

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI ARAH ALIRAN AIR
(*GUIDE VANE*) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO**

TUGAS AKHIR



Di susun oleh :

Zulfahmi Lubis (11524065)

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI ARAH ALIRAN AIR (*GUIDE VANE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO**



الجامعة الإسلامية
Yogyakarta, 19 April 2018

Menyetujui,
Pembimbing 1

Sisdarmanto Adinandra . S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI ARAH ALIRAN AIR (*GUIDE VANE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

TUGAS AKHIR

Disusun oleh:

Zulfahmi Lubis

11524065

Telah dipertahankan didepan sidang penguji
sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 05 Mei 2018

Tim Penguji,

Ketua
Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D.

Anggota I
Alvin Sahroni, ST, M.Eng, Ph.D.

Anggota II
Firmansyah Nur Budiman, ST, M.Sc.



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



Hendra Setiawan, S.T., M.T.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Zulfahmi Lubis

No. Mahasiswa : 11524065

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten akan di diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 19 April 2018



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum. Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya maka penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro pendidikan Strata Satu (S1) Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat hingga akhir zaman.

Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak untuk itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orangtua tercinta yang selalu mendoakan dan membantu segala sesuatunya.
2. Bapak Sisdarmanto Adinandra . S.T., M.Sc., Ph.D. yang telah memberikan ijin penelitian dan juga sebagai dosen pembimbing.
3. Bapak Dr.Eng Hendra Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama duduk di bangku kuliah.
5. Teman-teman Teknik Elektro UII yang mau berbagi ilmunya untuk membantu saya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Pada akhirnya penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila penulis masih memiliki kekurangan baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Semoga Allah SWT selalu meridhai kita semua Amin.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 19 April 2018

Zulfahmi Lubis

ABSTRAK

Guide vane merupakan komponen untuk menentukan arah dan jumlah debit air yang akan masuk kedalam turbin. Pengendalian *guide vane* diperlukan karena pada saat sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro berjalan, nilai dari putaran turbin akan selalu berubah sesuai dengan jumlah debit air yang masuk dan juga beban yang disuplai. Maka peran pengendalian *guide vane* sangatlah penting untuk menstabilkan nilai putaran turbin agar tidak selalu berubah ubah ketika jumlah debit dan beban yang disuplai terjadi perubahan. Skripsi ini membahas tentang bagaimana cara membuat pengendali *guide vane* yang akan bekerja secara otomatis sesuai dengan kondisi beban. Sistem pengendali yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan membaca putaran turbin, kemudian membandingkannya dengan nilai *set point* dan dilanjutkan dengan pemberian perintah oleh mikrokontroler arduino uno untuk menggerakkan aktuator servo yang akan mengatur sudut pergerakan *guide vane*. Hasil yang didapat pada perancangan sistem pengendali ini adalah pada saat sudut bukaan *guide vane* berada pada posisi maksimal, putaran turbin yang diperoleh adalah 420 rpm. Setelah seluruh sistem pengendalian diterapkan, didapati bahwa *guide vane* memiliki batas gerak sudut pengendalian yaitu 30° - 55° . Ketika *guide vane* telah mencapai batas gerak tersebut, maka *guide vane* tidak dapat lagi bergerak untuk mengendalikan putaran turbin, hasil tersebut dapat dilihat pada percobaan pengendalian menggunakan nilai *set point* 420 rpm. Sedangkan pada *set point* 300 dan 240 rpm sudut gerak *guide vane* masih dalam jarak batas yang telah diperoleh, sehingga pengendali dapat bekerja dengan baik untuk mengendalikan putaran turbin sesuai dengan *set point*.

Kata kunci : *Guide vane*, efisiensi, pengendali, putaran turbin (rpm)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB 2.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Studi Literatur.....	3
2.2. Tinjauan Teori	3
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	3
2.2.2. <i>Guide Vane</i> (Pengarah Aliran Air)	5
2.2.3. <i>Sensor Rotary Encoder</i>	5
2.2.4. Interupsi (<i>Interrupt</i>) Pada Mikrokontroler Arduino Uno.....	6
BAB 3.....	8
PERANCANGAN SISTEM	8
3.1. Desain Sistem	8
3.2. Pengumpulan Data.....	9
3.3. Perancangan Rangkaian Mekanik.....	9
3.3.1. Desain Dengan Menggunakan <i>Software Solidworks</i>	9
3.4. Perancangan Rangkaian Elektronik.....	12
3.4.1. Beban LED.....	12
3.4.2. Generator DC	13
3.4.3. Sensor.....	13

3.4.4. Aktuator	14
3.4.5. Mikrokontroler	14
3.4.6. Pemrograman Mikrokontroler	15
BAB 4.....	16
PENGUJIAN, ANALISA DAN PEMBAHASAN	16
4.1. Pengujian dan Analisa Nilai Kecepatan Putaran Turbin	16
4.2. Analisa Nilai Frekuensi	16
4.3. Pengujian dan Analisa Sistem Kendali.....	17
BAB V.....	20
KESIMPULAN DAN SARAN	20
5.1. Kesimpulan.....	20
5.2. Saran	20
DAFTAR PUSTAKA	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem PLTMH sederhana.....	4
Gambar 2.2. Sudut pergerakan <i>guide vane</i>	5
Gambar 2.3. Sensor <i>rotary encoder</i>	6
Gambar 2.4. Mikrokontroler Arduino Uno.....	7
Gambar 3.1. Diagram blok sistem.....	8
Gambar 3.2. Desain dan dimensi turbin.....	10
Gambar 3.3. Desain dan dimensi <i>guide vane</i>	10
Gambar 3.4. <i>Assembly</i> desain dan dimensi miniatur PLTMH.....	11
Gambar 3.5. Hasil perakitan.....	11
Gambar 3.6. Rangkaian skematik sistem elektronik.....	12
Gambar 3.7. Rangkaian beban LED.....	12
Gambar 3.8. Generator DC.....	13
Gambar 3.9. Sensor <i>encoder</i>	13
Gambar 3.10. Aktuator servo.....	14
Gambar 3.11. Mikrokontroler Arduino Uno	14
Gambar 3.12. <i>Flowchart</i> pemrograman.....	15
Gambar 4.1. Grafik performa rata – rata putaran turbin (rpm).....	19

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tabel pengukuran kecepatan turbin dalam satuan rpm.....	16
Tabel 4.2. Tabel pengukuran nilai frekuensi	17
Tabel 4.3. Tabel Percobaan sistem kendali	18

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik pada masa sekarang ini semakin meningkat sejalan perkembangannya kebutuhan manusia. Dengan semakin menipisnya sumber energi yang memanfaatkan bahan bakar minyak (BBM), maka dilakukanlah pengembangan berbagai macam pemanfaatan sumber energi. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu bentuk dari solusi pembaharuan pembangkitan energi listrik dengan cara memanfaatkan air dengan debit yang kecil sebagai sumber tenaga untuk menghasilkan energi listrik. Akan tetapi pada kenyataannya pembangkit listrik tenaga mikrohidro mempunyai kelemahan dalam pengoperasian. Tegangan yang dihasilkan PLTMH tidak stabil dan selalu berubah tergantung kondisi debit air dan beban. Sehingga dalam pengoperasian PLTMH dibutuhkan sebuah alat pengendali yang berfungsi mengendalikan kecepatan dan arah air ketika terjadi perubahan putaran turbin.

Pada umumnya pengendali yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro saat ini berbentuk gerbang yang berfungsi menentukan jumlah debit air yang masuk dan sekaligus mengarahkan aliran air sebelum masuk ke turbin atau biasa disebut *guide vane*. Akan tetapi baik keduanya dalam pengoperasiannya masih dilakukan secara manual atau dengan kata lain dibutuhkan tenaga manusia sebagai pengawas dan penggerak pengendali tersebut. Hal ini akan terlalu banyak menyita waktu dan tenaga untuk pemantauan kondisi pembangkit listrik tersebut sehingga bisa dikatakan pengendaliannya akan tidak efektif jika operator tidak secara terus-menerus melakukan pemantauan.

Disinilah dibutuhkan sebuah alat pengendali arah aliran air (*guide vane*) untuk menentukan kecepatan putaran turbin yang bekerja secara otomatis dan tidak terlalu menyita tenaga dan waktu manusia dalam pengawasannya. Sehingga dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut dapat maksimal dan efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:
Bagaimana membuat sistem kendali arah aliran air (*guide vane*) yang bekerja secara otomatis pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro ?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Menggunakan miniatur PLTMH.
2. Penelitian ini berfokus pada pengamatan pengaruh gerak *guide vane* terhadap nilai putaran turbin.
3. Menggunakan mikrokontroler arduino UNO.
4. Menggunakan pompa air sebagai pengganti bak penampung.

1.4. Tujuan Penelitian

Membuat sistem kendali arah aliran air (*guide vane*) yang bekerja secara otomatis pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari proyek akhir ini diharapkan dapat membantu operator dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Literatur

Penelitian pertama oleh Fukutomi dan Nakamura [1]. Penelitian ini membahas tentang pengaruh penerapan *guide vane* terhadap performa turbin *crossflow*. Pada penelitian ini didapati bahwa dengan menerapkan *guide vane* pada ujung pipa masuk, performa dari turbin *crossflow* menjadi meningkat baik dari segi tekanan maupun efisiensinya.

Penelitian kedua oleh Welson [2]. Penelitian ini membahas tentang pengendalian *governor (guide vane)* secara otomatis menggunakan bantuan motor DC jenis *wiper* sebagai aktuator. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah jenis aktuator yang akan digunakan yaitu motor servo untuk menggerakkan katup pengendali banyaknya air yang masuk ke turbin. Baik motor DC maupun motor servo tersebut akan beroperasi secara otomatis, akan tetapi motor DC akan bekerja dengan merespon sinyal tegangan yang dihasilkan generator. Sedangkan motor servo akan bekerja dengan merespon putaran yang dihasilkan oleh turbin.

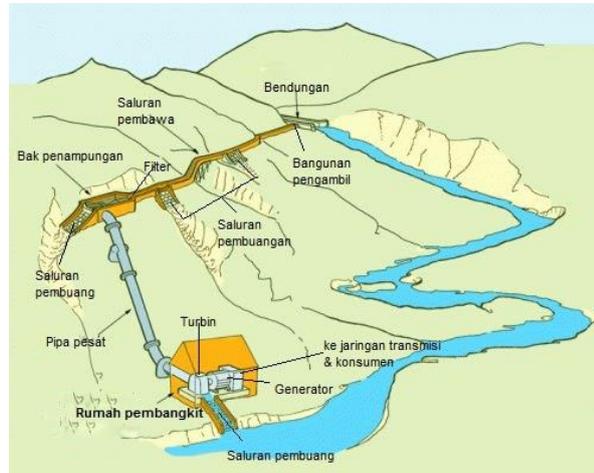
Penelitian ketiga oleh Rahardian [3]. Pada penelitian ini menjelaskan tentang pengaplikasian mikrokontroler AT89C51 sebagai pengendali frekuensi generator otomatis atau biasa disebut *governor*. Peran mikrokontroler pada alat ini adalah sebagai pengendali utama dan merupakan penyederhanaan rangkaian pengendali frekuensi elektronik analog mode *on - off*. Aktuator yang digunakan adalah motor DC. Aktuator ini berfungsi untuk memutar pengatur sudu (*guide vane*) pada pembangkit listrik tenaga *mikrohidro*. Perbedaan antara penelitian yang dilakukan oleh Rahardian dengan penelitian yang akan dilakukan terdapat pada jenis penggunaan mikrokontroler dan aktuator. Pada penelitian oleh Rahardian, peneliti menggunakan mikrokontroler AT89C51 dan aktuator berjenis motor DC, sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan aktuator motor servo sebagai komponen pengendalian.

2.2. Tinjauan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air sebagai sumber tenaga. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas

aliran dan ketinggian tertentu. Pembangkit listrik ini dapat menggunakan tenaga air dengan cara memanfaatkan tinggi jatuh/*head* (dalam meter) dan jumlah debit air ($m^3/detik$). Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi, maka semakin besar pula energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik [4].



Gambar 2.1. Sistem PLTMH sederhana [4]

Penghitungan potensi daya menurut Alek dkk tentang pedoman rekayasa tenaga air menjelaskan bahwa perhiungan dapat dilakukan berdasarkan *net-head* dan debit andalan. Potensi daya air dapat dinyatakan pada persamaan [5]:

$$Pg = 9,8 \cdot \rho \cdot Q \cdot h \quad (2.1)$$

Di mana:

- Pg = potensi daya (kW)
- ρ = massa jenis air (Kg/m^3)
- Q = laju/debit aliran air ($m^3/detik$)
- h = head (tinggi terjunan air) (m)
- 9,8 = konstanta gravitasi (m/s^2)

Daya teoritis PLTMH tersebut di atas, akan berkurang setelah melalui turbin dan generator, yang diformulasikan dengan persamaan [5]:

$$P_{eff} = 9,8 \cdot Eff_T \cdot Eff_G \cdot \rho \cdot Q \cdot h \quad (2.2)$$

Di mana:

- P_{eff} = daya listrik yang keluar dari generator (kW)

Eff_T = Efisiensi turbin antara (0,8 s/d 0,95)

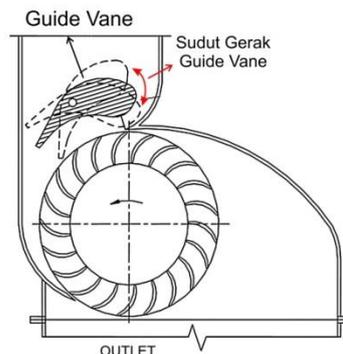
Eff_G = Efisiensi generator (0,8 s/d 0,95)

2.2.2. *Guide Vane* (Pengarah Aliran Air)

Guide vane merupakan alat bantu yang berfungsi sebagai pengarah arah aliran air ke turbin. Pemilihan bahan yang tepat merupakan salah satu pertimbangan dalam pembuatan *guide vane*. Hal ini dikarenakan *guide vane* akan berkontak langsung terhadap air yang bertekanan tinggi. Pemilihan bahan dan bentuk yang salah akan menyebabkan *guide vane* cepat rusak, sehingga pemilihan bahan dan bentuk *guide vane* haruslah kuat dan tahan terhadap tekanan dan korosi yang disebabkan oleh air [6].

Cara kerja *guide vane* adalah dengan mengarahkan aliran air yang akan masuk kedalam turbin. Sehingga setiap sudu turbin mendapatkan sudut serang air yang maksimal, dan pada akhirnya komponen *guide vane* tersebut dapat meningkatkan nilai efisiensi sistem aliran air.

Guide vane akan ditempatkan pada ujung media pengarah aliran air yang menuju turbin. Air yang menuju turbin akan dikendalikan terlebih dahulu arah alirannya oleh *guide vane* dengan cara mengatur sudut gerak *guide vane* yang terlihat pada Gambar 2.2. Pada akhirnya arah aliran tersebut akan mempengaruhi laju putaran turbin dan mengakibatkan terkendalinya hasil keluaran generator yang diputar oleh turbin [6].

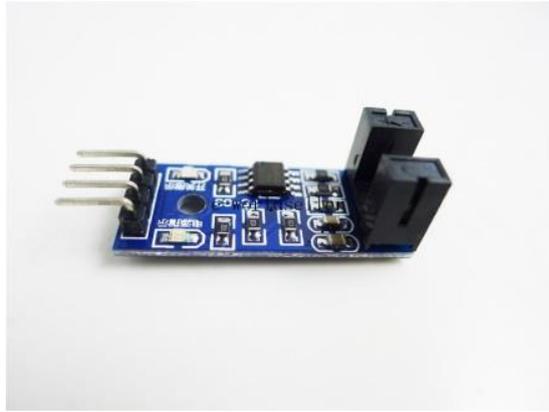


Gambar 2.2. Sudut pergerakan *guide vane*

2.2.3. *Sensor Rotary Encoder*

Sensor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran mekanis menjadi besaran listrik. Sensor yang akan digunakan pada sistem pengendali arah aliran air pada PLTMH adalah berjenis *sensor rotary encoder*.

Sensor akan bertugas sebagai pembaca nilai putaran turbin dengan cara mengkonversikan nilai serial pulsa yang dihasilkan piringan *encoder* menjadi kode digital. Hasil pembacaan sensor akan dimanfaatkan sebagai masukan pembanding dalam pengaturan gerak *guide vane*. Kepekaan sensor sangat penting terhadap pemberian logika pergerakan *guide vane*, sehingga dibutuhkan sensor yang memiliki respon cepat dan akurat.



Gambar 2.3. Sensor *rotary encoder* (ebay.com)

2.2.4. Interupsi (*Interrupt*) Pada Mikrokontroler Arduino Uno

Interrupt adalah suatu keadaan dimana saat program *interrupt* dipicu baik secara eksternal maupun internal, program *interrupt* akan menghentikan sejenak program yang sedang berjalan dan melaksanakan program *interrupt* tersebut. Pada *board* arduino uno memiliki 2 pin *interrupt* yaitu *INT0* pada pin 2 digital dan *INT1* pada pin 3 digital [7].

Board arduino memiliki 4 keadaan yang dapat memicu program *interrupt* dapat bekerja, yaitu :

1. Mode *LOW*

Pada mode ini *interrupt* akan bekerja saat pin *interrupt* tersebut mendapat logika *low* dan akan terus bekerja selama mendapat logika *low*.

2. Mode *CHANGE*

Mode ini akan aktif apabila terjadi perubahan logika baik dari *high* ke *low* ataupun *low* ke *high*. Namun pengaktifannya hanya bersifat sementara dan beberapa saat kemudian program akan berjalan kembali seperti semula.

3. Mode *RISING*

Pengaktifan mode ini akan terjadi apabila pin mengalami perubahan logika dari *low* ke *high*.

4. Mode *FALLNG*

Berkebalikan dengan mode *rising*, mode ini akan aktif apabila terjadi perubahan logika dari *high* ke *low*.



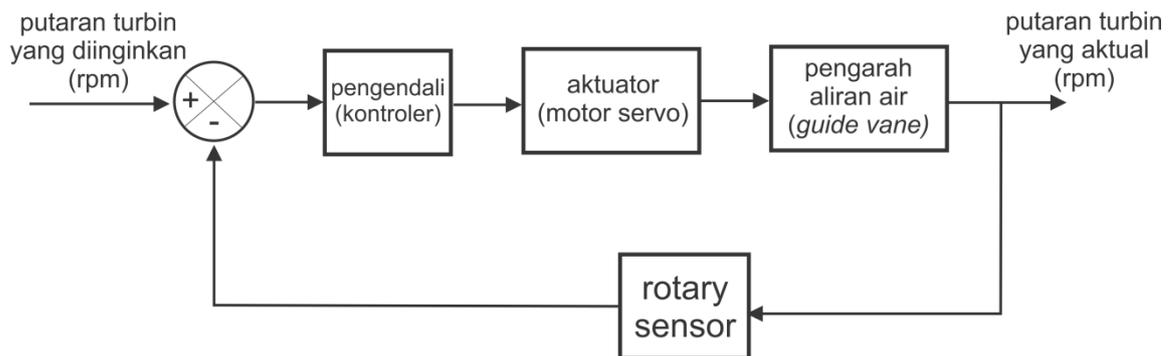
Gambar 2.4. Mikrokontroler Arduino UNO [7]

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

3.1. Desain Sistem

Desain sistem pada penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada diagram blok yang terletak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram blok sistem

Pada Gambar 3.1 putaran turbin yang dimaksud adalah nilai hasil konversi besarnya debit air menjadi nilai putaran (rpm). Terdapat 2 jenis nilai putaran turbin pada sistem, yaitu putaran turbin yang diinginkan dan putaran turbin yang sebenarnya (aktual). Putaran turbin yang diinginkan merupakan nilai *set point* yang digunakan sebagai acuan utama nilai pembandingan pada tahap pengendalian. Sedangkan putaran turbin yang sebenarnya adalah nilai putaran turbin yang terbaca langsung oleh *rotary sensor*.

Pada bagan pengendali, nilai putaran yang sebenarnya (terbaca) akan langsung dibandingkan dengan nilai turbin yang diinginkan. Jika nilai putaran turbin yang terbaca tidak sesuai dengan nilai putaran turbin yang diinginkan, maka pengendali akan memberi perintah kepada aktuator untuk menggerakkan *guide vane* menuju sudut untuk mempercepat atau memperlambat laju air. Sudut pergerakan *guide vane* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.

3.2. Pengumpulan Data

Data yang dimaksudkan pada tahap pengumpulan data adalah jumlah debit air yang akan masuk kedalam turbin, sehingga turbin dapat berputar.

Debit adalah banyaknya volume zat yang melalui suatu penampang tiap satuan waktu. Sehingga dapat dirumuskan $debit (Q) = volume\ aliran (m^3) / waktu\ aliran (detik)$. Sumber debit air yang digunakan pada penelitian adalah menggunakan 2 buah pompa *submersible* yang telah memiliki nilai debit tertulis yaitu $0,00175\ m^3/detik$. Untuk mendapati nilai debit aktual, maka dilakukan pengukuran debit secara manual. Yaitu dengan cara menghitung waktu yang diperlukan untuk pengisian wadah yang volumenya telah ditetapkan. Tahapan untuk pengukuran debit secara manual dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Siapkan bahan untuk pengukuran debit, yaitu : wadah/ember 10 liter dan *stopwatch*.
2. Hitung waktu yang dibutuhkan pompa air dengan *stopwatch* untuk dapat mengisi wadah/ember hingga penuh.

Dari percobaan diatas dapat diketahui :

$Volume\ aliran = 10\ liter$

$Waktu = 8,096\ detik$

Sehingga, $debit (Q) = 10\ liter / 8,096\ detik$

$$debit (Q) = 1,3252\ liter / detik$$

Setelah dikonversikan, $debit (Q) = 0,0013252\ m^3 / detik$

Dari percobaan diatas didapati jumlah debit air yang terukur adalah $0,0013252\ m^3/deik$.

3.3. Perancangan Rangkaian Mekanik

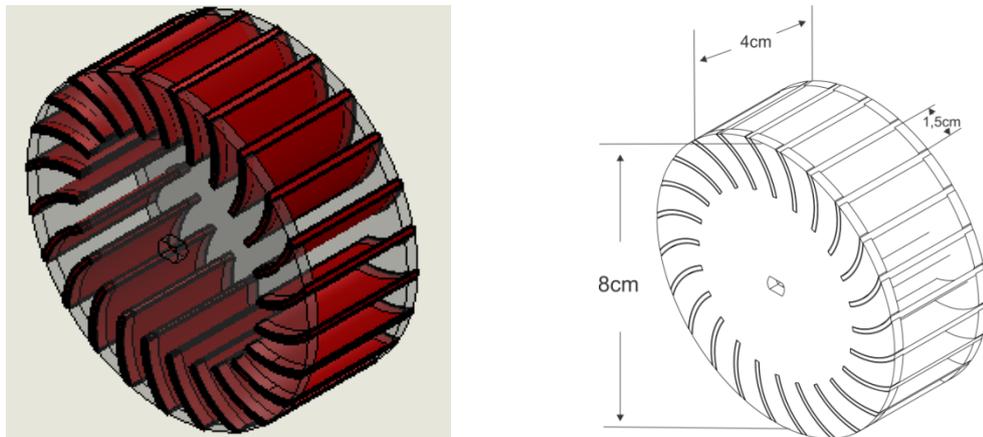
Perancangan rangkaian mekanik terbagi menjadi 3 bagian yaitu desain dengan menggunakan *software*, pencetakan hasil desain, dan perakitan seluruh komponen.

3.3.1. Desain Dengan Menggunakan *Software Solidworks*

Pada tahap desain dengan menggunakan *software solidworks* ini terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Desain Turbin

Jenis turbin yang akan di desain adalah turbin dengan jenis *crossflow*, yang mana turbin ini terletak didalam rumah turbin dan berfungsi sebagai runner untuk mengkonversi nilai debit air menjadi putaran. Turbin dengan jenis *crossflow* dipilih karena memiliki keunggulan dalam penghematan biaya pembuatan penggerak mula hingga 50% dari penggunaan jenis turbin dengan bahan yang sama. Selain penghematan biaya, turbin jenis *crossflow* juga memiliki nilai efisiensi lebih tinggi dibandingkan jenis turbin air lainnya.



Gambar 3.2. Desain dan dimensi turbin *crossflow*

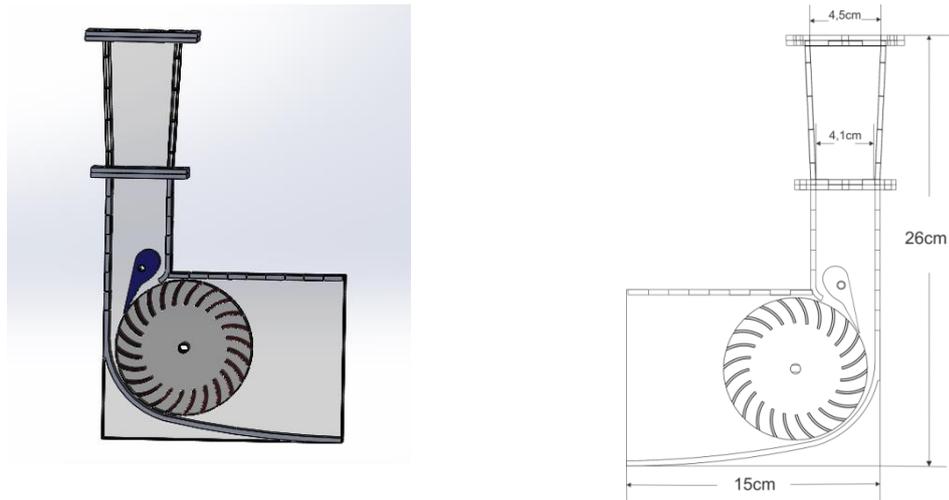
2. Desain *Guide vane*

Guide vane akan berfungsi sebagai pengarah aliran air yang akan masuk kedalam turbin. Desain bentuk *guide vane* menyerupai peluit dengan spesifikasi lebar 4 cm. Nilai spesifikasi lebar tersebut didapat dari penyesuaian ukuran lebar rumah turbin. Untuk mendapati aliran air yang maksimal, lebar *guide vane* harus dibuat serapat mungkin dengan rumah turbin, Hal ini diperlukan untuk meminimalisir celah air yang akan mengalir melalui sisi samping *guide vane*.



Gambar 3.3. Desain dan dimensi *guide vane*

3. Desain Rumah Turbin Sekaligus *Assembly* Seluruh Desain



Gambar 3.4. *Assembly* desain dan dimensi miniatur PLTMH

Assembly seluruh desain adalah merupakan penggabungan seluruh komponen yang telah di desain sebelumnya menjadi satu.

4. Pencetakan Sekaligus Perakitan Seluruh Komponen

Pencetakan seluruh komponen yang telah di desain tadi dilakukan dengan cara laser printing dengan menggunakan bahan akrilik 2 mm.

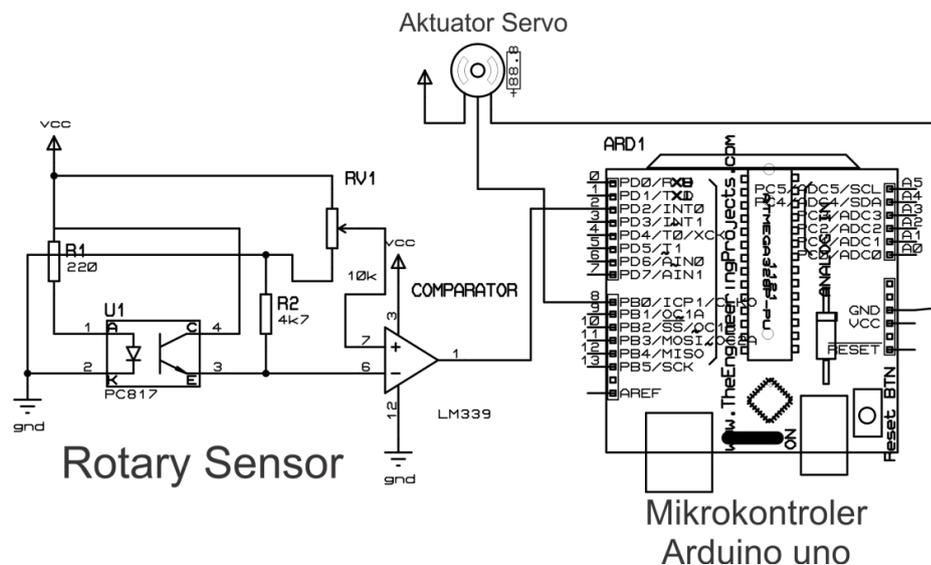
Untuk perakitan sudu turbin *crossflow*, digunakan bahan pipa paralon yang berbentuk bundar, dan bagian yang digunakan untuk membuat sudu adalah $\frac{1}{4}$ bagian dari pipa paralon, sehingga bentuk sudu turbin tadi dapat terpenuhi.



Gambar 3.5. Hasil perakitan

3.4. Perancangan Rangkaian Elektronik

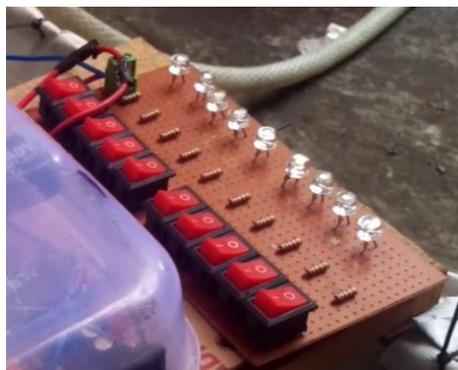
Perancangan rangkaian sistem elektronik meliputi pemilihan sekaligus penerapan seluruh komponen yang akan digunakan, yaitu sensor sebagai pembaca nilai putaran turbin, mikrokontroler sebagai pengendali sistem, beban yang disuplai generator hingga aktuator sebagai penggerak *guide vane*. Rangkaian skematik sistem elektronik dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Rangkaian skematik sistem elektronik

3.4.1. Beban LED

Beban yang akan digunakan pada penelitian adalah 7 buah LED dirangkai paralel dengan arus dan daya yang dibutuhkan untuk masing-masing LED adalah 0,018 *ampere*, 0,067 *watt*. Jumlah beban LED tersebut akan divariasikan untuk membuat perubahan nilai putaran generator akibat terjadinya drop tegangan pada generator. Perubahan nilai putaran generator tersebut nantinya akan ikut mempengaruhi nilai putaran turbin, sehingga perubahan nilai putaran turbin tersebut akan dibaca oleh sensor dan kemudian dikendalikan.



Gambar 3.7. Rangkaian beban LED

3.4.2. Generator DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada penelitian ini generator yang digunakan adalah generator DC dengan spesifikasi 24 volt/1,6 ampere.



Gambar 3.8. Generator DC

3.4.3. Sensor

Sensor yang akan membaca putaran akan dihubungkan dengan poros turbin yang telah terpasang piringan *encoder*. Kemudian keluaran dari sensor akan dihubungkan dengan pin 2 pada mikrokontroler arduino uno, yang mana pin 2 tersebut merupakan pin *interrupt*. Fungsi *interrupt* pada mikrokontroler akan diaktifkan untuk pembacaan putaran turbin secara terus menerus.



Gambar 3.9. Sensor *encoder*

3.4.4. Aktuator

Untuk dapat menggerakkan *guide vane* ketika sistem sedang berjalan, maka dibutuhkan sebuah aktuator yang mempunyai nilai torsi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena tekanan yang diberikan air terhadap *guide vane* akan sangat besar, sehingga dipilih aktuator dengan jenis motor servo yang mempunyai torsi 15 *kg/cm* atau 1,4709 *Nm*. Nilai torsi tersebut menjelaskan bahwa servo mempunyai kemampuan gaya dorong sebesar 15 *kg/1cm*. Servo akan disambungkan dengan pin 8 pada mikrokontroler. Pin 8 pada mikrokontroler bertindak sebagai pemberi pulsa untuk pergerakan servo.



Gambar 3.10. Aktuator servo

3.4.5. Mikrokontroler

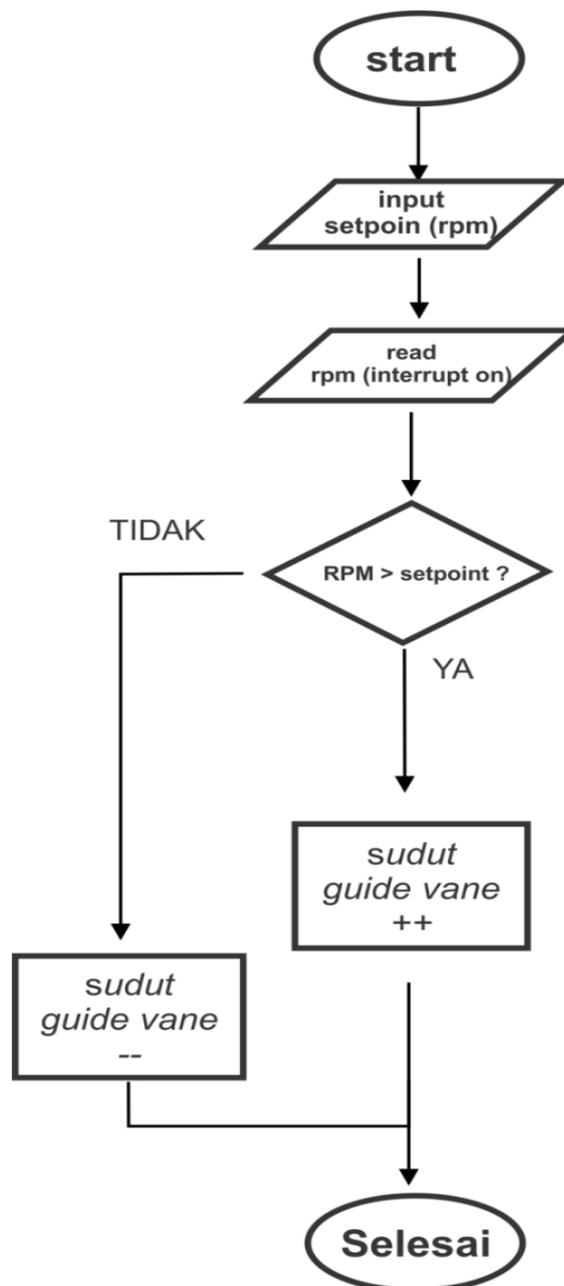
Tahap berikutnya adalah perancangan sistem pengendali yang akan digunakan sebagai pengolah data sensor sekaligus pemberi perintah dalam pergerakan servo. Sistem pengendali menggunakan mikrokontroler arduino uno sebagai pengolah data dan pemberi perintah. Mikrokontroler arduino uno ini ditempatkan didalam wadah yang terletak pada sisi turbin, wadah ini berfungsi sebagai pelindung mikrokontroler agar tidak terkena air.



Gambar 3.11. Mikrokontroller Arduino Uno

3.4.6. Pemrograman Mikrokontroler

Untuk mendapati kinerja pengolahan data dan pemberian perintah yang sesuai, maka diperlukan perancangan pemrograman yang dapat membaca dan mengolah data dengan tepat dan akurat. Pemrograman yang pertama kali dilakukan adalah pengaktifan *interrupt* sebagai pembaca sekaligus pengolahan data putaran turbin. Kemudian setelah nilai putaran turbin diperoleh, pemrograman berikutnya adalah memproses nilai turbin yang telah didapat dan membandingkannya dengan nilai *set point*, yang kemudian hasil dari perbandingan ini akan dijadikan perintah untuk menggerakkan aktuator servo. Alur pemrograman dapat dilihat pada *flowchart* Gambar 3.12.



Gambar 3.12. *Flowchart* pemrograman

BAB 4

PENGUJIAN, ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian dan Analisa Nilai Kecepatan Putaran Turbin

Pengujian nilai kecepatan putaran turbin dilakukan dengan percobaan pengambilan data nilai kecepatan turbin yang terbaca oleh sensor dan alat ukur kecepatan putaran (*tachometer*). Percobaan dilakukan dengan pengaturan sudut *guide vane* secara manual dan menggunakan metode 3 kali pengambilan data. Pada setiap percobaan, sudut pergerakan *guide vane* diubah dari bukaan sudut terkecil hingga terbesar.

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa hasil setiap percobaan memiliki penyimpangan nilai (deviasi). Hal ini disebabkan karena komponen mekanik berada pada kondisi yang tidak presisi dan stabil, sehingga saat pengoperasiannya nilai yang dihasilkan selalu berubah – ubah.

Percobaan pengukuran kecepatan turbin dilakukan sebanyak 5 kali percobaan dengan variasi besar sudut antara 30° - 50°. Hasil dari percobaan ini didapati bahwa kecepatan turbin akan mengecil ketika sudut *guide vane* diperbesar. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tabel pengukuran kecepatan turbin dalam satuan rpm

Variasi Sudut	Nilai Kecepatan Turbin (RPM)						Rata – rata		Deviasi	
	Percobaan I		Percobaan II		Percobaan III					
	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer
30°	420	418	420	419	380	419	406	418,6	17,8	0,44
35°	360	370	420	380	420	370	400	389,3	26,6	4,44
40°	360	355	360	356	360	359	360	356,6	0	1,55
45°	240	235	300	235	300	233	280	234,3	26,6	0,88
50°	90	80	90	82	90	87	90	83	0	2,66

4.2. Analisa Nilai Frekuensi

Nilai kecepatan putaran turbin yang diperoleh pada Tabel 4.1 akan mempengaruhi nilai frekuensi yang dihasilkan generator. Kecepatan putaran turbin dan nilai frekuensi saling berkaitan karena semakin tinggi kecepatan putaran turbin maka frekuensi yang dihasilkan oleh generator semakin tinggi dan sebaliknya. Untuk mengetahui nilai frekuensi yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan 4.1.

$$N = 120f/P \quad (4.1)$$

Dimana :

$N =$ Kecepatan turbin (RPM)

$f =$ Frekuensi (Hz)

$P =$ Pole (jumlah kutub generator)

Hasil pengukuran nilai frekuensi berdasarkan kecepatan turbin yang terdapat pada Tabel 4.1 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tabel pengukuran nilai frekuensi

Variasi Sudut	Nilai Frekuensi (Hz)					
	Percobaan I		Percobaan II		Percobaan III	
	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer	Sensor	Tachometer
30°	7	6,97	7	6,98	6,33	6,98
35°	6	6,16	7	6,33	7	6,16
40°	6	5,91	6	5,93	6	5,98
45°	4	3,91	5	3,91	5	3,83
50°	1,5	1,33	1,5	1,36	1,5	1,45

4.3. Pengujian dan Analisa Sistem Kendali

Pengujian sistem kendali merupakan percobaan penstabilan nilai keluaran yang telah didapat dengan menerapkan nilai *set point* yang telah ditentukan. Nilai *set point* berupa nilai putaran turbin (rpm) yang akan dijadikan acuan sekaligus pembanding dalam pengendalian gerak *guide vane*. Pergerakan *guide vane* nantinya akan menyesuaikan terhadap nilai *set point* yang kemudian akan mencoba membuat nilai keluaran tetap stabil walaupun beban terus ditambah ataupun dikurangi.

Pengujian dan analisa sistem akan dilakukan sebanyak 3 kali dengan masing–masing pengujian menggunakan nilai *set point* yang berbeda. Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan turbin pada Tabel 4.2, maka dipilih nilai *set point* yang akan digunakan adalah 420 rpm, 300 rpm, dan 240 rpm. Nilai *set point* tersebut dipilih berdasarkan variasi nilai yang didapat pada pengukuran kecepatan. Sehingga dipilih nilai maksimum, tengah, dan minimum dari hasil pengukuran kecepatan turbin sebagai nilai *set point*.

Pada pengujian sistem kendali, data sudut pergerakan *guide vane* tidak selalu sama antara percobaan pertama dan berikutnya. Hal ini disebabkan oleh 2 faktor, yaitu faktor

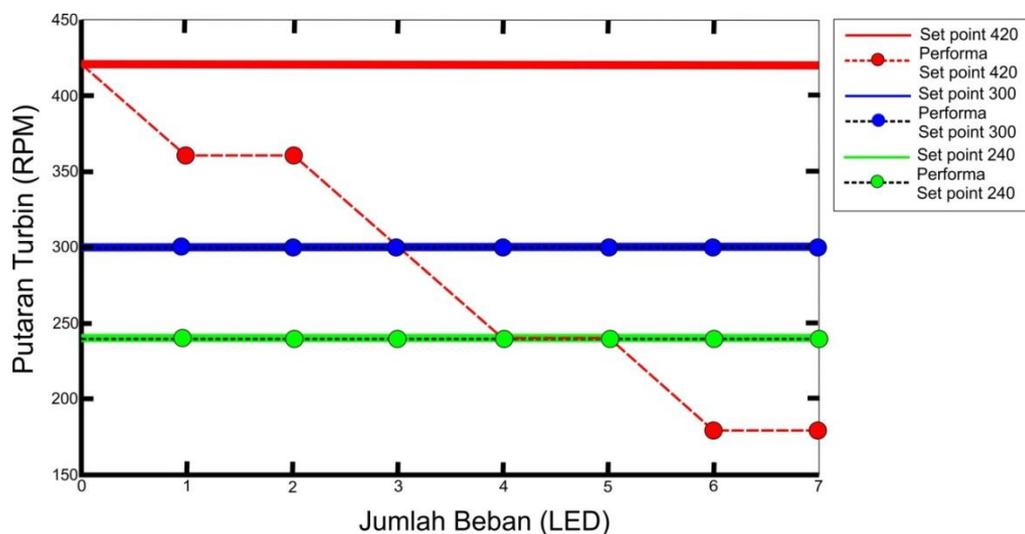
komponen mekanik yang kurang presisi dan faktor pengendalian yang kurang stabil. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Tabel percobaan sistem kendali

SETPOIN T	PERCOBAAN		VARIASI BEBAN							
			0	1	2	3	4	5	6	7
420	I	Kecepatan Turbin (RPM)	300	300	240	240	240	180	180	180
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	30	30	30	30	30	30	30	30
	II	Kecepatan Turbin (RPM)	360	360	300	300	300	240	180	180
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	30	30	30	30	30	30	30	30
	III	Kecepatan Turbin (RPM)	360	300	300	240	240	240	180	180
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	30	30	30	30	30	30	30	30
Rata - rata	Kecepatan Turbin (RPM)	340	320	280	260	260	220	180	180	
	Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	30	30	30	30	30	30	30	30	
300	I	Kecepatan Turbin (RPM)	300	300	300	300	300	300	300	300
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	53	51	49	46	43	42	30
	II	Kecepatan Turbin (RPM)	300	300	300	300	300	300	300	300
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	54	52	49	47	43	41	33
	III	Kecepatan Turbin (RPM)	300	300	300	300	300	300	300	300
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	53	52	50	48	43	42	32
Rata - rata	Kecepatan Turbin (RPM)	300	300	300	300	300	300	300	300	
	Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	53,3	51,6	49,3	47	43	41,6	31,6	
240	I	Kecepatan Turbin (RPM)	300	240	240	240	240	240	240	240
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	55	52	48	47	47	46	44
	II	Kecepatan Turbin (RPM)	300	240	240	240	240	240	240	240
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	55	52	49	47	46	45	44
	III	Kecepatan Turbin (RPM)	300	240	240	240	240	240	240	240
		Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	54	53	48	47	47	45	44
Rata - rata	Kecepatan Turbin (RPM)	300	240	240	240	240	240	240	240	
	Sudut <i>Guide Vane</i> (°)	55	54,6	52,3	48,3	47	47,3	45,3	44	

Pada saat percobaan menggunakan *set point* 420 rpm, didapati bahwa ketika beban belum dinyalakan, putaran turbin telah mencapai nilai tertinggi dan pergerakan *guide vane* juga telah mencapai sudut terkecil (30°). Ketika beban mulai dinyalakan, terjadi penurunan nilai putaran turbin. Hal ini disebabkan karena *guide vane* telah mencapai batas pengendalian terkecil, sehingga tidak dapat bergerak lagi untuk memberikan pengendalian mempercepat putaran turbin. Pada percobaan kedua dan ketiga dengan menggunakan nilai *set point* yang sama, terdapat perbedaan nilai rpm antara percobaan pertama dan selanjutnya. Perbedaan nilai terjadi karena perubahan kinerja komponen mekanik pada saat pengujian pertama dan berikutnya, sehingga hasil yang diperoleh akan berbeda antara masing–masing percobaan.

Pada percobaan selanjutnya menggunakan *set point* 300 dan 240 rpm, didapati bahwa ketika beban belum ataupun sudah dinyalakan, *guide vane* dapat terus bergerak untuk mengendalikan nilai putaran turbin. Sehingga ketika dilakukan penambahan atau pengurangan beban, nilai putran turbin tetap stabil pada nilai yang telah ditentukan. Akan tetapi pada percobaan kedua hingga ketiga dengan menggunakan *set point* yang sama, terdapat perbedaan nilai sudut gerak *guide vane* antara percobaan pertama hingga selanjutnya. Hal ini disebabkan karena perubahan kinerja komponen mekanik dan kurang presisinya komponen pengendalian. Sehingga terdapat perbedaan nilai sudut gerak *guide vane* antara percobaan pertama dan selanjutnya. Kinerja rata–rata putaran turbin dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik rata–rata kinerja putaran turbin terhadap jumlah beban.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari percobaan rancang bangun sistem kendali arah air (*guide vane*), dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Putaran turbin maksimal yang diperoleh dari percobaan adalah sebesar 420 rpm dengan sudut gerak *guide vane* 30°.
2. *Guide vane* memiliki batas sudut gerak dalam pengoperasiannya, yaitu batas terkecil 30° dan batas terbesar adalah 55°.
3. Ketika *guide vane* telah mencapai batas gerak dalam pengendalian, *guide vane* tersebut tidak mampu lagi bergerak untuk mengendalikan arah air yang akan memutar turbin, sehingga putaran turbin mmenjadi liar.
4. Pada saat penggunaan *set point* 420 rpm, pengendali tidak dapat mengendalikan putaran turbin karena sudut gerak *guide vane* telah mencapai batas gerak. Sedangkan pada saat penggunaan *set point* 300 dan 240 rpm, pengendali dapat bekerja dengan baik dalam menggerakkan sudut *guide vane* untuk mempertahankan nilai putaran turbin (rpm).
5. Ketidakstabilan nilai yang didapat selama percobaan terjadi karena faktor komponen mekanik yang kurang presisi dan juga komponen pengendali yang kurang stabil.

5.2. Saran

Dari percobaan yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dibuat untuk melanjutkan dan memperbaiki kekurangan pada percobaan ini, yaitu :

1. Pada saat pemilihan, perancangan, dan perakitan bahan komponen mekanik sebaiknya harus menggunakan perhitungan yang lebih presisi, hal ini nantinya akan mempengaruhi tingkat kestabilan sistem pengendalian tersebut.
2. Perancangan pengendali pada sisi elektronik, sebaiknya menggunakan sistem pengendali yang lebih stabil, agar dapat meningkatkan kestabilan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Fukotomi dan R. Nakamura. "*Performance and Internal Flow of Cross-Flow Fan With Inlet Guide Vane.*" 2005.
- [2] M. Welson. "*Perencanaan Governor Menggunakan Motor DC Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Politeknik Padang.*" 2008.
- [3] A. M. Rahardian.. "*Rancang bangun pengendali frekuensi berbasis MCS-89C51 untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Laboratorium Teknik Energi.*
<http://digilib.polban.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptppolban-gdl-s1-2004-adhimaulan-441> (2004).
- [4] G. NhurRahmat. "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro."
https://www.academia.edu/8652291/MAKALAH_PLTMH.
- [5] A. Alek, M. Ueli, S. Edy. "*Pedoman Rekayasa Tenaga Air.*" 1991.
- [6] A. T. S. Putra. "*Rancang Bangun Guide Vane Turbin Crossflow Untuk PLTMH Berkapasitas 8 kW Di Sungkai Kelurahan Lambung Bukit Kecamatan Pauh Padang.*" Padang, 2009.
- [7] ArduinoBoardUNO. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.