat rangkaian kontrol sistem, dan pada bagian *software* akan dibuat program untuk mengontrol keseluruhan sistem melalui *software* Arduino. Kecepatan putar motor BLDC akan diatur dengan menggunakan kontrol PID. Perputaran motor BLDC tersebut akan mengontrol laju aliran air agar sesuai dengan *input* yang diberikan oleh sistem.

Kemudian pada tahap uji coba dan hasil pengujian, akan dilakukan pengujian sistem, menganalisa kesalahan atau kegagalan pada sistem dan mengatasi permasalahan tersebut. Pada tahap ini, menganalisa faktor apa saja yang menyebabkan sistem tidak bekerja sesuai dengan keinginan atau terjadi *error*. pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tiap – tiap *hardware* dan sensor, serta pengujian sistem secara keseluruhan. Pada pengujian *hardware* yaitu pengujian rangkaian kontrol motor BLDC dilakukan pengujian rangkaian modifikasi analog *output*, apakah sudah sesuai dengan kebutuhan sistem atau belum. Begitu pula dengan sensor *water flow* yang akan digunakan, sensor akan diuji melalui pembacaan ADC. Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk mengontrol laju aliran air agar tetap konstan pada berbagai kondisi dan sesuai dengan *input* yang diberikan.

Tahapan yang terakhir yaitu penyusunan laporan. Setelah sistem berhasil dibuat dan berkerja dengan baik tanpa adanya *error*, pengambilan data dan analisa data terpenuhi, maka tahap selanjutnya yaitu penyusunan laporan penelitian. Diharapkan laporan penelitian ini

bermanfaat bagi semua orang, dan dapat dijadikan pedoman dalam melanjutkan dan mengembangkan ide penelitian ini.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan penelitian ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah dan batasannya. Bab ini juga membahas mengenai tujuan penelitian, metodologi, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

Bab II Teori Dasar

Penjelasan mengenai komponen *hardware* maupun *software* pendukung pada sistem kontrol laju aliran air, yang terdiri dari tinjauan pustaka yang mendasari pembuatan sistem, sensor *water flow*, *brushless* DC motor, kontrol PID, Ziegler Nichols, Arduino Due, dan Power Supply.

Bab III Perancangan Sistem

Pembahasan yang dilakukan pada bab ini, mengenai perancangan sistem secara keseluruhan serta prosedur koneksi *hardware* dan *software* sistem yang dibuat. Perancangan *hardware* terdiri dari perancangan mekanik dan rangkaian elektronika dari sistem. Sedangkan pada perancangan *software* terdiri dari *flowchart* dan program untuk mengontrol kerja sistem.

Bab IV Hasil Implementasi Sistem

Hasil dari pengujian sensor dan pengujian sistem secara keseluruhan dibahas secara lengkap pada bab ini.

Bab V Penutup

Pada bagian bab penutup, dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil pengujian.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan menjadi referensi lanjutan dalam merancang pompa air berpengerak motor BLDC dengan menggunakan metode kontrol yang lebih efisien serta dapat bermanfaat bagi para petani agar dapat mengairi lahan pertaniannya secara maksimal.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa teori penunjang yang dipaparkan dalam laporan penelitian ini, diantaranya yaitu tinjauan pustaka, sensor flow meter dan spesifikasinya, motor Brushless DC, kontrol PID, Ziegler Nichols, Arduino Due, serta Power Supply.

2.1 Tinjauan Pustaka

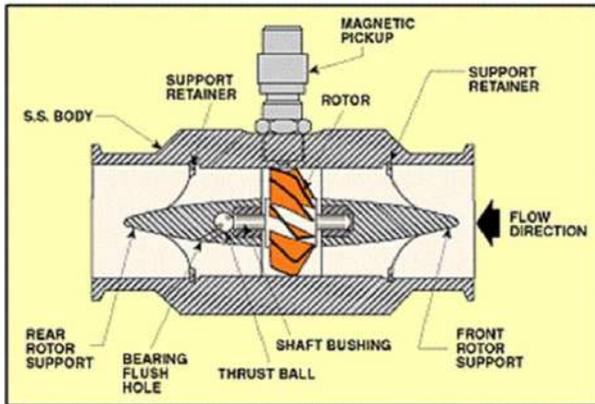
Pada penelitian sebelumnya [4], telah dibuat rancang bangun prototipe sistem pompa air mengambang dengan bertenaga matahari untuk irigasi tanaman. Sistem pompa air tersebut menggunakan motor DC sebagai penggerak pompa air dan menggunakan panel surya sebagai sumber energi untuk sistem. Pada prototipe ini pompa air digunakan untuk mengisi tandon air, apabila ketinggian air dalam tandon turun menjadi 6 cm, maka sensor akan memberikan perintah untuk mengisi tandon dan akan berhenti jika ketinggian telah mencapai 18 cm.

Pada penelitian ini akan dibuat sistem pompa air dengan berpenggerak motor BLDC. Teori dasar yang digunakan seperti pada [4], yaitu pompa air akan menggunakan motor BLDC sebagai motor penggeraknya. Perputaran motor BLDC akan yang akan dikontrol menggunakan kontrol PID. Laju aliran air akan dibuat konstan dengan menggunakan sensor *water flow* sebagai pengukur laju alirannya.

2.2 Sensor Water Flow

laju alir atau *flow rate* merupakan cairan bervolume yang bergerak dalam waktu tertentu. Sensor laju alir yaitu suatu alat yang mendeteksi dan mengukur arus air melalui pipa. Sensor ini menjadi komponen utama dalam sistem irigasi karena berfungsi sebagai pengontrol sistem irigasi. Sensor ini terdiri dari tubuh katup plastik, rotor air, dan sensor *hall-effect*. Ketika air mengalir melewati rotor, rotor akan berputar [11]. Kecepatan putaran akan tergantung dengan besarnya aliran air yang melewati sensor. Dalam sistem ini, sensor *hall-effect* digunakan untuk menghitung arus rotor yang dikelilingi magnet.

Sensor *hall-effect* yang terdapat dalam *water flow* sensor tersebut akan mengeluarkan *output* pulsa sesuai dengan besarnya aliran air [12]. Struktur Dalam *water flow* sensor ditunjukkan pada Gambar 2.1 [12].



Gambar 2.1 Struktur Dalam *Water Flow Sensor*

Kelebihan sensor ini adalah hanya membutuhkan 1 sinyal (SIG), 5V DC dan *Ground*. Selain itu, keuntungan penggunaan *hall-effect* yaitu sensor akan tahan lama dan bekerja dengan kecepatan operasi diatas 100 kHz, berukuran kecil dan pemrosesan sinyalnya berupa digital [12].

Laju alir suatu tergantung pada luas penampang yang dilalui cairan dan kecepatan alir cairan. Jika cairan mengalir melalui pipa maka luas penampangnya sama dengan luas lingkaran pada persamaan (2.1). Sedangkan bila penampangnya berbentuk persegi, maka luas penampangnya akan sama dengan luas persegi pada persamaan (2.2).

$$A = \pi \times r^2 \quad (2.1)$$

$$A = l \times t \quad (2.2)$$

Sehingga laju alir suatu cairan (Q) dapat diukur dalam meter kubik per detik, seperti pada persamaan (2.3).

$$Q (m^3/s) = A(m^2) \times v(m/s) \quad (2.3)$$

2.3 Brushless DC Motor

Brushless Direct Current (BLDC) motor atau yang sering disebut dengan motor DC tanpa sikat merupakan salah satu jenis motor sinkron, artinya medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan rotor berputar di frekuensi yang sama.



Gambar 2.2 Konstruksi Motor BLDC

Motor jenis ini mempunyai permanen magnet pada bagian rotor, sedangkan kumparan jangkar pada bagian statornya. Motor BLDC setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, di mana magnet berputar sedangkan konduktor tetap diam. Dalam komutator motor DC, polaritas ini diubah oleh komutator dan sikat. Namun, dalam *Brushless* DC motor, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *Switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor [13]. Kebanyakan motor BLDC menggunakan belitan 3 fase dengan topologi Y (star). Dimana motor ini digerakkan sengan mengaktifkan dua fase secara bersamaan [14]. Konstruksi motor BLDC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 [15].

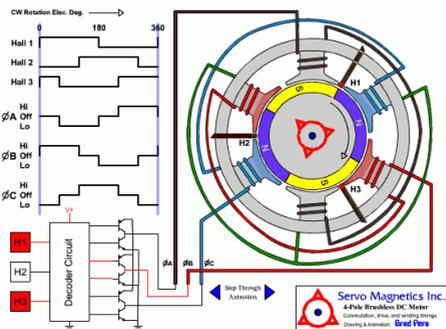
Motor BLDC banyak digunakan sebagai aktuator dalam sistem elektromekanik karena memiliki kepresisian yang tinggi. Keuntungan dari motor BLDC diantaranya, biaya perawatannya lebih rendah dari jenis motor yang lain, memiliki efisiensi dan rentang *speed* yang tinggi, serta *audible* terhadap *noise*.

2.3.1 Prinsip Kerja Motor BLDC

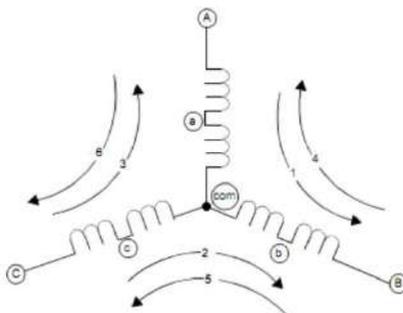
Prinsip kerja motor BLDC sebenarnya sama dengan motor listrik DC pada umumnya. Namun terdapat perbedaan pada penggunaan *brush* (sikat). Ketika suatu kutub saling tolak menolak dengan kutub sejenisnya dan saling tarik menarik dengan kutub yang berlawanan, akan terdapat gaya tarik menarik antara magnet permanen pada rotor dan elektromagnetik pada stator. Setiap fasa kumparan stator akan diberi

daya DC secara bergantian supaya rotor dapat berputar. Pada motor BLDC, untuk mengendalikan komutasi rotornya telah menggunakan sensor *hall effect* dan kontroler. Skema kerja dari motor BLDC diunjukkan pada Gambar 2.3.

Pengaturan kecepatan motor BLDC dapat menggunakan metode *six step*. Satu putaran motor BLDC terdiri dari enam tahap aliran arus. Dengan mengalirkan arus dari titik A menuju ke titik B (urutan 1), motor akan menuju posisi tertentu dan diam pada posisi tersebut. Ketika fase yang dialiri arus dirubah dari titik C ke titik A maka motor akan berputar sejauh 60 derajat secara elektrik. Satu putaran elektrik dapat dilakukan untuk mengalirkan arus sesuai dengan urutan arus pada Gambar 2.4. Sehingga arah putaran motor BLDC dapat dirubah dengan membalik urutan arus tanpa harus menukar kedua fasenya secara fisik [10]. Urutan Arus pada Motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Skema Kerja Motor BLDC



Gambar 2.4 Urutan Arus pada Motor BLDC

Inti dari komutasi motor BLDC adalah mengetahui posisi rotor lalu mengaktifkan fase titik rotor tersebut, sehingga menghasilkan torsi sebagai penggerak motor. Posisi rotor dapat diketahui dengan tiga sensor *hall-effect* yang terpasang pada bagian stator motor BLDC. Ketika magnet pada rotor melewati sensor *hall-effect*, sensor akan mengeluarkan sinyal berupa logika *high* atau *low* [10].

Dari Gambar 2.3 diatas dapat dijelaskan bagaimana proses kerja dari motor BLDC. Motor yang dipakai adalah motor BLDC 3 fasa yang berputar searah jarum jam dan sensor *Hall* menggunakan *default* kutub utara. Berikut beberapa proses bagaimana BLDC dapat berputar:

1. Sensor *Hall* H1 dan H3 bernilai 1 karena mengalami perubahan medan magnet sehingga kontroler mengalirkan arus pada lilitan B dan C. lilitan B menjadi kutub utara dan lilitan C menjadi kutub selatan. Kutub utara lilitan B memberikan tolakan pada kutub utara magnet rotor, sedangkan kutub selatan lilitan C menarik kutub utara magnet rotor.
2. Hanya sensor H1 yang bernilai “*high*” sehingga kontroler akan menginstruksikan agar lilitan A dan B harus dialiri arus. Lilitan A menghasilkan kutub selatan dan lilitan B tetap menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan A akan menolak kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan B menolak kutub utara dari magnet rotor.
3. Sensor H1 dan H2 bernilai 1, sehingga kontroler menginstruksikan agar lilitan A dan C dialiri arus. Lilitan A menghasilkan kutub selatan dan lilitan C menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan A akan menarik kutub utara pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan C menarik kutub selatan dari magnet rotor.
4. Hanya sensor H2 yang bernilai 1, sehingga kontroler menginstruksikan agar lilitan B dan C dialiri arus. Lilitan B menghasilkan kutub selatan dan lilitan C tetap menghasilkan kutub utara. Kutub selatan lilitan B, menolak kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub utara lilitan C, menarik kutub selatan dari magnet rotor.
5. Sensor H2 dan H3 bernilai 1, sehingga kontroler menginstruksikan agar lilitan A dan B dialiri arus. Lilitan A menghasilkan kutub utara dan lilitan B tetap menghasilkan kutub selatan. Kutub utara lilitan A akan menarik kutub selatan pada magnet rotor. Sedangkan kutub selatan lilitan B menolak kutub selatan dari magnet rotor.



Gambar 2.5 Permanen Magnet Rotor – 4 kutub dan 8 kutub

6. Langkah terakhir pada siklus komutasi, hanya H3 yang bernilai 1 sehingga kontroler menginstruksikan agar lilitan A dan C dialiri arus. Lilitan A tetap menghasilkan kutub utara dan lilitan C menghasilkan kutub selatan. Kutub utara lilitan A akan menarik kutub selatan dan menolak kutub utara pada magnet rotor. Sedangkan kutub selatan lilitan C menarik kutub utara dari magnet rotor.

Keenam proses diatas mengalami pengulangan sampai membentuk suatu siklus. Hal inilah yang menyebabkan motor terus berputar secara kontinyu selama sumber arus DC masih ada.

2.3.2 Konstruksi Motor BLDC

Secara umum konstruksi motor BLDC terdiri dari rotor, stator, sensor *Hall Effect*. Berikut penjelasan masing – masing komponen tersebut.

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak dalam motor BLDC. Rotor pada motor BLDC umumnya terlihat pada, terbuat dari magnet permanen dan memiliki jumlah kutub yang bervariasi dari dua sampai delapan pasang kutub utara dan kutub selatan. Pada umumnya rotor BLDC menggunakan magnet *ferrite* sebagai material magnet permanen. Bentuk fisik rotor magnet permanen ditunjukkan pada Gambar 2.5.

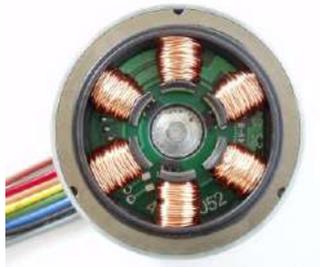
b. Stator

Konstruksi stator dari motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 2.6, terdiri dari susunan baja yang dilaminasi dan memiliki

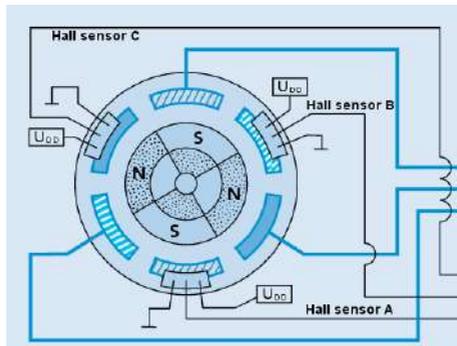
kumparan di setiap slotnya. Motor BLDC pada umumnya menggunakan kumparan stator dengan pola bintang. Terdapat dua tipe kumparan stator dari motor BLDC yaitu trapezoidal dan sinusoidal. Stator dalam motor BLDC digunakan untuk menghasilkan elektromagnet sehingga terjadi gaya tarik menarik antara rotor dan stator yang menyebabkan rotor berputar.

c. *Sensor Hall Effect*

Motor BLDC dikontrol secara elektrik. Untuk memutar motor BLDC maka kumparan stator harus diberi daya sesuai urutan komutasi. Pemberian posisi untuk mengetahui posisi rotor dengan tujuan untuk mengerti kumparan mana yang akan diberi daya mengikuti aturan komutasi. Posisi rotor ini dideteksi menggunakan sensor *Hall Effect* yang terpasang didalam stator.



Gambar 2.6 Stator Motor BLDC



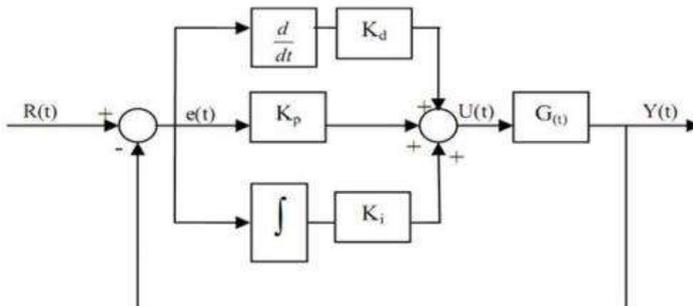
Gambar 2.7 Posisi Sensor Hall Effect pada Motor BLDC

Pada umumnya sensor *Hall Effect* terletak di dekat stator, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Jadi ketika kutub magnetik rotor mendekati sensor *Hall Effect* maka sensor akan memberikan sinyal *high* atau *low* yang mengindikasikan kutub utara atau selatan telah melewati sensor. Berdasarkan pada sinyal dari sensor *Hall Effect* tersebut maka *driver* dapat menentukan urutan komutasi secara tepat.

2.4 Kontrol PID

Penggunaan PID sebagai sistem kontrol pada industri sudah banyak dilakukan. Diantaranya kontrol PID digunakan untuk mengatur pendaratan pesawat tanpa awak [16], mengatur reluktansi motor pada pompa air [17], mengatur pendaratan balon udara [18], dan mengatur konsentrasi etil alcohol [19]. Sistem kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) adalah kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan umpan balik pada sistem tersebut (*feedback*). Sistem kontrol PID terdiri dari 3 buah cara pengaturan yaitu kontrol *Proportional* (P), *Integral* (I), dan *Derivative* (D). Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam penggunaannya kontroler tersebut dapat bekerja sendiri ataupun gabungan yaitu kontrol P, PI dan PID. Blok diagram kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Kontrol PID dapat menghasilkan sinyal yang sebanding dengan sinyal *error* (proporsional), sebanding dengan total sinyal *error* (integral), dan sebanding dengan penurunan dari sinyal *error* yang sekarang dengan sebelumnya (*derivative*) [20]. Sinyal *error* adalah selisih dari *setpoint* dengan nilai keluaran aktual.



Gambar 2.8 Diagram Blok PID

Tabel 2.1 Karakteristik kontroler proporsional, integral, dan derivative

<i>Respon Close-Loop</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady State Error</i>
Proportional	Turun	Naik	Perubahan Kecil	Turun
Integral	Turun	Naik	Naik	Hilang
Derivative	Perubahan Kecil	Turun	Turun	Perubahan Kecil

Persamaan dari kontrol PID dapat ditulis secara matematis seperti pada persamaan berikut.

$$y(t) = \left(K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (2.4)$$

Dengan nilai:

$$K_i = \frac{1}{T_i} \times K_p \quad (2.5)$$

$$K_d = K_p \times T_d \quad (2.6)$$

Dimana $y(t)$ output dari pengontrol PID atau *manipulated variable*, K_p konstanta *proporsional*, T_i konstanta *integral*, T_d konstanta *derivatif*, dan $e(t)$ error (selisih antara *setpoint* dengan level aktual).

Kontroler PID dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Efek dari setiap pengontrol *proportional*, *integral*, dan *derivative* pada sistem *loop* tertutup disimpulkan pada Tabel 2.1.

2.4.1 Kontroler Proporsional

Kontroler *proporsional* merupakan kontroler yang aksi kontrolnya proporsional atau sebanding terhadap sinyal kesalahan. Kontroler proporsional berupa konstanta dan secara sederhana keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Persamaan dari kontrol proporsional dapat dilihat sebagai berikut:

$$u(t) = K_p(e(t)) \quad (2.7)$$

Karakteristik dari kontroler proporsional adalah dapat mempercepat respon sistem untuk mencapai keadaan *steady state*. Semakin besar nilai kontrol proporsional akan memperkecil kesalahan keadaan *steady state*, namun akan membawa sistem ke daerah tidak stabil, karena itu kontroler proporsional tidak dapat menghilangkan nilai *error* ($e \neq 0$), sehingga diperlukan kontroler integral agar nilai *error* dapat mendekati nol.

2.4.2 Kontroler Integral

Karakteristik kontroler integral adalah menghasilkan respon sistem yang memiliki nilai *error steady state* = 0 (*error* mendekati nol), namun kontroler ini cenderung memperlambat respon keluaran kontroler integral merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Persamaan dari kontrol integral dapat dilihat sebagai berikut:

$$u(t) = \frac{K_p}{\tau_i} \left(\int_0^t e(t) \right) \quad (2.8)$$

2.4.3 Kontroler Derivatif

Karakteristik keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti operasi *derivative*. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat pada keluaran. Kelebihan kontrol derivatif yaitu apabila ditambah dengan kontroler proporsional, dapat mengurangi aksi kontrol yang berlebihan sehingga tidak mengalami *overshoot*. Persamaan dari kontrol diferensial dapat dilihat sebagai berikut:

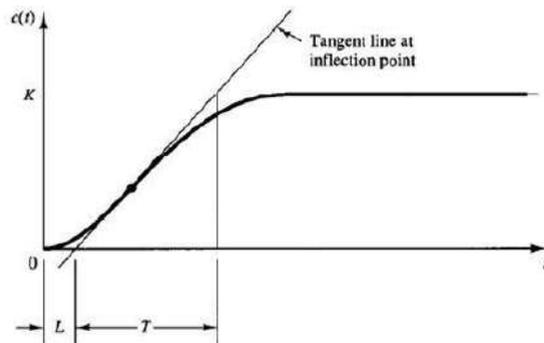
$$u(t) = K_p \tau_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.9)$$

2.5 Ziegler Nichols

Mendesain sebuah kontrol PID yaitu menentukan parameter kontroler PID supaya sistem dapat *close loop* dan memenuhi kriteria performansi yang telah ditentukan. Hal ini sering disebut dengan *tuning* kontroler. Metode Ziegler-Nichols ini memiliki dua cara yaitu metode osilasi dan kurva reaksi, yang keduanya menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25% [21].

Salah satu metode Ziegler-Nichols yaitu metode kurva reaksi

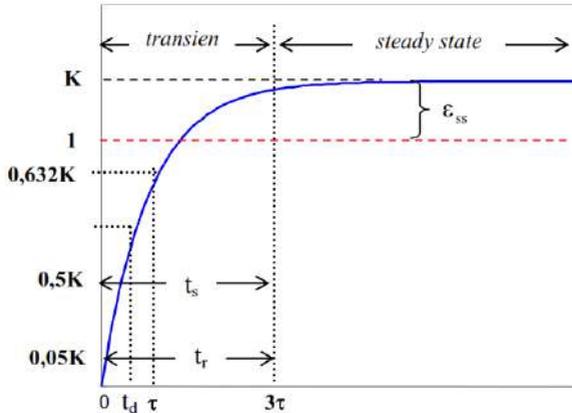
didasarkan terhadap reaksi sistem *open loop*. Metode kurva reaksi memiliki aturan perpotongan garis kurva S pada grafik *output plant* diberi *input unit step*, yang mempengaruhi nilai T dan L. Kurva respon berbentuk S ditunjukkan pada Gambar 2.9. setelah nilai T dan L diketahui, dengan menggunakan formula yang telah di rumuskan, nilai Kp, Ki, dan Kd yang optimal untuk sistem dapat diketahui [18]. Formula Ziegler-Nichols *open loop* ditunjukkan pada Tabel 2.2 [18].



Gambar 2.9 Kurva Respon Berbentuk S

Tabel 2.2 Formula Ziegler-Nichols pada Metode Open Loop

Tipe Pengendali	Kp	Ki	Kd
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$\frac{0.9T}{L}$	$0.27 \frac{T}{L^2}$	0
PID	$\frac{1.2T}{L}$	$0.6 \frac{T}{L^2}$	0.6T



Gambar 2.10 Karakteristik Sistem Orde Pertama

2.6 Karakteristik Sistem Orde Pertama

Karakteristik sistem merupakan ciri-ciri khusus dari respon *output* sistem atau disebut spesifikasi performansi sistem. Untuk melihat karakteristik sistem dapat dilakukan pengujian dengan mengamati respon *output* dari sistem. Kegunaan karakteristik sistem, diantaranya yaitu untuk menentukan ukuran kualitas sistem, untuk tujuan desain, untuk identifikasi sistem, dan untuk mendapatkan model reduksi.

Sistem orde pertama dapat dilihat spesifikasi performansi sistemnya menggunakan karakteristik respon waktu untuk mendeteksi karakteristik respon terhadap perubahan waktu. Untuk mendapatkan karakteristik respon waktu dari sistem, sinyal uji yang lazim digunakan adalah sinyal *impuls*, *step* atau *ramp*. Respon sinyal karakteristik sistem orde pertama ditunjukkan pada Gambar 2.10.

Karakteristik respon waktu dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan karakteristik respon pada keadaan tunak (*steady state*). Karakteristik respon transien sistem orde pertama terdiri dari [22]:

- Spesifikasi teoritis:
 - Konstanta waktu (τ) merupakan waktu yang dibutuhkan respon ketika $t = 0$ sampai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan kecepatan respon sistem. Semakin kecil konstanta waktu, maka respon sistem akan semakin cepat.
- Spesifikasi praktis:

1. Waktu tunak atau *settling time* (t_s) merupakan ukuran waktu yang menyatakan respon sudah berada pada sekitar *steady state*, diukur ketika respon berada pada sekitar 5%, 2%, dan 0,5%.

$$t_s (\pm 5\%) = t_{95\%} = \tau \ln \left(\frac{100}{100 - 95} \right) = \tau \ln 20 \approx 3\tau \quad (2.10)$$

$$t_s (\pm 2\%) = t_{98\%} = \tau \ln \left(\frac{100}{100 - 98} \right) = \tau \ln 50 \approx 4\tau \quad (2.11)$$

$$t_s (\pm 0.5\%) = t_{99.5\%} = \tau \ln \left(\frac{100}{100 - 99.5} \right) = \tau \ln 200 \approx 5\tau \quad (2.12)$$

2. Waktu naik atau *rise time* (t_r) merupakan ukuran waktu yang menyatakan respon telah muncul secara utuh, diukur mulai respon mencapai 5% - 95% atau respon mencapai 10% - 90% dari respon *steady state*.

$$t_r (5\% - 95\%) = \tau \ln 19 \quad (2.13)$$

$$t_r (10\% - 90\%) = \tau \ln 9 \quad (2.14)$$

3. Waktu tunda atau *delay time* (t_d) merupakan ukuran waktu yang menyatakan respon *output* terlambat terhadap *input* diukur melalui $t = 0$ sampai dengan respon mencapai 50% dari keadaan *steady state*.

$$t_d = t_{50\%} = \tau \ln \left(\frac{100}{100 - 50} \right) = \tau \ln 2 \quad (2.15)$$

Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) pada sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* (e_{ss}).

- Spesifikasi absolut *error steady state*

$$\mathcal{E}_{ss} = x_{ss} - y_{ss} = A - AK \quad (2.16)$$

$$\mathcal{E}_{ss} = A(1 - K) \quad (2.17)$$

- Spesifikasi relatif *error*

$$\% \mathcal{E}_{ss} = \frac{x_{ss} - y_{ss}}{\mathcal{E}_{ss}} \times 100\% = (1 - K) \times 100\% \quad (2.18)$$

2.7 Arduino DUE

Dalam buku “Getting Started with Arduino” Arduino adalah sebuah platform komputasi fisik yang open source pada board *input output* sederhana. Yang dimaksud dengan platform komputasi fisik adalah sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata [23].

Arduino DUE adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada AT91SAM3X8E. Mikrokontroler AT91SAM3X8E mempunyai 54 pin digital *input/output* (12 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), 12 *input* analog, 2 *output* analog (DAC0 dan DAC 1), 4 UART (*hardware serial port*), dengan clock 84 MHz, sebuah koneksi USB-OTG, 2 TWI, sebuah *power jack*, sebuah SPI *header*, sebuah JTAG *header*, sebuah tombol hapus dan sebuah tombol reset. Berbeda dengan Arduino lain, Arduino DUE berfungsi pada tegangan 3.3 V. Tegangan maksimum yang dapat ditoleransi oleh Arduino yaitu 3.3 V. Menggunakan tegangan diatas tegangan tersebut akan merusak Arduino. Dengan fasilitas yang sangat memadai, menjadikan Arduino DUE banyak digunakan salah satunya untuk pengontrol audio [24], atau sistem – sistem lainnya yang membutuhkan spesifikasi yang akurat. *Architecture* dari AT91SAM3X8E ditunjukkan pada Gambar 2.11 [25].

2.8 Power Supply

Power supply adalah perangkat keras berupa kotak yang isinya merupakan kabel-kabel untuk menyalurkan tegangan ke dalam perangkat keras lainnya. Perangkat keras ini biasanya terpasang di bagian belakang (di dalam) *casing* komputer. *Input power supply* berupa arus bolak-balik (AC) sehingga *power supply* harus mengubah tegangan AC menjadi DC (arus searah). Besarnya listrik yang mampu ditangani *power supply* ditentukan oleh dayanya dan dihitung dengan satuan Watt.

Power Supply seri GPC adalah sebuah *Power Supply* dengan tiga keluaran yaitu 195 sampai 375 W, serta membutuhkan pasokan daya dengan DC *linear*. *Channel* 1 dan 2 merupakan *adjustable*, sedangkan *channel* 3 ditetapkan sebagai 5V/3A dengan *ripple/noise* kurang dari 2mVrms. *Power supply* seri GPC memiliki perlindungan terhadap *overload* dan polaritas komponen yang terbalik, sehingga *power supply* dan muatannya aman dari kondisi tak terduga. Bentuk fisik *Power Supply* ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Spesifikasi :

- Brand: GW Instek
- Model: GPC-3030D
- Triple Output
- (0~30V/0~3A) x 2, (5V/3A Max.) x 1
- Auto tracking
- Auto series and parallel operation
- Constant voltage and constant current operation
- Low ripple and noise
- Over load and reverse polarity protection
- 3 ½ digit 0.5" LED display
- 5V,3A fixed output



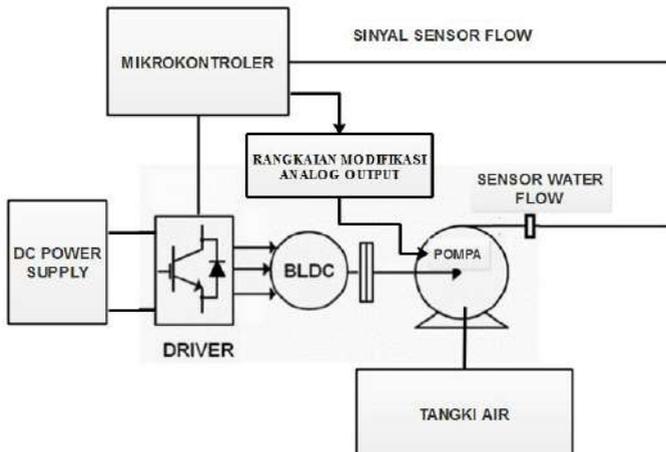
Gambar 2.12 Power Supply

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pembuatan Sistem kontrol laju aliran air yang meliputi, blok fungsional sistem yang akan menjelaskan proses kerja sistem dalam bentuk alur diagram, perancangan mekanik yang membahas tentang desain dan pembuatan mekanik yang mendukung cara kerja sistem, perancangan perangkat elektrik yang membahas perancangan rangkaian kontrol dan rangkaian pendukung sistem, dan perancangan program.

3.1 Blok Fungsional Sistem

Dari Gambar 3.1, dijelaskan bahwa dalam penelitian ini, dibuat suatu sistem yang dapat mengontrol laju aliran pompa air agar dapat mengairi tanaman sesuai kebutuhan. Pada sistem ini akan digunakan pompa air dengan berpenggerak motor BLDC yang bertujuan agar kinerja sistem lebih efisien. Pemilihan motor jenis DC ini sangat sesuai, dikarenakan sistem akan mudah diaplikasikan untuk mengairi lahan pertanian yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi listrik. Sehingga pada sistem tidak dibutuhkan inverter untuk mengonversi tegangan sumber.



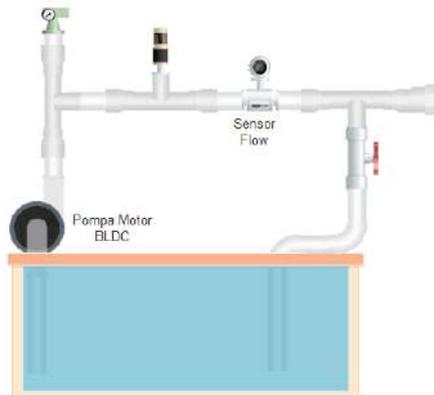
Gambar 3.1 Diagram Blok Fungsional Sistem

Perputaran motor BLDC akan dikontrol menggunakan driver motor yang telah diintegrasikan dengan mikrokontroler sebagai penyuplai ADC bagi sistem. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino DUE yang diprogram menggunakan *software* Arduino IDE.

Aliran air dari pompa akan terbaca oleh sensor *water flow* dan datanya akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk di proses. Laju aliran air akan dibuat konstan, sehingga data yang terbaca akan dibandingkan dengan *setpoint* untuk dapat disesuaikan dengan nilai yang telah ditentukan. Dikarenakan pompa air menggunakan motor BLDC sebagai penggerakannya, maka dibutuhkan power *supply* jenis DC sebagai catu daya sistem.

3.2 Perancangan Perangkat Mekanik

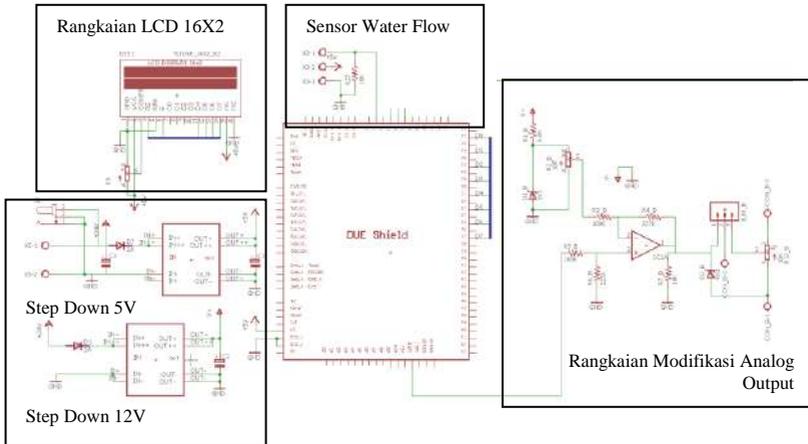
Perancangan mekanik prototipe sistem pompa air merupakan komponen paling penting dalam pembuatan sistem ini. Pada perancangan mekanik pompa air meliputi pemasangan motor BLDC, sensor flow, dan pipa pendukungnya pada box container. Dalam perancangan mekanik ini diharapkan komponen-komponen yang menempel pada box container dapat terpasang secara efisien dan tidak membutuhkan banyak tempat. Selain itu tujuan utama dari pembuatan sistem ini yaitu menjadi sistem yang efisien, dimana sistem dapat dilepas pasang bila untuk memudahkan penyimpanan. Gambar perancangan mekanik sistem pompa air ditunjukkan pada Gambar 3.2. Spesifikasi perangkat yang digunakan pada sistem seperti pompa BLDC dan sensor *water flow* ditunjukkan pada Tabel 3.1.



Gambar 3.2 Perancangan Mekanik Sistem Pompa Air

Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat Sistem

Type Pompa	BLDC Pump DC 50E-24150A
<i>Variety Power</i>	<i>DC electric source, Battery or Solar Panel</i>
<i>Voltage</i>	<i>24 V</i>
<i>Ampere</i>	<i>3.6 Amp</i>
<i>Max Flow</i>	<i>1560 L/M</i>
<i>Max Head</i>	<i>15 M</i>
<i>Max working temperature</i>	<i>100 °C</i>
<i>Speed Control</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Default: by potentiometer or 0-5V analog signal;</i> 2. <i>By PWM (50-800 HZ Amplitude 5V)</i>
<i>Connection</i>	<i>Black wire to ground, Yellow wire to the signal, Hang the red wire in the air</i>
Type Sensor Water Flow	Water Hall Flow Sensor Meter
<i>Brand Name</i>	<i>HaiHuiLai</i>
<i>Product item no</i>	<i>SUS-44</i>
<i>Thread size</i>	<i>Male g 1/2" - OD20.5MM</i>
<i>Size</i>	<i>L 44x26.5MM x DN15</i>
<i>Flow rate</i>	<i>1~30L/min</i>
<i>Flow Pulse</i>	<i>$F(\text{Hz})=(11 \times Q)$ -3% +-10% <i>Q=L/min</i></i>
<i>Working Voltage</i>	<i>DC 5V~24V</i>
<i>Load Capacity</i>	<i>10 mA (DC 5 V)</i>
<i>Operating Working Temperature</i>	<i>-25 Degree centigrade to +80 Degree centigrade</i>
<i>Accuracy</i>	<i>5%~10%</i>
<i>Cable Connection</i>	<i>Red: positive + Black: Negative - Yellow: Pulse Signal</i>



Gambar 3.3 Desain Skematik Board Kontrol Laju Aliran Air

3.3 Perancangan Perangkat Elektrik

Pada Sub Bab ini akan dibahas tentang perancangan perangkat elektrik pada sistem pompa air dan perhitungan komponen pendukungnya, beserta *wiring* dari *hardware* yang digunakan. Desain board yang akan digunakan untuk mengontrol laju alir pompa air ditunjukkan pada Gambar 3.3.

3.3.1 Rangkaian Modifikasi Analog Output Arduino Due

Arduino Due adalah board Arduino yang menggunakan mikrokontroler ARM 32 bit, dengan tegangan referensi 3,3 V. Pada Arduino Due tidak memiliki tegangan keluaran analog dari 0 V ke V_{ref} , tetapi dari $1/6$ hingga $5/6$ dari tegangan referensi.

$$V_{o\ DAC_{min}} = \frac{1}{6} \times 3.3 = 0.55\ V$$

$$V_{o\ DAC_{max}} = \frac{5}{6} \times 3.3 = 2.75\ V$$

Sehingga rentang tegangan *output* DAC dan resolusinya yaitu 2,2 dan 0,5372 mV.

$$\text{Selisih } V_{o\ DAC} = 2.75 - 0.55 = 2.2\ V$$

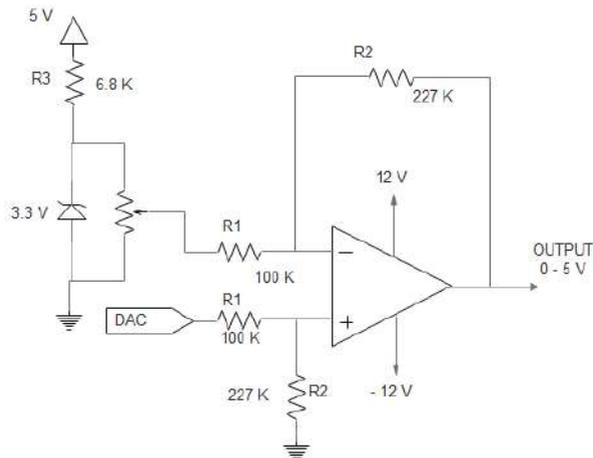
$$\text{Resolusi } V_o \text{ DAC} = \frac{2.2}{4095} = 0.5372 \text{ mV}$$

Sehingga dibutuhkan suatu rangkaian *differential amplifier* yang dapat menghilangkan tegangan *offset* 0,55 V dan menguatkan *output* sinyal analog agar mencapai nilai yang diinginkan.

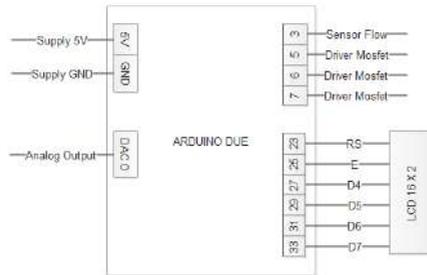
Untuk membangkitkan tegangan V_p sebesar 0,55 V, yang mana merupakan nilai minimum dari DAC, dapat menggunakan rangkaian regulator dan resistor R_p . Resistor variabel R_p digunakan untuk mengubah nilai V_p , agar mendekati 0 V saat DAC bernilai 0. Agar Arduino Due dapat mengirim sinyal analog dengan range antara 0 sampai 5 V, dibutuhkan suatu *amplifier* yang dapat aktif dengan tegangan lebih dari 2V dari seharusnya. Nilai penguatan dan nilai komponen R_1 dan R_2 sebagai berikut.

$$G = \frac{5}{2.2} = 2.27 \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2}$$

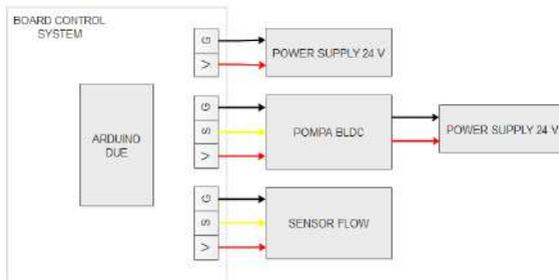
Apabila R_1 bernilai 100 K Ω maka R_2 bernilai 227 K Ω , dengan VCC dari IC *amplifier* harus diberi catu daya minimal 7V. IC *amplifier* yang digunakan yaitu IC *single supply* seperti LM358. Desain rangkaian analog *output* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Modifikasi Analog Output



Gambar 3.5 *Wiring* Mikrokontroler dengan Perangkat Elektrik



Gambar 3.6 *Wiring* Perangkat Kontrol Laju Alir Pompa

3.3.2 *Wiring* Mikrokontroler dengan Perangkat Elektrik

Mikrokontroler yang digunakan pada sistem kontrol laju alir ini yaitu Arduino due. *Wiring* mikrokontroler dengan perangkat elektrik merupakan *wiring* Arduino due dengan rangkaian modifikasi analog *output*, rangkaian *driver* mosfet, dan rangkaian untuk display LCD 16 X 2. Berikut merupakan *wiring* perangkat kontrol pada sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

3.3.3 *Wiring* Perangkat Kontrol

Perangkat kontrol untuk mengatur laju aliran air terdiri dari mikrokontroler Arduino Due, *Board* Rangkaian, Pompa Motor BLDC, Sensor *water flow*, dan *Power Supply*. Untuk melakukan pengujian sistem, dibutuhkan *power supply dual supply* yang dapat memberikan *input supply* kepada pompa motor BLDC dan board kontrol dengan masing –masing supply sebesar 24 V. Berikut merupakan *wiring* perangkat kontrol pada sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.

3.4 Perancangan Kendali PID

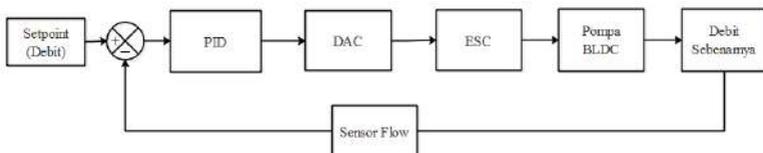
Pada sistem untuk mempertahankan laju aliran air tetap pada keadaan konstan, digunakan kendali PID. Dimana nilai debit yang akan dibuat konstan digunakan sebagai nilai *setpoint*. Nilai *setpoint* akan ditambahkan dengan nilai PID, sehingga akan menghasilkan *output* DAC yang digunakan untuk mendrive motor BLDC. nilai DAC tersebut telah dikonversi menjadi tegangan sehingga dapat terbaca oleh ESC.

Electronic Speed Controller atau ESC merupakan sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengatur kecepatan putar motor BLDC, cara kerjanya yaitu dengan cara menterjemahkan sinyal yang diterima *receiver*. Debit atau laju alir dari pompa akan dibaca oleh sensor *flow* yang kemudian akan dibandingkan dengan debit *setpoint* sehingga dihasilkan nilai *error*.

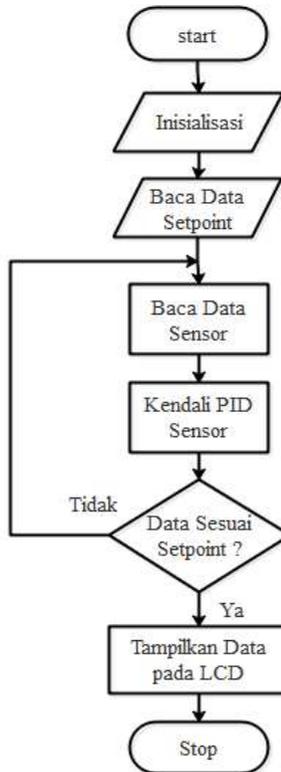
Error dari kendali PID debit didapatkan dari selisih antara *setpoint* debit yang diinginkan dengan debit yang didapatkan dari pembacaan sensor *flow*. Nilai *error* tersebut, kemudian akan ditambahkan dengan nilai PID hingga didapatkan nilai debit yang konstan (sama atau mendekati nilai debit *setpoint*). Proses kalkulasi tersebut akan dilakukan oleh mikrokontroler Arduino DUE, yang akan mengatur kecepatan putar pompa BLDC agar sesuai dengan nilai debit yang diinginkan berdasarkan *error* yang didapat. Blok diagram kontrol PID debit dapat dilihat pada Gambar 3.7.

3.5 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem ini yaitu mengontrol laju aliran air agar tetap konstan ketika tekanan air diperbesar. Perangkat lunak yang digunakan yaitu Arduino. Perangkat lunak diprogram agar mikrokontroler Arduino Due dapat menghitung jumlah aliran air yang mengalir pada sensor *water flow*. Sebelum membuat program menggunakan Arduino Due terlebih dahulu menginstal Arduino Due pada Arduino IDE, dan memastikan *library* yang dibutuhkan telah terinstall pada Arduino, seperti Due Timer dan PID.



Gambar 3.7 Blok Diagram Kontrol PID untuk Debit



Gambar 3.8 *Flowchart* Kontrol Sistem

3.5.1 *Flowchart*

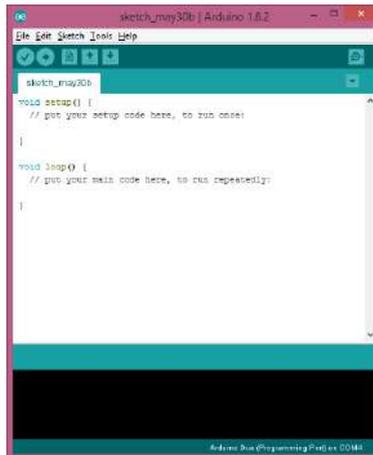
Diagram alur sistem dimulai dengan inisialisasi sensor yang digunakan pada sistem yaitu sensor *water flow*. Agar sensor *water flow* dapat terbaca dengan tepat, maka diberikan nilai *setpoint* sebagai data pembanding pada sistem. Kemudian sensor *water flow* akan membaca laju aliran air, dan dengan menggunakan kendali PID laju aliran air akan di kontrol agar tetap konstan ketika laju alir ditambah atau dikurang. Jika nilai debit yang terbaca kurang dari *setpoint*, maka dengan kontrol PID nilai debit air akan ditambah hingga sama atau mendekati nilai *setpoint*. Sebaliknya, jika nilai debit lebih yang terbaca lebih besar dari nilai *setpoint*, maka kontrol PID kan mengurangi nilai debit hingga sama atau mendekati dengan nilai *setpoint*. Selanjutnya nilai dari pembacaan

sensor *water flow* yang berupa debit dan telah dikontrol dengan kendali PID akan ditampilkan ke LCD sebagai pembacaan akhir dari sensor. *Flowchart* sistem kontrol laju alir pompa air ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Pada sistem kontrol laju alir menggunakan mikrokontroler Arduino Due yang di program menggunakan *software* Arduino versi 1.8.2. Gambar 3.9 merupakan tampilan dari *software* Arduino yang akan digunakan untuk membuat program pada penelitian ini.

Sebelum menjelaskan langkah-langkah pembuatan program pada penelitian ini, maka terlebih dahulu di jelaskan beberapa icon yang sering di gunakan, yaitu:

1.  Merupakan *icon create new project*. Icon ini berfungsi untuk memulai sebuah projek program.
2.  Adalah *icon menu Verify* yang bergambar ceklis, ini berfungsi untuk mengecek program yang ditulis apakah ada yang salah atau *error*.
3.  Adalah *icon menu Upload* yang bergambar panah ke arah kanan , ini berfungsi untuk memuat atau mentransfer program yang dibuat di *software* Arduino ke *hardware* Arduino.



Gambar 3.9 Tampilan Software Arduino

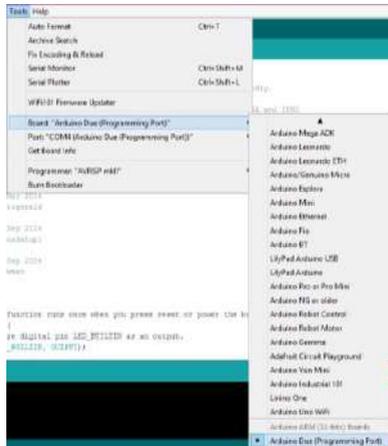
4.  Adalah *icon* menu **Open** yang bergambar panah ke arah atas, ini berfungsi untuk membuka program yang disimpan atau membuka program yang sudah dibuat dari pabrikan *software* Arduino.
5.  Adalah *icon* menu **Save** yang bergambar panah ke arah bawah, ini berfungsi untuk menyimpan program yang telah dibuat atau dimodifikasi
6.  Adalah *icon* menu **Serial Monitor** yang bergambar kaca pembesar (*loop*), ini berfungsi mengirim atau menampilkan serial komunikasi data saat dikirim dari *hardware* arduino.

Setelah mengetahui beberapa *icon* yang digunakan dan telah membuat program dalam *Software*, maka langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah cara mengupload program pada Arduino. Untuk mengupload program pada Arduino terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan. Berikut langkah-langkah mengupload program pada Arduino:

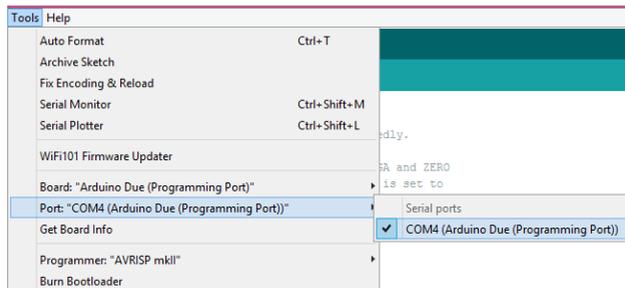
1. Langkah pertama yang dilakukan setelah membuat program adalah melakukan *verify* program yang digunakan dengan cara menekan tombol *verify*. Jika tidak ada *error* maka akan muncul kata *done compiling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan Arduino Ketika Tidak Terjadi *Error* pada Saat *Verify* Program



Gambar 3.11 Memilih *Board* Arduino pada *Software* Arduino IDE



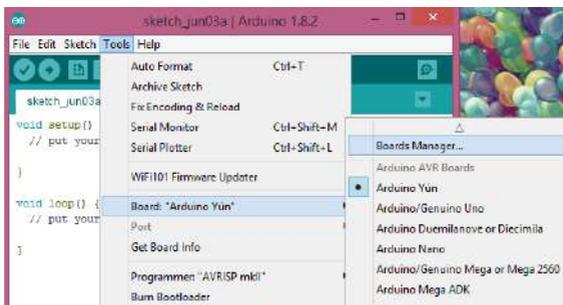
Gambar 3.12 Memilih *Port* pada Arduino

2. Langkah kedua adalah menyambungkan *hardware* Arduino dengan laptop atau PC yang digunakan.
3. Langkah ketiga adalah memilih *board* Arduino yang digunakan dengan cara menekan Tools lalu *board* dan pilih *board* Arduino yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.
4. Langkah keempat adalah memilih *port* yang digunakan pada laptop atau PC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.
5. Langkah terakhir adalah menekan *icon upload* atau menekan file → *upload*.

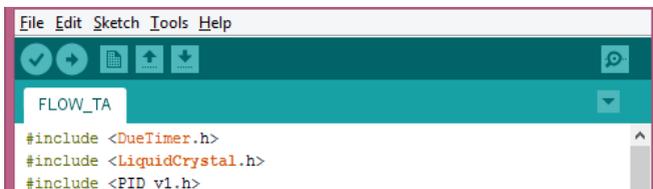
3.5.2 Perancangan Program Pada Arduino

Pada sistem kontrol laju alir menggunakan Arduino Due yang harus di *install* terlebih dahulu pada *Board Manager* Arduino. Berikut ini adalah langkah-langkah perancangan program pada sistem kontrol laju alir pada Arduino.

1. Langkah pertama adalah menginstall Arduino Due pada *software* Arduino IDE dengan cara memilih *tools >> boards >> Boards Manager* seperti yang ditunjukkan pada
2. Gambar 3.13.
3. Setelah Arduino Due ditambahkan pada *software* Arduino IDE, langkah selanjutnya adalah membuat program dengan terlebih dahulu memasukkan *library* yang telah dibutuhkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.
4. Langkah selanjutnya adalah membuat *listing* program yang digunakan untuk sistem kontrol laju alir. Sebelum pembuatan program inti, harus menginisialisasi pin yang digunakan seperti pada yang ditunjukkan pada Gambar 3.15. Selain itu, dapat juga melakukan inisialisasi pin pada fungsi *setup*.



Gambar 3.13 Menginstall Arduino Due pada Arduino



Gambar 3.14 Menambahkan *Library* pada Arduino

```
FLOW_TA
#include <DueTimer.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <PID_v1.h>

LiquidCrystal lcd(23,25,27,29,31,33);

long int pulsa, cnt, frek, dis, frek2;
int data, dac;
float debit, debit1, debit2;
```

Gambar 3.15 Menginisialisasi Pin pada Arduino

```
void setup() {
    // set up the LCD's number of c
    lcd.begin(16, 2);
    // Print a message to the LCD.
    lcd.print("hello, world!");
}
```

Gambar 3.16 Program Void Setup pada Arduino

```
10
11 void setup() {
12
13 }
14
15 void loop() {
16 // set up the LCD's number of columns and rows:
17 lcd.begin(16, 2);
18 // Print a message to the LCD.
19 lcd.print("hello, world!");
20
Done compiling
Global variables use 55 bytes (2%) of dynamic memory, leaving
1,993 bytes for local variables. Maximum is 2,048 bytes.
```

Gambar 3.17 Void Setup yang kosong pada Arduino

5. Selanjutnya adalah masuk pada program *void setup*. Program *void setup* hanya sekali eksekusi, yaitu ketika awal program berjalan. Kebanyakan *void setup* berisikan inialisasi fungsi-fungsi yang digunakan dalam program. *Void setup* juga dapat digunakan sebagai penggunaan kaki dari Arduino. *Void setup* ini merupakan fungsi wajib yang harus disertakan dalam memprogram arduino, jika tidak disertakan maka akan menghasilkan *error*. Isi dari *void setup* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16. Selain itu, Isi *void setup* bisa juga kosong seperti yang ditunjukkan Gambar 3.17.

6. Selanjutnya memasuki perintah *void loop*. *Void loop* berguna untuk melaksanakan atau mengeksekusi perintah program yang telah dibuat. Fungsi ini akan secara aktif mengontrol *board* Arduino baik membaca input atau merubah *output*.
7. Setelah itu, tinggal melakukan *verify* program. Dan program telah siap untuk diupload ke *board* arduino.

3.5.3 Perancangan Program Kontrol Laju Alir

Untuk merancang program kontrol laju alir pada Arduino, terlebih dahulu harus memasukkan *library* yang digunakan yaitu *library* LiquidCrystal, DueTimer dan PID untuk komunikasi serialnya. Library yang digunakan pada *board* Arduino dapat dilihat pada Gambar 3.18.

Selanjutnya adalah melakukan pemrograman fungsi *setup* pada Arduino. Fungsi *setup* pada program kontrol laju alir berisi tentang inisialisasi sistem dan komunikasi serial yang digunakan pada program pembacaan *water flow*. Proses pengiriman dan penerimaan data antara kontrol laju air dengan Arduino menggunakan pin-pin digital. Pin digital yang digunakan adalah pin 3, 23, 25, 27, 29, 31, dan 33. Selain itu juga menggunakan pin DAC0 yang dimiliki oleh Ardino Due untuk mengubah nilai digital ke nilai analog. Pin 3 digunakan untuk sensor *water flow*, sedangkan pin 23, 25, 27, 29, 31, dan 33 digunakan untuk konfigurasi LCD. Pada program ini juga menggunakan fungsi *timer* yang digunakan sebagai fungsi *clock internal*, dan fungsi *attachInterrupt* yang digunakan untuk mengaktifkan *interrupt* pada program. Fungsi *interrupt* digunakan untuk menambahkan suatu program yang akan diberi fungsi *interrupt* tersebut. Inisialisasi pin dan variabel kontrol laju alir pompa air ditunjukkan pada Gambar 3.19.

```
#include <DueTimer.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <PID_v1.h>

LiquidCrystal lcd(23,25,27,29,31,33);

long int pulsa, cnt, frek, dis, frek2;
int data, dac;
float debit, debit1, debit2;
```

Gambar 3.18 *library* pada Program Kontrol Laju Alir Pompa Air

```

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(DAC0, OUTPUT);
  digitalWrite(3, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), interupt1, FALLING);
  Timer3.attachInterrupt(intertime);
  Timer3.start(1000000); // Calls every
  cnt=0;
  pulsa=0;
  Setpoint = 5;
}

```

Gambar 3.19 Menginisialisasi Pin dan Variabel pada Program Kontrol Laju Alir Pompa Air

```

void interupt1()
{
  pulsa=pulsa+1;
}

```

Gambar 3.20 Program Penghitungan Pulsa pada Arduino

```

void intertime()
{
  frek=pulsa;
  frek2=frek*frek;
  debit1=0.0875734*frek;
  debit2=0.00004033*frek2;
  debit=1.173+debit1+debit2;
  pulsa=0;
}

```

Gambar 3.21 Program Menghitung Kecepatan Aliran Air pada Sensor *Water Flow*

Untuk input sensor menggunakan pin 3, dengan menggunakan *interrupt* 1 pada Arduino Due, penggunaan *interrupt* pada rutin ini dimaksudkan untuk menjalankan program penghitung pulsa yang keluar

dari sensor *water flow* akibat sensor *hall effect* dan kemudian akan disimpan dalam variabel “interrupt1”. Fungsinya adalah untuk menyimpan penghitungan pulsa sehingga keluaran dari sensor *water flow* dapat berupa liter air yang mengalir. Karena sebenarnya keluaran dari sensor *water flow* adalah kecepatan air. Program untuk menyimpan penghitungan pulsa dapat dilihat pada Gambar 3.20.

Setelah pulsa diketahui maka langkah selanjutnya adalah menghitung kecepatan aliran air atau debit yang telah melewati sensor *water flow*. Kecepatan aliran air didapat dari pembacaan sensor *water flow* yang telah dikalibrasi dan didapatkan rumus persamaan debitnya. Program untuk menghitung kecepatan aliran air pada sensor *water flow* dituliskan pada *void intertime ()* terdapat pada Gambar 3.21.

Laju aliran air dikontrol agar tetap konstan menggunakan kontrol PID yang didapat dengan metode Ziegler Nichols. Agar dapat mengontrol laju alir, parameter – parameter PID harus di deklarasikan terlebih dahulu yaitu parameter Kp, Ki, dan Kd. *Input* nilai parameter PID ditunjukkan pada Gambar 3.22.

Pada program ini menggunakan fungsi myPID untuk men-*setting* nilai PID agar dapat menghitung secara otomatis untuk mempertahankan laju alir air agar tetap konstan. Fungsi myPID yang secara otomatis diaktifkan pada *void setup*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.23.

```
//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;
//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=6, Ki=0.048, Kd=1.5;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

Gambar 3.22 Deklarasi Parameter untuk Kendali PID

```
//turn the PID on
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
```

Gambar 3.23 Deklarasi Fungsi myPID

```

void loop()
{
    cnt = cnt + 1;
    Input = debit;
    myPID.Compute();
    analogWrite(DAC0, Output);

    dis = dis + 1; //display
    if(dis>=10)
    {
        dis=0;
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Debit:      1/m");
        lcd.setCursor(7, 0);
        lcd.print(debit);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Sp= ");
        lcd.setCursor(5, 1);
        lcd.print(Setpoint);
        Serial.print(Output);
        Serial.print("\t");
        Serial.print(cnt);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(debit);
    }
    delay(100);
}

```

Gambar 3.24 Program Kontrol Laju Alir Menggunakan PID

Nilai parameter PID yang telah diinputkan, akan digunakan untuk mengontrol laju alir air yang telah di program pada *void loop*. Nilai debit yang terbaca dari sensor *water flow* digunakan sebagai *input*, yang kemudian akan di kontrol menggunakan *myPID.Compute*. selanjutnya nilai pembacaan akhir sensor *water flow* akan ditampilkan di LCD. Program untuk mengontrol laju alir dengan PID ditunjukkan pada Gambar 3.24.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

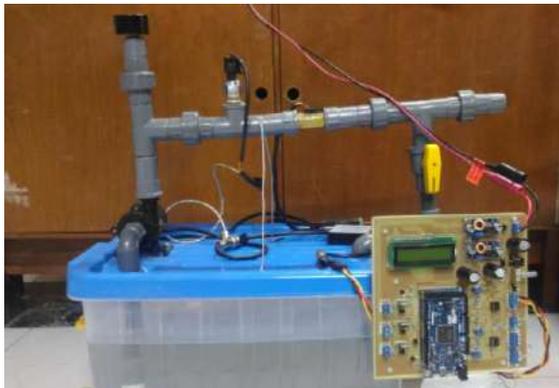
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian rangkaian yang menyusun sistem ini. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa kinerja masing-masing sistem yang telah dibuat dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Setelah dilakukan perancangan *hardware* dan *software*, maka dilakukan pengujian dan analisa untuk mengetahui apakah langkah-langkah yang dilakukan sudah mencapai tujuan-tujuan yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya pengujian dan analisa ini dibagi menjadi 2 aspek, yaitu aspek *hardware* dan *software*, secara umum *hardware* merupakan rangkaian-rangkaian yang telah dibuat, dan *software* merupakan program yang telah dibuat.

4.1 Cara Kerja Sistem

Sistem yang telah dibuat yaitu sistem kontrol laju alir pompa air berpengerak brushless DC motor. Cara kerja dari sistem tersebut yaitu sistem dapat mengontrol laju aliran air agar sesuai dengan *setpoint*. Sistem tersebut menggunakan kendali PID agar putaran motor BLDC lebih stabil, sehingga laju lairannya akan tetap konstan. Penggunaan dari sistem tersebut membutuhkan catu daya 24 volt untuk mensuplai pompa BLDC dan board rangkaian kontrol sistem. Kemudian motor dan sensor *water flow* dihubungkan dengan mikrokontroler agar dapat dikontrol sesuai kebutuhan.



Gambar 4.1 Hasil Implementasi Sistem Kontrol Laju Alir pompa Air Berpengerak Brushless DC

Sistem juga dilengkapi dengan kran yang dapat membuka dan menutup untuk mengendalikan aliran air. Kran juga difungsikan sebagai beban, ketika dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil implementasi sistem kontrol laju alir pompa air berpengerak brushless DC motor ditunjukkan pada Gambar 4.1.

4.2 Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog Output Arduino Due

Pengujian rangkaian modifikasi analog output dilakukan dengan mengukur tegangan *input* pada pin DAC0 dan tegangan *output* dari op-amp dengan input nilai DAC yang diberikan pada pin DAC0. Rangkaian modifikasi analog *output* digunakan untuk merubah tegangan *output* analog yaitu dari 0 – 3.3 V menjadi 0 – 5 V saat diberi nilai DAC dari 0 – 255. Tabel pengujian rangkaian modifikasi analog *output* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog *Output* Arduino Due

NILAI DAC	VIN	VOU
0	0.57	0.0073
10	0.657	0.1932
20	0.744	0.3819
30	0.832	0.568
40	0.919	0.755
50	1.006	0.943
60	1.094	1.132
70	1.182	1.32
80	1.209	1.507
90	1.356	1.695
100	1.444	1.882
110	1.531	2.07
120	1.618	2.258
130	1.706	2.446
140	1.794	2.633
150	1.968	3.008

Nilai DAC	Vin	Vout
160	2.056	3.196
170	2.143	3.384
180	2.231	3.572
190	2.232	3.572
200	2.318	3.76
210	2.406	3.95
220	2.493	4.14
230	2.581	4.33
240	2.668	4.51
250	2.755	4.7
255	2.799	4.8

4.3 Pengujian Sensor *Water Flow*

Pengujian sensor *water flow* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa pulsa yang dikeluarkan ketika air mengalir dalam beberapa liter. Pengujian sensor *water flow* ini dilakukan dengan cara mengalirkan air (per liter) dan air tersebut melewati sensor *water flow*. Pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor *Water Flow*

Air (Liter)	Sensor <i>Water Flow</i> (Pulse)
3	21
4	28
5	42
6	52
7	63
8	72
9	85
10	98
11	108

Air (Liter)	Sensor <i>Water Flow</i> (Pulse)
13	121
14	136
15	151
17	167

4.4 Karakterisasi Sensor *Water Flow*

Sebelum digunakan dalam sistem kontrol laju alir, sensor *water flow* hendaknya dikalibrasi terlebih dahulu, supaya sistem dapat bekerja secara maksimal. Kalibrasi merupakan suatu proses pengecekan dan pengaturan ketepatan dari sebuah alat ukur dengan cara membandingkannya dengan standar/tolak ukur. Pengkalibrasian sensor *water flow* dilakukan dengan cara mengalirkan air (per 10 liter) melewati sensor *water flow*, kemudian mencatat waktunya ketika diberi *input* nilai DAC yang diubah-ubah. Sehingga dari data tersebut nilai debit aliran dapat ditentukan. Cara kalibrasi sensor *water flow* ditunjukkan pada Gambar 4.2.

$$\text{Debit } (Q) = \frac{\text{Volume Aliran (Liter)}}{\text{Waktu Aliran (Menit)}}$$

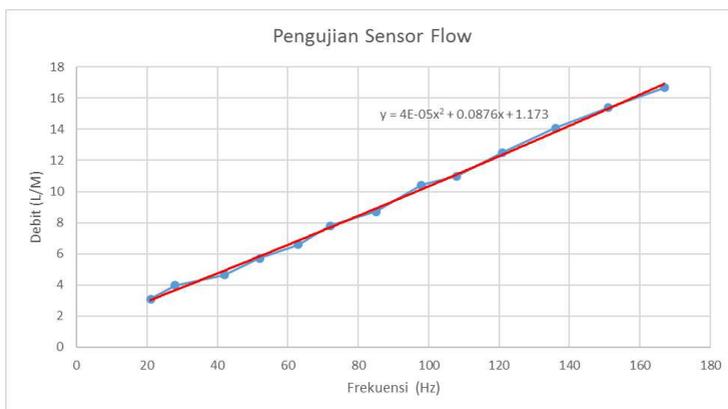


Gambar 4.2 Pengujian Karakterisasi Sensor *Water Flow*

Tabel 4.3 Data Karakterisasi Sensor *Water Flow*

Nilai DAC	Volume (L)	Waktu (M)	Frekuensi (Hz)	Debit Pengukuran (L/M)
20	10	3.22	21	3.11
30	10	2.51	28	3.98

Nilai DAC	Volume (L)	Waktu (M)	Frekuensi (Hz)	Debit Pengukuran (L/M)
50	10	2.16	42	4.63
70	10	1.75	52	5.71
90	10	1.52	63	6.58
110	10	1.28	72	7.81
130	10	1.15	85	8.7
150	10	0.96	98	10.42
170	10	0.91	108	10.99
190	10	0.8	121	12.5
210	10	0.71	136	14.08
230	10	0.65	151	15.38
250	10	0.6	167	16.67
255	10	0.56	168	17.86



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Sensor *Water Flow* dengan Pendekatan Polinomial

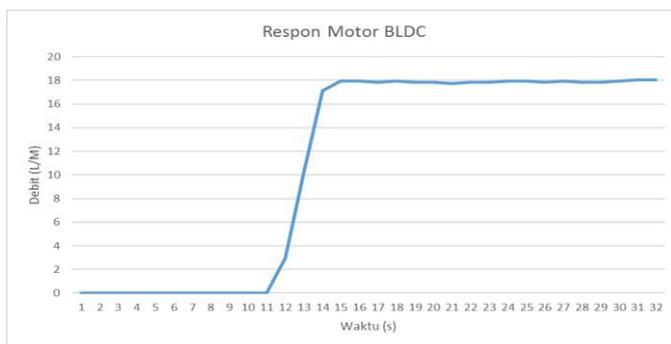
Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada data karakterisasi sensor *water flow* didapatkan nilai debit yang terus bertambah ketika nilai DAC juga ditambah. Keadaan ini mengindikasikan bahwa semakin besar nilai

DAC, maka kecepatan motor akan semakin besar, sehingga nilai debit yang terbaca juga semakin besar. Dari data hasil pengujian diatas dilakukan pendekatan polynomial untuk didapatkan rumus persamaan dari sensor *water flow*. Grafik pengujian sensor *water flow* dengan pendekatan polinomial ditunjukkan pada Gambar 4.3.

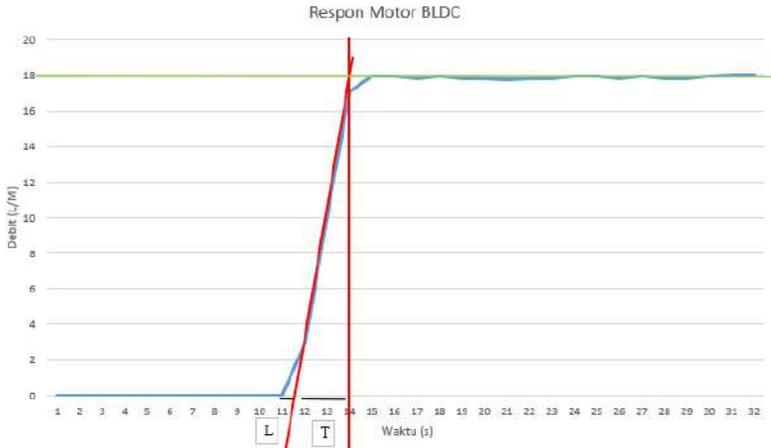
4.5 Pengujian Motor BLDC

Pengujian motor BLDC digunakan untuk mendapatkan nilai PID yang dilakukan dengan mengambil karakterisasi respon dari motor BLDC. Pengujian motor ini dilakukan secara *open loop*. Pengujian motor BLDC ini dilakukan dengan menggunakan *serial monitor* pada Arduino untuk didapatkan perubahan respon motor BLDC, dari nilai debit minimum yaitu 0 L/M hingga mencapai nilai maksimum yaitu 18 L/M. data hasil pengujian respon motor tersebut kemudian akan diproyeksikan dalam bentuk grafik. Respon pengujian motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 4.4

Setelah didapatkan grafik respon motor BLDC, dengan menggunakan metode Ziegler Nichols dapat ditentukan nilai T dan L dari respon agar dapat dihitung parameter Kp, Ki, dan Kd menggunakan rumus formula sesuai pada Tabel 2.2. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, nilai L yang didapatkan dari respon motor BLDC yaitu 0,5 dan nilai T nya yaitu 2,5. Sehingga akan didapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd Seperti pada Tabel 4.4.



Gambar 4.4 Respon Pengujian Motor BLDC



Gambar 4.5 Analisa Respon Motor BLDC Menggunakan Metode Ziegler Nichols

Tabel 4.4 Parameter K_p , K_i , dan K_d Pada Respon Motor BLDC

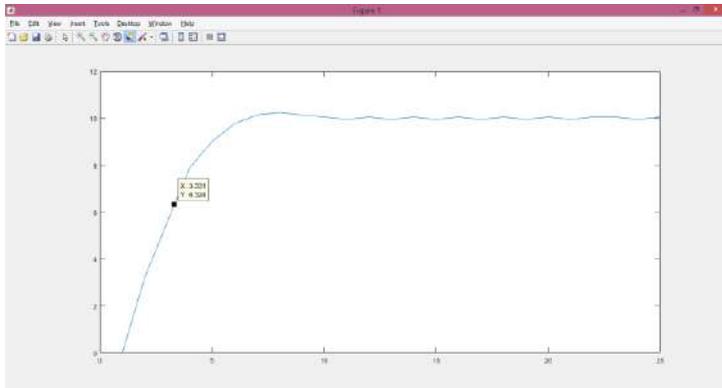
	K_p	K_i	K_d
P	5	-	-
PI	4.5	0.0216	-
PID	6	0.048	1.5

4.6 Pengujian Sistem

Pengujian keseluruhan sistem digunakan untuk melihat respon kerja sistem secara keseluruhan, baik hardware maupun software. Pengujian sistem kontrol laju alir pompa air dilakukan dengan membandingkan respon sistem menggunakan PID dan tanpa menggunakan PID.

4.6.1 Pengujian Kestabilan Sistem

Pengujian kestabilan sistem bertujuan untuk melihat respon sistem yang telah diberi kontroler PID dengan pembacaan laju aliran air menggunakan sensor *water flow*. Respon sistem diambil dari respon motor BLDC saat diberi masukan nilai *setpoint*. Respon pengujian sistem ditunjukkan pada Gambar 4.6. Respon pengujian ini akan di analisa menggunakan karakteristik respon waktu agar dapat diketahui performansi sistemnya, pada saat nilai debit setpoint sebesar 10 L/M.



Gambar 4.6 Respon Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Hasil respon pengujian sistem seperti pada Gambar 4.6 dapat dinyatakan fungsi alih respon motor BLDC sebagai berikut. Dimana K adalah *gain overall* dan τ adalah konstanta waktu.

- $K = \frac{y_{ss}}{x_{ss}} = \frac{10.01}{9.95} = 1.01$
- $\tau = 3.31$

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{1.01}{3.31 s + 1}$$

Hasil respon pengujian kestabilan sistem tersebut juga dapat ditentukan karakteristik respon transient sistem orde pertama nya sebagai berikut. Spesifikasi respon transient yang ditentukan yaitu *rise time*, *time delay* dan *settling time*. Nilai *rise time* atau waktu naik yang diukur saat respon mencapai 5% - 95% dari *steady state*. Hasil perhitungan *rise time* pada pengujian kestabilan sistem, didapatkan nilai 9.74, yang menunjukkan bahwa pada nilai tersebut respon sistem telah muncul secara utuh. Perhitungan nilai t_r yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% dapat dilihat pada persamaan 2.13.

$$\begin{aligned} t_r (5\% - 95\%) &= \tau \ln 19 \\ &= 3.31 (\ln 19) \\ &= 9.74 \end{aligned}$$

Nilai *time delay* atau waktu tunda diukur saat respon mencapai 50% dari keadaan *steady state*. Hasil perhitungan *time delay*, didapatkan nilai 2.29, yang menunjukkan bahwa nilai tersebut merupakan nilai keterlambatan respon akibat proses sampling. Perhitungan nilai t_d yang dapat dilihat pada persamaan 2.15.

$$\begin{aligned} t_d = t_{50\%} &= \tau \ln 2 \\ &= 3.31 (\ln 2) \\ &= 2.29 \end{aligned}$$

Sedangkan nilai *settling time* atau waktu tunak diukur saat respon mencapai 5% dari keadaan *steady state*. Hasil perhitungan *settling time*, didapatkan nilai 9.91, yang menunjukkan bahwa pada nilai tersebut respon sistem telah mencapai keadaan *steady*. Perhitungan nilai t_s yang menyatakan bahwa respon sistem telah *steady* pada 5% dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$\begin{aligned} t_s = t(5\%) &= \tau \ln 20 \\ &= 3.31 (\ln 20) \\ &= 9.91 \end{aligned}$$

Pengimplementasian PID pada sistem dapat dikatakan berhasil dengan mengukur besarnya kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* dengan nilai 1 %. Pengukuran *error steady state* ditentukan sebagai berikut. Perhitungan nilai *error steady state* yang menyatakan bahwa besarnya kesalahan pada keadaan tunak dapat dilihat pada persamaan 2.18.

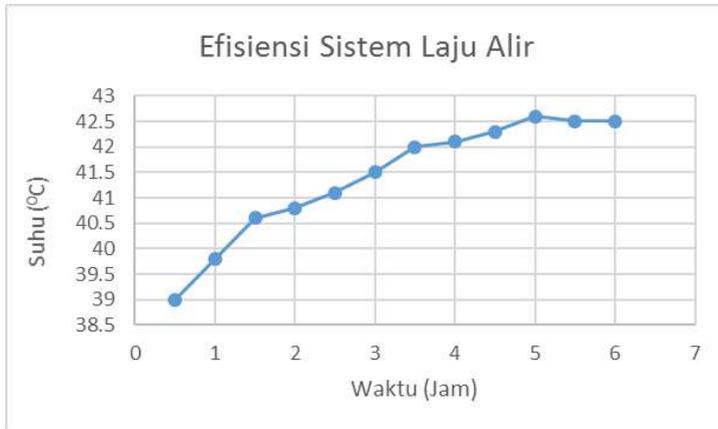
$$\begin{aligned} \% \varepsilon_{ss} &= (1 - K) \times 100\% \\ &= (1 - 1.01) \times 100\% \\ &= 1\% \end{aligned}$$

4.6.2 Pengujian Efisiensi Sistem

Perubahan air dari diam menjadi bergerak memiliki energi kinetik dan potensial. Sehingga pengujian efisiensi sistem dilakukan dengan melihat perbandingan energi yang digunakan untuk mensuplai sistem dengan energi yang berubah yaitu aliran air. Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan sistem selama 6 jam

Tabel 4.5 Pengujian Efisiensi Sistem

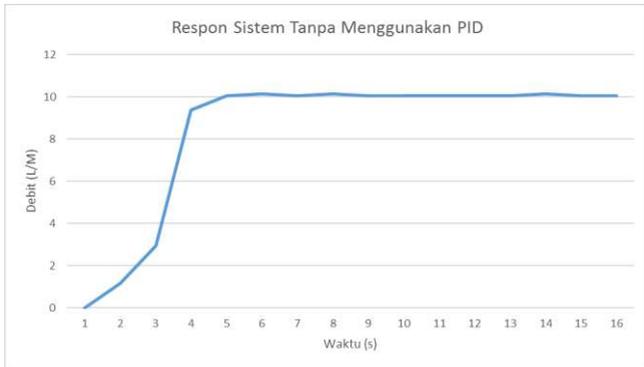
Waktu (Hour)	Energi Supply			Debit yang Terukur (L/M)	Suhu (°C)
	Voltage (V)	Arus (A)	Daya (Watt)		
0,5	24	1,54	36,96	15,02	39,0
1	24	1,54	36,96	15,02	39,8
1,5	24	1,54	36,96	15,02	40,6
2	24	1,54	36,96	15,02	40,8
2,5	24	1,54	36,96	15,02	41,1
3	24	1,54	36,96	15,02	41,5
3,5	24	1,54	36,96	15,02	42,0
4	24	1,54	36,96	15,02	42,1
4,5	24	1,54	36,96	15,02	42,3
5	24	1,54	36,96	15,02	42,6
5,5	24	1,54	36,96	15,02	42,4
6	24	1,54	36,96	15,02	42,5



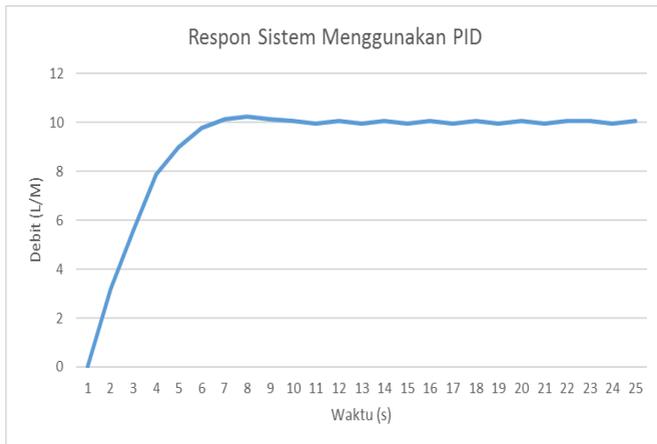
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Efisiensi Sistem

Kemudian pada motor BLDC akan ditempelkan sensor suhu untuk mengetahui pengaruh panas sistem pada kontrol laju aliran air. Pengujian dilakukan di dalam ruangan laboratorium dengan suhu normal. Hasil pengujian efisiensi sistem ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Hasil pengujian efisiensi sistem selama 6 jam, didapatkan besar daya rata-rata yaitu 36,48 watt dengan besar aliran air yaitu 15,02 L/M. Pada pengujian ini motor BLDC semakin lama akan bertambah panas suhunya, namun tidak mempengaruhi kinerja dari sistem. Grafik pengujian efisiensi sistem ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Respon Pengujian Sistem Tanpa Menggunakan PID



Gambar 4.9 Respon Pengujian Sistem PID

4.6.3 Pengujian Sistem Tanpa Beban

Pengujian sistem tanpa beban dilakukan dengan menjalankan sistem kontrol Laju alir pompa air, kemudian dilihat respon sistemnya. Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon kerja sistem ketika diberi kontroler PID dan tanpa diberi kontroler. Pada pengujian sistem tanpa menggunakan PID terlihat bahwa pada kenaikan sistem tidak stabil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Sedangkan pada pengujian sistem dengan menggunakan PID terlihat bahwa pada kenaikan sistem stabil dan tidak memiliki *overshoot* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Sehingga dengan adanya penambahan kontrol PID, dapat membuat sistem lebih stabil dan dapat mengontrol laju aliran pompa air sesuai dengan nilai yang telah ditentukan.

4.6.4 Pengujian Sistem Menggunakan Beban

Pengujian keseluruhan sistem menggunakan beban dilakukan dengan memutar katup kran yang ada pada sistem dan mencatat besar nilai debit serta melihat respon sistem ketika sudut katup kran diubah. Pengujian ini dilakukan pada saat sistem diberi kontrol dan tanpa diberi kontrol.

Pengujian sistem dengan beban menggunakan PID ditunjukkan pada Tabel 4.6. Pengujian ini dilakukan dengan merubah sudut kran pada 00, 100, 200, 300, 400, 500, dan 600. Pada pengujian ini nilai debit setpoint telah ditentukan pada 5 L/M. Hasil pengujian sistem didapatkan nilai debit yang terukur mendekati nilai setpoint, dengan rata – rata prosentase errornya yaitu 0.9%. Hasil tersebut membuktikan bahwa penambahan kontrol PID membuat sistem lebih stabil dengan nilai error yang dapat ditoleransi.

Pada pengujian sistem dengan beban tanpa menggunakan PID ditunjukkan pada Tabel 4.7. Pada pengujian ini juga dilakukan dengan merubah sudut kran pada 0⁰, 10⁰, 20⁰, 30⁰, 40⁰, 50⁰, dan 60⁰. Pengujian ini menggunakan nilai debit setpoint yang telah ditentukan pada 5 L/M. Pada hasil pengujian sistem didapatkan nilai debit yang terukur menjahui nilai setpoint, yaitu dengan rata – rata prosentase error 23.2%. Hasil tersebut membuktikan bahwa sistem yang tidak diberi kontroler kinerjanya tidak stabil dan didapatkan nilai nilai error yang besar.

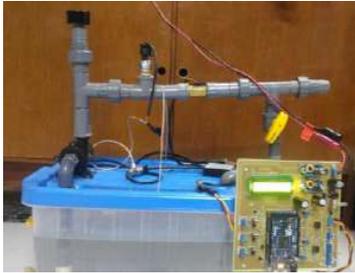
Tabel 4.6 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID

Sudut (°)	Debit yang Ditentukan (L/M)	Debit yang Terukur (L/M)	Error (%)
0	5	5	0
10	5	4.99	0.2
20	5	4.98	0.4
30	5	4.96	0.8
40	5	4.95	1
50	5	4.94	1.2
60	5	4.86	2.8

Tabel 4.7 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID

Sudut (°)	Debit yang Ditentukan (L/M)	Debit yang Terukur (L/M)	Error (%)
0	5	5.04	0.8
10	5	4.99	0.2
20	5	4.71	5.8
30	5	4.72	5.6
40	5	3.88	22.4
50	5	2.34	53.2
60	5	1.27	74.6

Pada pengujian sistem menggunakan beban dengan PID, laju aliran air dapat kembali ke nilai *setpoint* ketika sistem diberi hambatan berupa putaran kran air dengan sudut tertentu. Pada Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian sistem menggunakan menggunakan PID saat kran air diputar dari sudut 0 ke 40 derajat. Sedangkan pada Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian sistem menggunakan menggunakan PID saat kran air diputar dari sudut 0 ke 60 derajat.

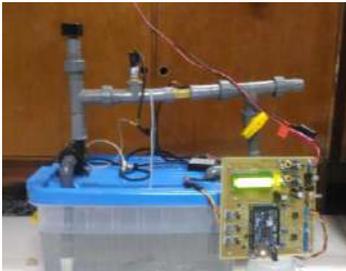


(a)



(b)

Gambar 4.10 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 40 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian



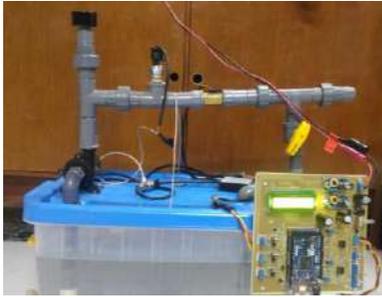
(a)



(b)

Gambar 4.11 Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 60 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian

Sedangkan pada pengujian sistem menggunakan beban tanpa menggunakan PID, laju aliran air tidak dapat kembali ke nilai *setpoint* ketika sistem di beri hambatan berupa putaran kran air dengan sudut tertentu. Pada Gambar 4.12 merupakan hasil pengujian sistem tanpa menggunakan PID saat kran air diputar dari sudut 0 ke 40 derajat. Sedangkan pada Gambar 4.13 merupakan hasil pengujian sistem tanpa menggunakan PID saat kran air diputar dari sudut 0 ke 60 derajat.

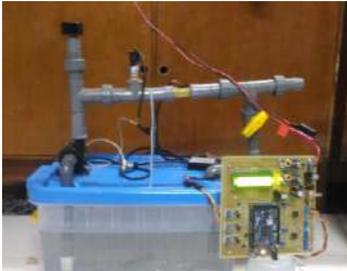


(a)



(b)

Gambar 4.12 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 40 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian



(a)



(b)

Gambar 4.13 Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 60 Derajat (a) Cara Pengujian (b) Grafik Hasil Pengujian

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan perencanaan, perancangan, dan pengujian sistem maka pemberian kesimpulan dan saran ditunjukkan untuk penyempurnaan penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Hasil dari perancangan sistem serta pengukuran dari Sistem Kontrol Laju Alir Pompa Air Berpenggerak *Brushless DC* Motor, dapat diambil kesimpulan bahwa laju alir dapat mempertahankan alirannya untuk tetap konstan.

Pada sistem ini telah dibuat rangkaian modifikasi analog *output* Arduino Due 3,3 V menjadi tegangan 0 – 4.8 V. Penentuan respon PID motor BLDC menggunakan metode Ziegler nichols didapatkan nilai $K_p = 6$, $K_i = 0.048$, dan $K_d = 1.5$, yang digunakan sebagai parameter nilai PID. Pengujian kestabilan sistem menggunakan analisa respon waktu, dengan nilai t_r (5% - 95%) = 9.74, nilai $t_d = 2.29$, nilai t_s (5%) = 9.91, dan nilai $\epsilon_{ss} = 1\%$.

Pada keseluruhan sistem menggunakan PID apabila diberikan beban berupa putaran kran didapatkan laju aliran air yang stabil dan mendekati nilai *setpoint* dengan *error* maksimum 2.8%. Sedangkan pada keseluruhan sistem tanpa menggunakan PID apabila diberikan beban berupa putaran kran didapatkan laju aliran air yang tidak stabil dan menjahui nilai *setpoint* dengan *error* maksimum 74.6%.

Dari kesimpulan diatas diharapkan sistem ini dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia yaitu untuk distribusi air minum atau untuk distribusi air bersih untuk berwudhu. Dimana pada sistem tersebut dibutuhkan laju alir yang konstan, sehingga penggunaan air dapat disesuaikan menurut kebutuhan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan pembuatan dari Sistem ada beberapa hal yang dapat dijadikan pertimbangan, yaitu untuk pengembangan lebih lanjut, sistem dapat ditambahkan sensor tekanan atau sensor kelembapan tanah untuk melengkapi kinerja sistem agar lebih kompleks. Dalam mengontrol Laju Alir Pompa Air dapat digunakan logika yang lebih bagus agar motor BLDC dapat berputar dengan lebih *smooth*.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

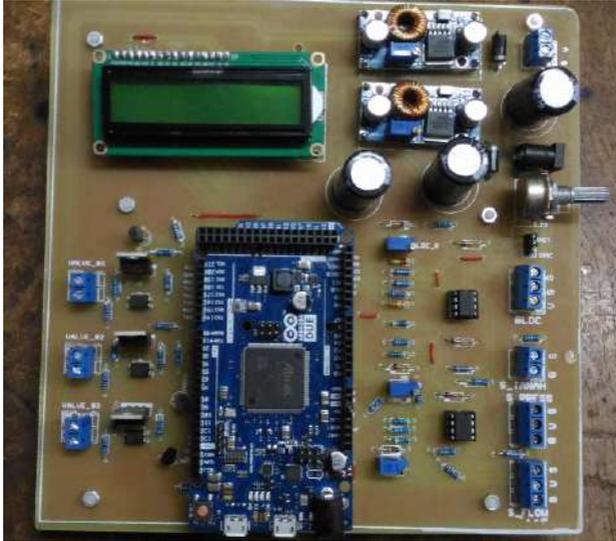
DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. B. Sasongko, E. Widyastuti, and R. E. Priyono, "Kajian Kualitas Air Dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Masyarakat Di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 12, no. 2: 72-82 (2014), pp. 73–82, Oktober 2014.
- [2] M. Dzulkifli S., M. Rivai, and S. Suwito, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Tanaman Otomatis Menggunakan Wireless Sensor Network," vol. 5, Jan. 2016.
- [3] A. Ansori, A. Ariyanto, and Syahroni, "Kajian Efektifitas dan Efisiensi Jaringan Irigasi Terhadap Kebutuhan Air pada Tanaman Padi (Studi Kasus Irigasi Kaiti Samo Kecamatan Rambah Kabupaten Rokan Hulu)," *Program Studi Tek. Sipil UPP*.
- [4] P. Wulandari, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Pompa Air Mengambang Bertenaga Surya Untuk Irigasi Tanaman," *J. Tek. Elektro UMS*, p. 17, Jul. 2017.
- [5] W. M. Ziwangga, W. I. Basori, and D. C. Happyanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Irigasi Cerdas Tenaga Surya Untuk Mengatasi Kekeringan Pertanian Cabai di Pegunungan Blitar Selatan," *J. Innov. Technol. Compet.*, p. 28, 2014.
- [6] P. Widodo and D. A. Nasution, "Rekayasa Disain Pompa Tenaga Surya untuk Irigasi Budidaya Bawang Merah di Lahan Kering," *Pros. Semin. Nas. Pengemb. Teknol. Pertan. V Polinela*, pp. 292–299, Sep. 2016.
- [7] A. A. J. Fahiswara, M. Ashari, and H. Suryoatmojo, *Desain dan Simulasi Sistem Pompa Air Sel Surya dengan Optimasi Kontrol Slip Untuk Memaksimalkan Daya dan Efisiensi*, vol. Tugas Akhir. Surabaya: Teknik Elektro, ITS, 2015.
- [8] B. Hartono and Purwanto, "Perancangan Pompa Air Tenaga Surya Guna Memindahkan Air Bersih ke Tangki Penampung," *J. SINTEK*, vol. 9 No 1, pp. 28–33.
- [9] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and S. H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Ejournal UNDIP*, pp. 59–63, 2016.
- [10] R. A. W. Putra, E. Firmansyah, and F. D. Wijaya, "Metode Six Step Comutation pada Perancangan Rangkaian Kendali Sensored Motor Brushless Direct Current," *J. Penelit. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 1 Nomor 1, pp. 46–50, Apr. 2014.

- [11] A. Suharjono, L. N. Rahayu, and R. Aofwah, "Aplikasi Sensor Flow Water Untuk Mengukur Penggunaan Air Pelanggan Secara Digital Serta Pengiriman Data Secara Otomatis Pada PDAM Kota Semarang," *J. TELE*, vol. 13 No 1, pp. 7–12, Mar. 2015.
- [12] R. Sood, M. Kaur, and H. Lenka, "Design and Development of Automatic Water Flowmeter," *Int. J. Comput. Sci. Eng. Appl.*, vol. 3, no. 3, pp. 49–59, Jun. 2013.
- [13] L. N. Elevich, *3-Phase BLDC Motor Control with Hall Sensors Using 56800/E Digital Signal Controllers*, 2nd ed. Freescale Semiconductor, Inc., 2005.
- [14] M. H. Rashid, Ed., *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*, 3. ed. Amsterdam: Elsevier/BH, Butterworth-Heinemann, 2011.
- [15] "Perbedaan BLDC dan Brushed DC pada Kendaraan Listrik."
- [16] F. Lin, H. Duan, and X. Qu, "PID control strategy for UAV flight control system based on improved genetic algorithm optimization," in *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, 2014, pp. 92–97.
- [17] V. Indragandhi, R. Selvamathi, and T. Arunkumari, "Speed control of a switched reluctance motor using PID controller for PV based water pumping applications," in *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 2017, pp. 1–4.
- [18] A. A. Kurniawan, M. Rivai, and F. Budiman, "Sistem Pemandu Pendaratan pada Balon Udara Berbasis Pengolahan Citra dan Kendali PID," *J. Tek. ITS*, vol. 5 No. 2, pp. 179–184, Jan. 2016.
- [19] M. Rivai, M. Suwito, P. Chondro, and S.-J. Ruan, "Design and implementation of a submerged capacitive sensor in PID controller to regulate the concentration of non-denatured ethyl alcohol," 2015, pp. 45–50.
- [20] P. Dwi Wijaya, M. Rivai, and Tasripan, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID," *J. Tek. ITS*, vol. 6, No. 2, (2017), pp. 787–792, Jul. 2017.
- [21] H. Wicaksono, "Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC," *J. Tek. Elektro UK Petra*, vol. 4 No.2, Sep. 2004.
- [22] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5 Ed. Pearson, 2009.

- [23] M. Banzi, *Getting Started with Arduino*, 2. ed. Sebastopol, CA: O'Reilly & Associates, 2011.
- [24] A. Da Silva Gaviola, M. Rivai, and H. Kusuma, "Audio beam steering with phased array method using Arduino Due Microcontroller," 2018, pp. 597–600.
- [25] Atmel, "SMART ARM-based MCU." Atmel Corporation, 2015.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



Gambar 2. Realisasi Board Kontrol Sistem

2. Listing Program Keseluruhan Sistem

```
#include <DueTimer.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <PID_v1.h>

LiquidCrystal lcd(23,25,27,29,31,33);

long int pulsa, cnt, frek, dis, frek2;
int data, dac;
float debit, debit1, debit2;
//1kHz
//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;
//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=6, Ki=0.048, Kd=1.5;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

```

//=====
=====

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(DAC0, OUTPUT);
  digitalWrite(3, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3),interrupt1,FALLING);
  Timer3.attachInterrupt(intertime);
  Timer3.start(1000000); // Calls every
  cnt=0;
  pulsa=0;
  Setpoint = 5;

  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);

  myPID.SetMode(AUTOMATIC); //turn the PID on
}

void loop()
{
  cnt = cnt + 1;
  Input = debit;
  myPID.Compute();
  analogWrite(DAC0,Output);

  dis = dis + 1; //display
  if(dis>=10)
  {
    dis=0;
    Serial.print(Output);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(cnt);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(debit);
  }
}

```

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Debit:   l/m");

    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print(debit);

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sp= ");

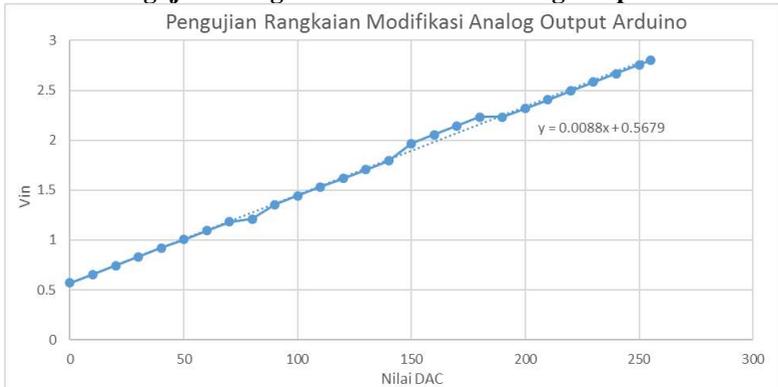
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.print(Setpoint);
}
delay(100);
}

void intertime()
{
    frek=pulsa;
    frek2=frek*frek;
    debit1=0.0875734*frek;
    debit2=0.00004033*frek2;
    debit=1.173+debit1+debit2;
    pulsa=0;
}

void interupt1()
{
    pulsa=pulsa+1;
}

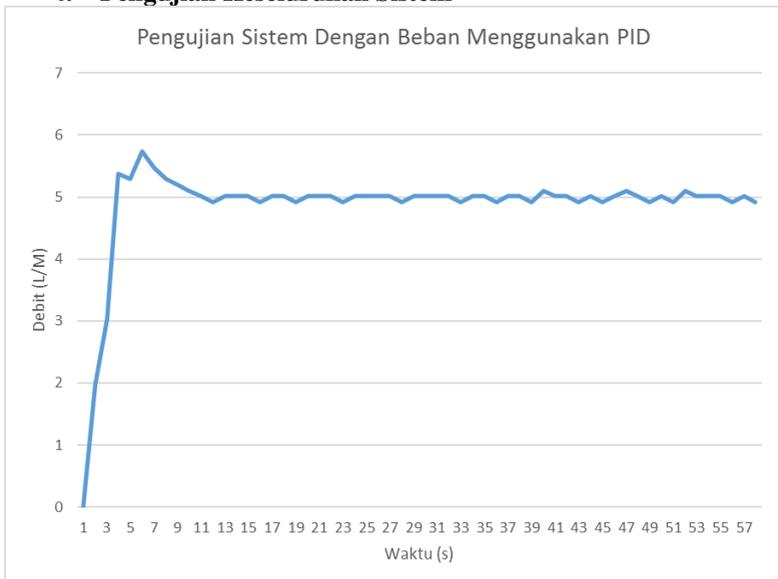
```

3. Pengujian Rangkaian Modifikasi Analog Output

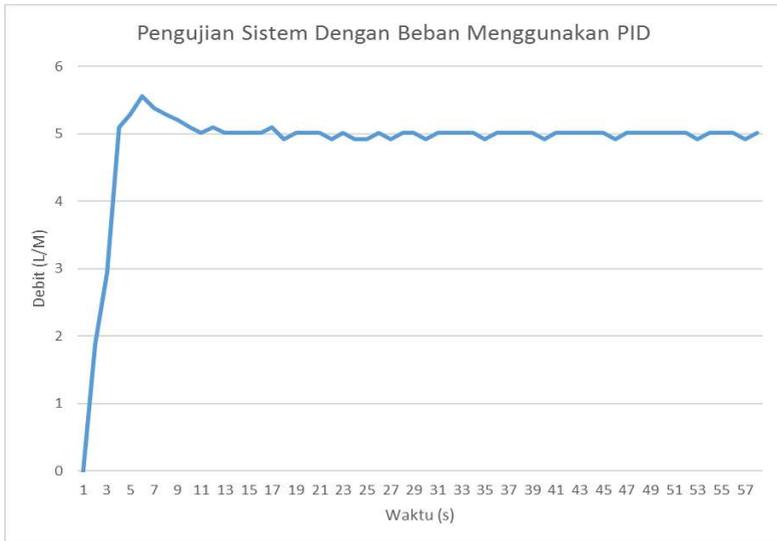


Gambar 3. Linearisasi Tenggangan Input pada Rangkaian Modifikasi Analog Output

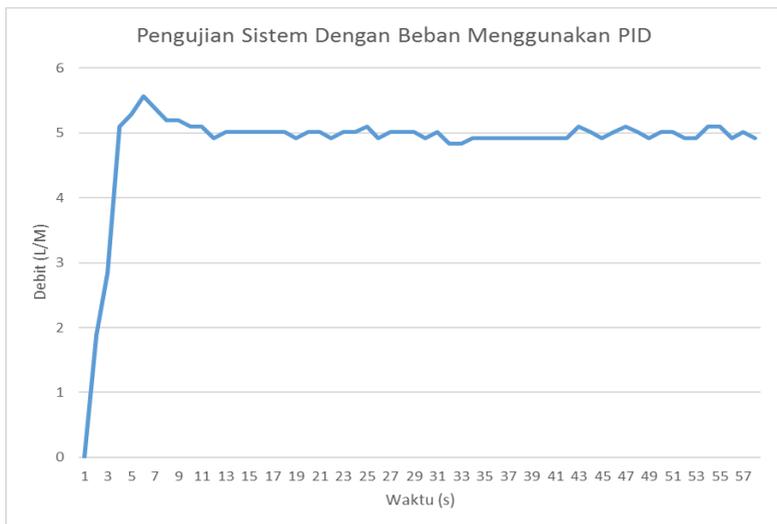
4. Pengujian Keseluruhan Sistem



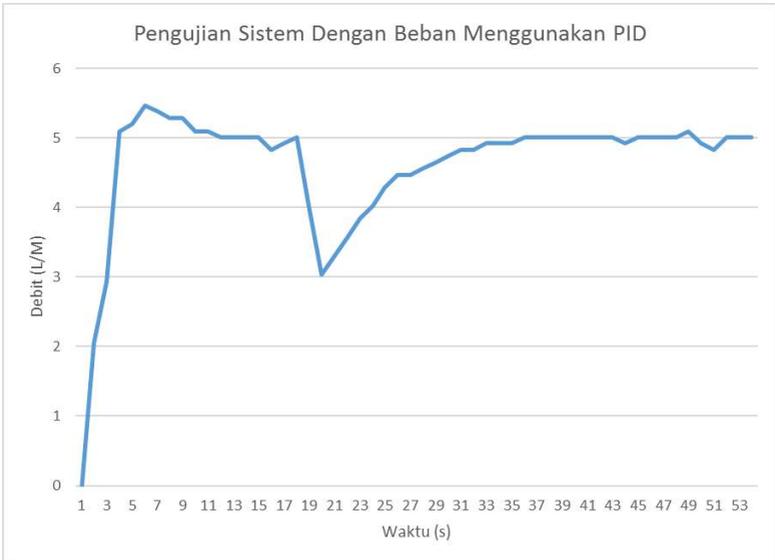
Gambar 4. Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 10 Derajat



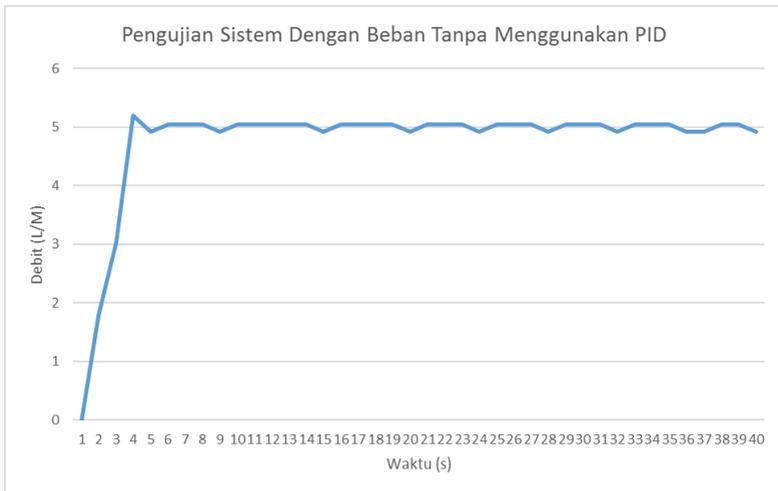
Gambar 5. Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 20 Derajat



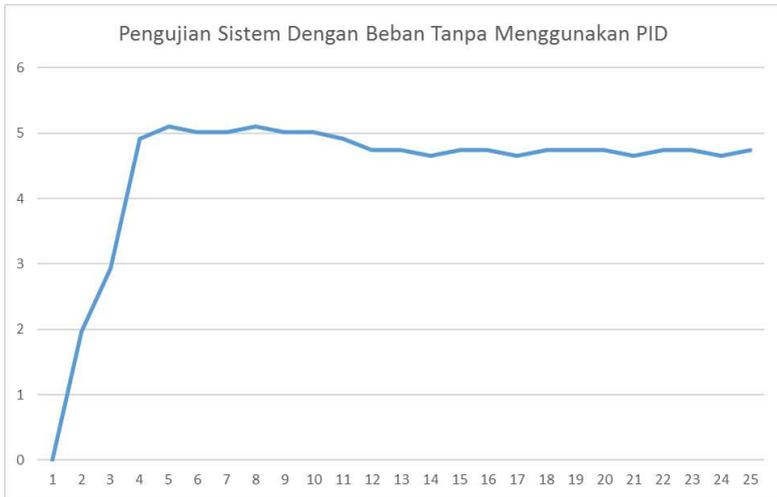
Gambar 6. Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 30 Derajat



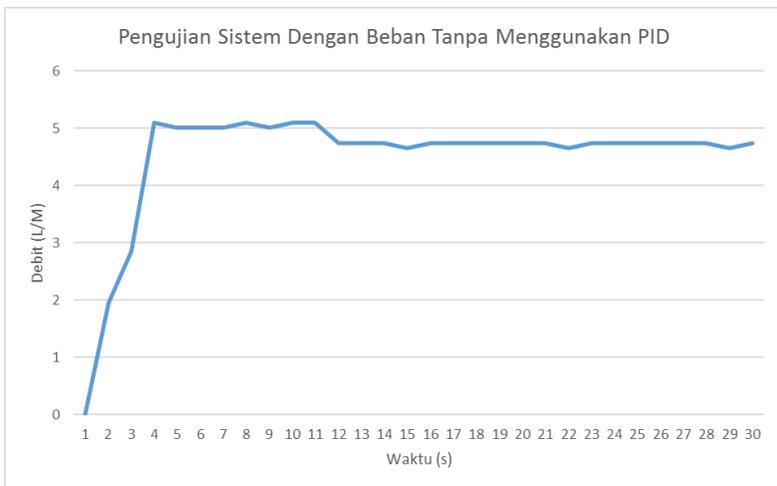
Gambar 7. Pengujian Sistem dengan Beban Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 50 Derajat



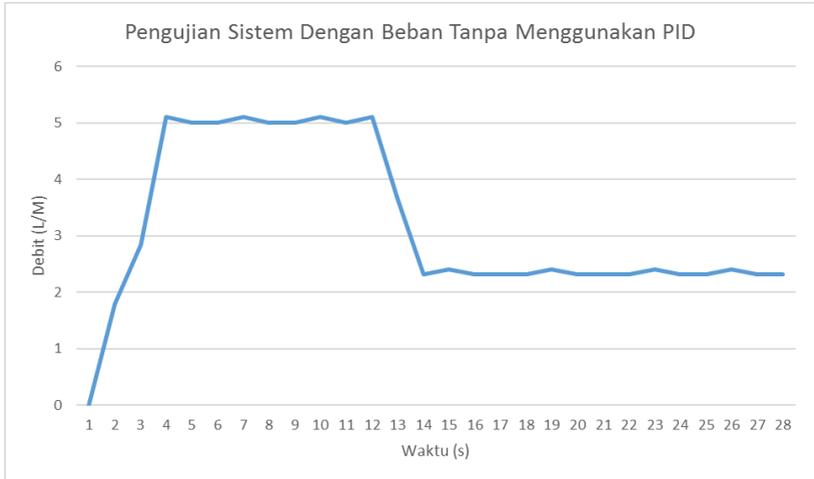
Gambar 8. Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 10 Derajat



Gambar 9. Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 20 Derajat



Gambar 10. Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 30 Derajat

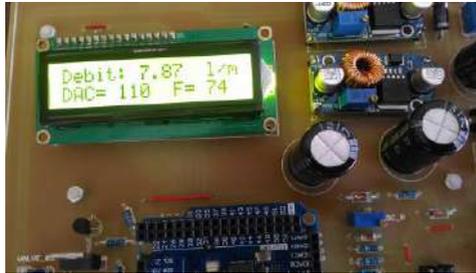


Gambar 11. Pengujian Sistem dengan Beban Tanpa Menggunakan PID saat Sudut 0 ke 50 Derajat

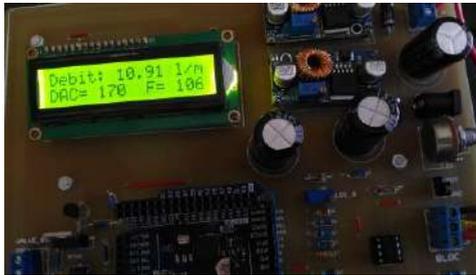
5. Dokumentasi Pengujian Sistem



Gambar 12. Validasi Pengujian Sensor Water Flow dengan Input DAC 50



Gambar 13. Validasi Pengujian Sensor Water Flow dengan Input DAC 110



Gambar 14. Validasi Pengujian Sensor Water Flow dengan Input DAC 170



Gambar 15. Validasi Pengujian Sensor Water Flow dengan Input DAC 250



Gambar 16. Hasil Pengujian Efisiensi Sistem dalam 30 Menit



Gambar 17. Hasil Pengujian Efisiensi Sistem dalam 3 Jam



Gambar 18. Hasil Pengujian Efisiensi Sistem dalam 4,5 Jam

6. Datasheet

- BLDC Pump DC150E

DC50E
Series

BLDC PUMP



DC50E series has three sub-series. T series is common two phase series with general performance. S and A series are high performance sub-series, which we called three phase series. S series is speed fixed and A series is speed adjustable. Be note, all sub-series use common DC power supply.

Main Features

- Brushless DC motor, also known as EC motor; Magnetic Driven;
- Small size but strong; Low consumption & High Efficiency;
- Long time continuous working, lifespan about 30000 hours;
- Safety - no spark, Explosion - proof; Low noise about 40dB;
- Submersible, 100% waterproof;
- Wide range of working voltage; Maintenance - free;
- Can be used to pump water, oil, acid and alkali solution;
- Variety Power: DC electric source, Battery or Solar Panel;
- Soft Start with Low in-rush current, great for Solar SYS; (only S and A series)

Specifications

Inlet (Outer diameter): 1/2 inch thread (about 20mm)

Outlet (Outer diameter): 1/2 inch thread (about 20mm)

Material: PA66 + 30% glass fiber (optional)

Weight: about 500 g

Max working temperature: 60°C for T series, 100°C for S & A series

Speed Control: Potentiometer, Analog signal or PWM (only A series)

Program Control or protection: Optional (only S & A series)

Speed adjust & Control Box



Speed adjust way (only A series):

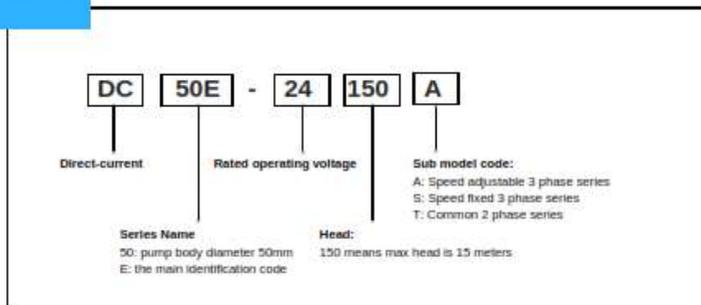
1. default: by potentiometer or 0-5V analog signal;
2. by PWM (50-800 HZ Amplitude 5V)

Connection: connect the black wire to ground lead and yellow wire to the signal of your system. Hang the red wire in the air.

Three-phase DC pump controller (only S & A series): All electronic components are put inside of the control box, and separated from pump body, so pump body can bear higher hot water (100°C max)

DC50E Series

Model Code



Model List

Model	Voltage (V)	Current (A)	Max flow (L/H)	Max head (M)
DC50E-1250T DC50E-1250S DC50E-1250A	12	2.0	900	5
DC50E-12110S DC50E-12110A	12	4.5	1320	11
DC50E-2480T DC50E-2480S DC50E-2480A	24	2.0	1080	8
DC50E-24150S DC50E-24150A	24	3.6	1560	15

Tips:

We offer customized service according to your specific needs at a reasonable price.

- LM358



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N
ENC287A—JANUARY 2000—REVISED DECEMBER 2014

LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers

1 Features

- Available in 8-Bump DSBGA Chip-Sized Package. (See AN-1112, [SNVA005](#))
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain): 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
 - Single Supply: 3V to 32V
 - Or Dual Supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very Low Supply Current Drain (500 μA)—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Offset Voltage: 2 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing
- Unique Characteristics:
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage Can Also Swing to Ground, even though Operated from Only a Single Power Supply Voltage.
 - The Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated.
 - The Input Bias Current is also Temperature Compensated.
- Advantages:
 - Two Internally Compensated Op Amps
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{OUT} Also Goes to GND
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Active Filters
- General Signal Conditioning and Amplification
- 4- to 20-mA Current Loop Transmitters

3 Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard 3.3-V power supply voltage, which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

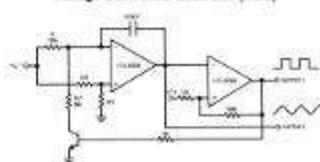
The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology.

Device Information⁽¹⁾

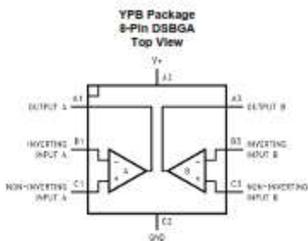
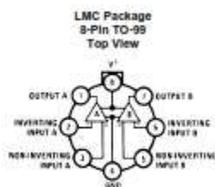
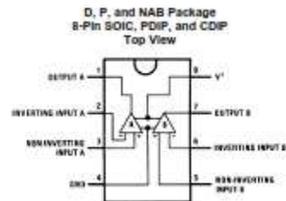
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM158-N	TO-CAN (R)	9.08 mm x 9.09 mm
	CDIP (S)	10.16 mm x 5.902 mm
LM258-N	TO-CAN (R)	9.08 mm x 9.09 mm
	DSBGA (S)	1.21 mm x 1.21 mm
LM2904-N	SQIC (S)	4.60 mm x 3.91 mm
	PDF (S)	3.81 mm x 6.35 mm
	TO-CAN (R)	9.08 mm x 9.09 mm
LM358-N	DSBGA (S)	1.21 mm x 1.21 mm
	SQIC (R)	4.90 mm x 3.91 mm
	PDF (S)	3.81 mm x 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Voltage Controlled Oscillator (VCO)



5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

D/P/LMC NO.	PIN		TYPE	DESCRIPTION
	DSBGA NO.	NAME		
1	A1	OUTA	O	Output, Channel A
2	B1	-INA	I	Inverting Input, Channel A
3	C1	+NA	I	Non-Inverting Input, Channel A
4	C2	GND / V-	P	Ground for Single supply configurations, negative supply for dual supply configurations
5	C3	+NB	I	Output, Channel B
6	B3	-INB	I	Inverting Input, Channel B
7	A3	OUTB	O	Non-Inverting Input, Channel B
8	A2	V+	P	Positive Supply

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

See (1)(2)(3).

		LM158, LM258, LM358, LM158A, LM258A, LM358A		LM2904		UNIT		
		MIN	MAX	MIN	MAX			
Supply Voltage, V^+		32		26		V		
Differential Input Voltage		32		26		V		
Input Voltage		-0.3		32		V		
Power Dissipation ⁽⁴⁾	PDIP (P)	530		530		mW		
	TO-99 (LMC)	550				mW		
	SOIC (D)	530		530		mW		
	DSBGA (YFB)	435				mW		
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) ⁽⁵⁾	$V^+ \leq 15$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$	Continuous		Continuous		s		
Input Current ($V_{IN} < -0.3\text{V}$) ⁽⁶⁾		50		50		mA		
Temperature			-55	125			$^\circ\text{C}$	
	PDIP Package (P): Soldering (10 seconds)		260		260		$^\circ\text{C}$	
	SOIC Package (D)	Vapor Phase (60 seconds)		215		215		$^\circ\text{C}$
		Infrared (15 seconds)		220		220		$^\circ\text{C}$
Lead Temperature	PDIP (P): (Soldering, 10 seconds)		260		260		$^\circ\text{C}$	
	TO-99 (LMC): (Soldering, 10 seconds)		300		300		$^\circ\text{C}$	
Storage temperature, T_{STG}		-65		150		$^\circ\text{C}$		

(1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Recommended Operating Conditions indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.

(2) Refer to RETS158A for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

(3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(4) For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for PDIP, 162°C/W for TO-99, 109°C/W for SOIC package, and 230°C/W for DSBGA, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

(5) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

(6) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).

6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT	
V_{ESD}	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±250	V

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

- **Sensor Water Flow (dilihat pada**
https://www.aliexpress.com/store/product/Stainless-steel-20-5mm-thread-G1-2-1-30L-MIN-Hall-effect-water-liquid-SUS304-flow/1872079_32819511162.html?spm=2114.10010108.1000023.1.581ae1adbmZfRh)

Item specifics	
Brand Name: HaiHuiLai	Model Number: SUS-44
Diy Supplies: Electrical	Thread: G1/2"
Flow rate: 1-30L/min	Material: Stainless steel 304
Product: water Hall flow sensor meter	Flow Pulse: F(Hz)=(11xQ) -3% +10% Q=L/min
Temperature: 0-80	Accuracy: 5%-10%
Size: L 44 x26.5 mm x 1/2"	Function: Hall sensor pulse
Working Voltage: DC 5V-24V	

Product Description

G1/2" flow rate 1-30L/min water Hall Turbine stainless steel flow sensor meter control water liquid rate not brass flow sensor

Product item no. :SUS-44
 Material : Stainless steel 304
 Brand : HaiHuiLai

Specification :
 Function : Sensor , flow rate control
 Thread size : Male g1/2" - OD20.5MM
 Size: L 44x26.5MM x DN15
 Color : Silver colour
 Flow rate : **1-30L/min**
 Flow Pulse: F(Hz)=(11xQ) -3% +10% Q=L/min
 Max. Working Current : 15mA (DC 5 V)
Min. Working Voltage: DC 4.5V
Working Voltage:DC 5V-24V
 Load Capacity: ~10 mA (DC 5 V)
 Operating Working Temperature :
 -25 Degree centigrade to +80 Degree centigrade
 Liquid Temperature: Max 80
 Accuracy : 5%
 Cable connection: Red: positive + ; black: Negative - ; Yellow: Pulse Signal.

瞬时频率 (Hz) - 流量 (L/min) 曲线表
 $F = 11 * Q (L/min) - 5 \pm 10\%$
 1L water = 596 pulse $\pm 10\%$

Pulse (Hz)	Flow Rate (L/min)
10	1.0
20	2.0
30	3.0
40	4.0
50	5.0
60	6.0
70	7.0
80	8.0
90	9.0
100	10.0

RIWAYAT HIDUP



Arista Ainurrohmah lahir di Surabaya pada tanggal 27 April 1995. Menyelesaikan pendidikannya di SDI Tarbiyathul Athfal Surabaya Surabaya (2001-2007), SMP Negeri 17 Surabaya (2007-2010), SMA Negeri 20 Surabaya (2010-2013), dan D3 Teknik Elektro ITS Surabaya (2013-2016). Pada tahun 2016, melanjutkan pendidikan Lintas Jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Departemen Teknik Elektro. Di Departemen Teknik Elektro ini, kemudian memilih Elektronika sebagai bidang studi yang ditekuni. Pada bulan Juni 2018, mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----