



**Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*)
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
Berbasis *Fuzzy Logic Control***

SKRIPSI

oleh

**Moh. Riski Ekocahya F.
NIM 121910201037**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*)
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
Berbasis *Fuzzy Logic Control***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Moh. Riski Ekocahya F.
NIM 121910201037**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah akhirnya penelitian ini dapat terselesaikan. Karya ini merupakan sebuah langkah kecil sebagai awal menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Penulis mempersembahkan karya ini kepada:

1. Ayahanda Moh. Sjarif Farhan dan Ibunda R. Titik Rahmah Fatayati tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;
2. Adikku tercinta Moh. Nurun Fitriantama yang selalu menghibur dan menemani dalam canda dan tawa;
3. Dosen Pembimbing Skripsi Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. dan Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. Terima kasih atas ketekunan dan kesabarannya dalam membimbing saya;
4. Seluruh guru dan dosen pengajar yang telah bersedia mengajarkan dan membagikan ilmu yang bermanfaat;
5. Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Jember;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;

MOTO

يَتَأَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِن تَنصُرُوا اللَّهَ يَنصُرْكُمْ وَيُثَبِّتْ أَقْدَامَكُمْ

“Hai orang-orang yang beriman, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Allah akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu”.^{*)}

وَيَرْجُونَ رَحْمَتَهُ وَيَخَافُونَ عَذَابَهُ

“Dan mengharapkanlah kalian pada rahmatNya Allah (Surga) dan takutlah pada siksaNya (Neraka)”.^{**)}

قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ لَا يَرُدُّ الْقَضَاءُ إِلَّا الدُّعَاءُ (الترمذي)

“Tidak ada yang dapat menolak takdir (ketentuan) Allah ta’ala selain do’a”.^{***)}

^{*)} (Q.S. Muhammad: 7)

^{**)} (Q.S. Al Isra’: 57)

^{***)} (H. R. Tirmidzi 2065)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Riski Ekocahya F.

NIM : 121910201037

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Fuzzy Logic Control*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 September 2016

Yang menyatakan,

Moh. Riski Ekocahya F.

NIM 121910201037

SKRIPSI

**Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*)
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
Berbasis *Fuzzy Logic Control***

Oleh

Moh. Riski Ekocahya F.
NIM 121910201037

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Fuzzy Logic Control*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 15 September 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.
NIP 198006102005011003

Penguji I,

Penguji II,

Samsul Bachri, S.T., MM.T.
NIP 196403171998021001

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 197106141997021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 196612151995032001

Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (Water Flow Control) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis Fuzzy Logic Control

Moh. Riski Ekocahya F.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pada umumnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) menggunakan kontrol frekuensi dengan bantuan *Electronic Load Controller* (ELC). ELC merupakan pengatur beban elektronik dengan *dummy load*. Hal ini bertujuan untuk membuat penggunaan beban sebanding dengan daya pembangkitan generator untuk menjaga kecepatan putaran rotor supaya tetap stabil pada nilai 1500 rpm dan frekuensi stabil pada nilai 50 Hz. Namun, penggunaan ELC memiliki kekurangan yakni terdapat daya dan volume air yang terbuang pada sistem *dummy loads*. Dari kekurangan tersebut maka diperlukan metode kontrol yang mampu membuat penggunaan daya menjadi lebih efisien serta mampu menyetabilkan nilai frekuensi dan tegangan.

Pada penelitian ini akan dirancang sistem PLTMH *simulink* dengan kontrol yang dapat mengatur katup keluaran debit air untuk putaran turbin dan generator yang disesuaikan dengan daya beban pemakaian. Prinsip kerja dari kontrol katup tersebut yakni untuk mengatur besarnya keluaran air yang digunakan untuk menambah atau mengurangi kecepatan turbin dan generator saat terjadi perubahan beban. Hal ini bertujuan untuk membuat generator akan menghasilkan daya yang sesuai dengan beban pemakaian sehingga akan mempertahankan nilai frekuensi dan tegangan. Pada penelitian ini, akan diketahui respon kontrol dalam menyetabilkan nilai frekuensi dan nilai tegangan serta untuk mengetahui apakah kecepatan rotor dan frekuensi akan kembali stabil saat terjadi kenaikan beban atau penurunan nilai beban pemakaian. Beban penelitian yang diteliti yaitu bernilai 3,96 kW, 7,92 kW, 5,676 kW, 11,286 kW, 7,26 kW dan 13,2 kW.

Hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa kontrol PID dan kontrol *Fuzzy* mampu menyetabilkan nilai frekuensi dan tegangan. Namun terdapat perbedaan pada respon waktu untuk mencapai nilai stabil. Pada kontrol PID memerlukan waktu sekitar 100 sekon untuk mencapai frekuensi 50 Hz saat terjadi perubahan nilai beban. Artinya, kecepatan rotor akan kembali stabil sekitar 1500 rpm saat mencapai waktu 100 sekon sedangkan kontrol *fuzzy* mampu menyetabilkan frekuensi 50 Hz atau mampu kembali mencapai kecepatan rotor 1500 rpm hanya dalam waktu sekitar 20 sekon. Adapun tegangan yang dihasilkan kontrol PID masih memiliki nilai *drop* untuk stabil pada 220 volt sedangkan tegangan pada kontrol *fuzzy* mampu tetap stabil sebesar 220 volt.

Kata kunci: *Fuzzy logic control, Katup (Valve), Water Flow Control.*

Design of water valve control for Microhydro Power Plant (MHP) Based on Fuzzy Logic Control

Moh. Riski Ekocahya F.

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

In general, Micro Hydro Powerplant (MHP) uses frequency control with the help of Electronic Load Controller (ELC). ELC is a regulator of the electronic load with dummy load. It aims to make the uses of the load is proportional to the power generation of the generator to keep the rotation speed of the rotor to remain stable at 1500 rpm and frequency values stabilized at a value of 50 Hz. However, the use of ELC has shortcomings that are the power and volume of water that is wasted on dummy loads system. Of these shortcomings, it is necessary to control method that can make use of the power to become more efficient and able to stabilize the frequency and voltage.

This research will be designed control system that simulates the MHP to regulate the water discharge outlet valve for turbine and generator adapted to load power consumption. The working principle of the control valve are adjusting the amount of water output that used to increase or decrease the speed of the turbine and generator when there are load changes. It aims to make the generator will produce a power that corresponding to the uses of load so that it will retain the value of the frequency and voltage. In this study, will be known the control response to stabilize the frequency and voltage values as well as to determine whether the rotor speed and frequency will be stabilized when there is an increase or decrease in value load usage charges. Load research studied were worth 3,96 kW, 7,92 kW, 5,676 kW, 11,286 kW, 7,26 kW dan 13,2 kW.

The results of this research, it is known that the PID control and Fuzzy control is able to stabilize the voltage and frequency values. But there is a difference in the response time to reach a stable value. At PID control need approximately 100 seconds to stabilize the frequency of 50 Hz when there are load that change the value. that is to say, the rotor speed will comeback stabilized at 1500 rpm when it reaches a 100 second. while fuzzy control is able to stabilize the frequency of 50 Hz or 1500 rpm with rotor speed reached only in about 20 second. The voltage generated of PID control still has value drop to stabilize at 220 volts while on fuzzy control is able to remain stable at 220 volts.

Keywords: *Fuzzy logic control, Valve, Water Flow Control.*

RINGKASAN

Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Fuzzy Logic Control*; Moh. Riski Ekocahya F., 121910201037; 2016; 63 Lembar; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang prinsip kerjanya menyerupai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) namun skala pembangkitannya lebih kecil dibandingkan dengan PLTA. Pada umumnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menggunakan *Electronic Load Control* (ELC) atau yang biasa disebut dengan *dummy loads* yang berfungsi sebagai beban komplemen yang dapat membuat nilai penggunaan beban selalu konstan. Hal ini bertujuan untuk membuat penggunaan beban sebanding dengan daya pembangkitan generator untuk menjaga kecepatan putaran rotor supaya tetap stabil pada nilai 1500 rpm dan frekuensi stabil pada nilai 50 Hz. Penggunaan ELC memiliki kekurangan yakni terdapat daya dan volume air yang terbuang pada sistem *dummy loads*. Dari kekurangan tersebut, maka diperlukan metode kontrol untuk membuat penggunaan daya menjadi lebih efisien.

Pada penelitian ini akan merancang sistem PLTMH yang disimulasikan dengan kontrol yang dapat mengatur katup untuk keluaran debit air untuk putaran turbin dan generator yang disesuaikan dengan daya beban pemakaian. Pada penelitian sebelumnya, pengaturan katup aliran debit air menggunakan kontrol berbasis PID sedangkan pada penelitian ini menggunakan kontrol berbasis *fuzzy logic control*. Sehingga kedua kontrol akan dibandingkan untuk mengetahui respon kontrol dalam menyetabilkan nilai frekuensi dan nilai tegangan serta untuk mengetahui apakah kecepatan rotor dan frekuensi akan kembali stabil saat terjadi kenaikan beban atau penurunan beban pemakaian. Beban penelitian yang diteliti yaitu bernilai 3,96 kW, 7,92 kW, 5,676 kW, 11,286 kW, 7,26 kW dan 13,2 kW.

Hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa kontrol PID dan kontrol *Fuzzy* mampu menyetabilkan nilai frekuensi dan tegangan. Namun terdapat perbedaan

pada respon waktu untuk mencapai nilai stabil. Pada kontrol PID memerlukan waktu sekitar 150 sekon untuk awal pembebanan dan 100 sekon untuk mencapai frekuensi 50 Hz saat terjadi perubahan nilai beban. Artinya, kecepatan rotor akan kembali stabil saat terjadi perubahan beban sekitar 1500 rpm saat mencapai waktu 100 sekon sedangkan kontrol *fuzzy* mampu menyetabilkan frekuensi 50 Hz atau mampu kembali mencapai kecepatan rotor 1500 rpm hanya dalam waktu sekitar 100 sekon untuk menyetabilkan beban awal dan 20 sekon untuk menyetabilkan saat terjadi perubahan beban. Adapun tegangan yang dihasilkan kontrol PID masih memiliki nilai *drop* untuk stabil pada 220 volt sedangkan tegangan pada kontrol *fuzzy* mampu tetap stabil sebesar 220 volt.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Fuzzy Logic Control*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah S.W.T dan Nabi besar Muhammad s.a.w;
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Samsul Bachri M., S.T., MM.T., dan Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
6. Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
7. Mohamad Agung Prawira Negara, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
8. Ayahanda Moh. Sjarif Farhan dan Ibunda R. Titik Rahmah Fatayati tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini.
9. Adikku tercinta Moh. Nurun Fitriantama yang selalu menghibur dan menemani dalam canda dan tawa.

10. Adinda Yefi Amaliya yang selalu setia memberikan doa dan semangat serta selalu menemani penulis.
11. Saudara kontrakan Riau No. 60, Yuski, Dian, Deni, Febri, Sulhan dan Kusyairi yang selalu membantu, menemani dan menghibur.
12. Saudara seperjuangan Moh. Agus yang selalu bersedia menjadi teman *sharing* tentang skripsi kemudian Hery Setyo dan Ahmad Shofiyuddin yang senantiasa memberikan motivasi, informasi-informasi penting dan semangat.
13. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2012 (SATE UJ), terima kasih atas semangat dukungan selama ini.
14. Asisten Laboratorium Sistem Kendali yang selama ini telah membantu dan bersedia bekerjasama dengan baik saat menjadi aslab.
15. Bapak Wahyu Tri Utama selaku SPS pemeliharaan listrik beserta bapak-bapak teknisi di Indonesia Power UBP Perak-Grati yang telah bersedia mengajari dan berbagi ilmu selama kerja praktek.
16. Bapak saleh dan Bapak konidi sebagai operator PLTMH yang telah membantu penulis selama pengambilan data untuk menyelesaikan skripsi.
17. Guru-guruku TK Al-Irsyad, SDN Barkot 2 Pamekasan, SMPN 2 Pamekasan, SMAN 1 Pamekasan dan seluruh dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Jember yang berjasa dalam memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat.
18. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 15 September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).....	4
2.1.1 Pengertian Mikrohidro	4
2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan PLTMh:	6
2.1.3 Prinsip Kerja PLTMH.....	6
2.2 Generator Sinkron	10
2.2.1. Komponen Generator Sinkron	11
2.2.2. Prinsip Kerja Generator Sinkron	12
2.2.3. Pemilihan Generator	12
2.3 Kestabilan Frekuensi.....	13
2.4 Electronic Load Control (ELC).....	15

2.5 Logika Fuzzy	15
2.5.1 Fungsi keanggotaan.....	17
2.6 Pengaturan Katup.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Simulasi Matlab	22
3.2 Diagram Blok Sistem.....	22
3.2.1 Motor Servo	26
3.2.2 Katup.....	27
3.2.3 Turbin.....	28
3.2.4 Generator.....	28
3.2.5 Beban	29
3.2.6 Kontrol	32
3.3 Flowchart	36
3.3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	36
3.3.2 <i>Flowchart</i> Sistem.....	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Perancangan Simulasi Keseluruhan Sistem Mikrohidro	38
4.2 Analisis Kondisi Beban Kecil	40
4.2.1 Penggunaan Air.....	40
4.2.2 Frekuensi.....	42
4.3 Analisis Kondisi Beban Rata-rata.....	45
4.4 Analisis Kondisi Beban Besar.....	50
4.5 Analisis Keseluruhan Pengujian	55
4.5.1 Penggunaan Air.....	55
4.5.2 Frekuensi.....	56
4.5.3 Tegangan.....	57
BAB 5 PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Mikrohidro.....	5
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja PLTMH	7
Gambar 2. 3 Salient-Pole Rotor Dan Cylindrical-Rotor	10
Gambar 2. 4 Frekuensi Listrik pada frekuensi 50 Hz dan 60 Hz.....	13
Gambar 2. 5 Representasi linear naik	17
Gambar 2. 6 Representasi linear turun.....	18
Gambar 2. 7 Kurva Segitiga.....	18
Gambar 2. 8 Representasi kurva trapezium	19
Gambar 2. 9 Bentuk Fungsi keanggotaan segitiga.....	20
Gambar 2. 10 <i>Fuzzy</i> dengan 3 fungsi keanggotaan.....	20
Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian	23
Gambar 3. 2 Model Motor Servo	26
Gambar 3.3 Model Katup.....	27
Gambar 3. 4 Perancangan Turbin.....	28
Gambar 3. 5 Desain generator dan sistem eksitasi pada <i>Simulink</i>	28
Gambar 3. 6 Beban yang terhubung pada PLTMH <i>simulink</i>	30
Gambar 3. 7 Kondisi nilai beban kecil.....	31
Gambar 3. 8 Kondisi nilai beban rata-rata	31
Gambar 3. 9 Kondisi nilai beban besar	32
Gambar 3. 10 Perancangan kontrol PID pada <i>Simulink</i> Mikrohidro	32
Gambar 3. 11 Perancangan kontrol <i>fuzzy</i> pada <i>Simulink</i> Mikrohidro.....	33
Gambar 3. 12 Perancangan <i>membership function input error rotor speed</i>	34
Gambar 3. 13 Perancangan <i>membership function input error active power</i>	34
Gambar 3. 14 Perancangan <i>membership function output</i>	35
Gambar 3. 15 Bagan Alur Rancangan Penelitian	36
Gambar 3. 16 <i>Flowchart</i> Sistem	37
Gambar 4. 1 Sistem Keseluruhan PLTMH <i>Simulink</i>	38
Gambar 4. 2 Penggunaan air pada beban 3,96 kW	40
Gambar 4. 3 Penggunaan air pada beban 7,92 kW	40
Gambar 4. 4 Penggunaan air dengan PID dan <i>fuzzy</i>	41
Gambar 4. 5 Frekuensi sistem pada beban 3,96 kW	43
Gambar 4. 6 Frekuensi sistem pada beban 7,92 kW	43
Gambar 4. 7 Frekuensi sistem dengan kontrol PID dan <i>fuzzy</i>	44
Gambar 4. 8 Tampilan <i>FFT Analysis</i>	45
Gambar 4. 9 Penggunaan air pada beban 5,676 kW	46
Gambar 4. 10 Penggunaan air pada beban 11,286 kW	46
Gambar 4. 11 Penggunaan air dengan kontrol PID dan <i>fuzzy</i>	47

Gambar 4. 12 Frekuensi sistem pada beban 5,676 kW	48
Gambar 4. 13 Frekuensi sistem pada beban 11,286 kW	48
Gambar 4. 14 Frekuensi sistem dengan kontrol PID dan <i>fuzzy</i>	49
Gambar 4. 15 Penggunaan air pada beban 7,26 kW	50
Gambar 4. 16 Penggunaan air pada beban 13,2 kW	51
Gambar 4. 17 Penggunaan air dengan kontrol PID dan <i>fuzzy</i>	52
Gambar 4. 18 Frekuensi sistem pada beban 7,26 kW	53
Gambar 4. 19 Frekuensi sistem pada beban 13,2 kW	53
Gambar 4. 20 Frekuensi sistem dengan kontrol PID dan <i>fuzzy</i>	54
Gambar 4. 21 Penggunaan Air Keseluruhan Sistem.....	55
Gambar 4. 22 Frekuensi Keseluruhan Sistem	57
Gambar 4. 23 Tegangan L-N dengan kontrol PID dan <i>Fuzzy</i>	57
Gambar 4. 24 Arus yang dibangkitkan oleh generator	59
Gambar 4. 25 Daya yang dibangkitkan oleh generator.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Putaran Generator Sinkron (rpm).....	13
Tabel 3. 1 Spesifikasi Generator 3 Fasa PLTMH	29
Tabel 3. 2 <i>Rule base</i> pencangan kontrol <i>fuzzy</i>	35
Tabel 4. 1 Hasil Perbandingan Penggunaan Air Kondisi Beban Kecil.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Perbandingan Frekuensi Kondisi Beban Kecil.....	44
Tabel 4. 3 Hasil Perbandingan Penggunaan Air Kondisi Beban Rata-rata.....	47
Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Frekuensi Kondisi Beban Rata-rata.....	49
Tabel 4. 5 Hasil Perbandingan Penggunaan Air Kondisi Beban Rata-rata.....	51
Tabel 4. 6 Hasil Perbandingan Frekuensi Kondisi Beban Besar	54
Tabel 4. 7 Rincian Perbandingan Penggunaan Air	56
Tabel 4. 8 Pemaparan nilai arus perfasa hasil <i>simulink</i>	58
Tabel 4. 9 Data Perbandingan Daya pada Kedua Kontrol	60
Tabel 4. 10 Nilai Effisiensi pemakaian Daya.....	61

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Harga BBM yang semakin hari kian meningkat, membuat *renewable energy* menjadi primadona dalam penyediaan energi salah satunya dengan sistem mikrohidro. Sistem mikrohidro merupakan teknologi pembangkit listrik tenaga air yang berskala kecil karena pembangkit tenaga listrik ini memanfaatkan aliran sungai atau aliran irigasi sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. (Subandono, 2012)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) cocok diterapkan di daerah terpencil karena selain ekonomis, teknologi PLTMH juga ramah lingkungan bila dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan skala kecil, penggunaan generator induksi sangat tepat karena harga unitnya murah, konstruksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan memerlukan sedikit perawatan. (muhalla, 2013)

Umumnya generator PLTMH yang berkapasitas puluhan Kilo Watt memerlukan peralatan tambahan agar generatornya membangkitkan tegangan sesuai dengan ketentuan yang baku, yaitu tegangan 220 V (fasa ke netral dengan variasi perubahan (220+5%), (220-10%) dan frekuensi 50 Hz (dengan variasi ISSN:2085-6989 antara 49,5-50,5 Hz). Untuk kontrol tegangan pada generator, biasanya digunakan AVR (pengaturan tegangan otomatis) dan alat ini dijual sudah sepaket dengan generator PLTMH. Sedangkan untuk pengontrolan frekuensi dapat digunakan Governor, alat ini umum digunakan pada generator PLTA berkapasitas besar (Mega Watt). Oleh sebab itu kurang ekonomis jika digunakan pada generator PLTMH karena harganya yang hampir sama bahkan bisa melebihi harga turbin generator (Putra, 2012).

Pada umumnya PLTMH menggunakan kontrol frekuensi dengan bantuan dari *Electronic Load Controller* (ELC). ELC merupakan pengatur beban elektronik dengan beban *dummy load*. Alat ini mengendalikan frekuensi

generator dengan jalan mengatur beban. Maka generatornya selalu dioperasikan dalam kondisi beban penuh. Oleh sebab itu dari segi penghematan energi alat ini tidak efisien karena ada daya yang dibuang percuma ke *dummy load*. Dengan perkembangan teknologi maka terobosan baru untuk mengganti ELC sebagai pengontrol frekuensi generator pada PLTMH bisa dilakukan.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang studi pemodelan pengaturan frekuensi untuk PLTMH berbasis PID. Penelitian tersebut membahas tentang pengaturan frekuensi putaran generator agar tetap pada *set point* 50 Hz. Namun pada sistem tersebut dinilai masih kurang presisi dalam penerapan karena hanya mengandalkan respon yang cepat. Sehingga pada penelitian ini akan dirancang suatu model baru pengontrol frekuensi generator PLTMH dengan kontrol pengaturan katup aliran debit air dengan menggunakan Simulink Matlab yang berjudul “Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Fuzzy Logic Control*” yang akan membahas kontrol aliran air untuk memutar turbin dimana nantinya pada simulasi ini akan menggunakan sebuah motor listrik digunakan untuk mengatur bukaan katup aliran debit air (*inlet valve*) dan pergerakan motor tersebut diatur berdasarkan frekuensi putaran turbin yang dikontrol oleh sebuah sistem kontrol yang berbasis *Fuzzy Logic Control*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang perlu untuk dibahas pada penelitian ini, yakni sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan kontrol katup yang digunakan dalam pengontrolan aliran debit air pada PLTMH?
2. Bagaimana kondisi kestabilan frekuensi dan tegangan pada PLTMH setelah dipasang pengontrolan katup aliran debit air menggunakan metode *fuzzy*?
3. Bagaimana perbandingan sistem PLTMH pada saat menggunakan pengontrolan katup aliran debit air dengan metode PID dan pengontrolan katup aliran debit air menggunakan metode *fuzzy*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Mengetahui perancangan kontrol katup yang digunakan dalam pengontrolan aliran debit air pada PLTMH.
2. Mengetahui kondisi kestabilan frekuensi dan tegangan pada PLTMH setelah dipasang pengontrolan katup aliran debit air menggunakan metode *fuzzy*.
3. Bagaimana perbandingan sistem PLTMH pada saat menggunakan pengontrolan katup aliran debit air dengan metode PID dan pengontrolan katup aliran debit air menggunakan metode *fuzzy*?

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya :

1. Bagi Masyarakat

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan masyarakat dapat menikmati listrik dengan pembangkit listrik mikrohidro dengan lebih efisien, artinya tidak ada daya yang terbuang dan meminimalisir terbuangnya air secara berlebihan.

2. Bagi Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Dengan adanya penelitian mengenai kontrol katup ini, diharapkan dapat menjadi kajian terhadap penelitian selanjutnya agar ditemukan teknologi yang tepat mengenai kestabilan frekuensi PLTMH.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan untuk meneliti kestabilan nilai frekuensi dan kestabilan tegangan.
2. Tidak membahas tentang gangguan sistem pada jaringan.
3. Penelitian ini dilakukan pada generator PLTMH 3 fasa 25 KVA dan spesifikasi generator disesuaikan dengan PLTMH di Desa Watupanjang, Krucil, Probolinggo.
4. Pengujian beban dilakukan pada 3 kondisi dengan total 6 beban resistif 3 fasa dengan masing-masing kondisi bernilai konstan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral (Puslitbang ESDM), mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 KW – 1 MW per Unit. Syarat dasar dari pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah adanya air mengalir dan beda ketinggian. Turbin mikrohidro untuk sungai maupun saluran irigasi sudah dapat diproduksi di Indonesia.

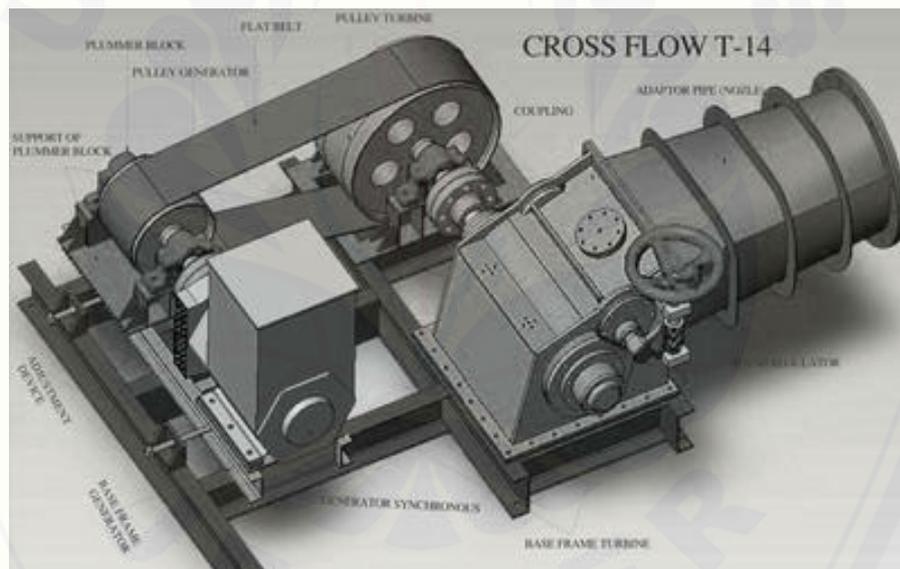
Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), merupakan salah satu alternatif *supply* energi listrik, khususnya di pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. PLTMH merupakan alternatif yang sangat potensial bila dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya. Dengan demikian maka kehandalan sistem yang dibangun merupakan suatu keharusan untuk mendapatkan energi listrik yang berkualitas. Pada sebuah pembangkit listrik, hal yang sangat perlu diperhatikan adalah kestabilan frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh turbin, hal ini diperlukan untuk menjaga agar peralatan pada konsumen tidak mengalami kerusakan. Adanya perubahan tegangan yang tidak stabil juga dapat mengurangi umur peralatan listrik (*life time*) yang dimiliki oleh konsumen (Subandono, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), 2012).

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

2.1.1 Pengertian Mikrohidro

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dan instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan

untuk menghasilkan energi listrik. Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan “energi putih”. Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi listrik (Subandono, 2012).



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Mikrohidro

(Sumber : <http://arifh.blogdetik.com/2010/05/16/cv-cihanjuang-inti-teknik-produsen-turbin-listrik-mikro-hidro-dengan-tkdn-hampir-100> diakses tanggal 08/12/2015)

Seperti dikatakan di atas, Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam prakteknya, istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa Mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) *low*

head dengan kapasitas kurang dari 500 Kilo Watt (KW). PLTMH mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan di Indonesia. Potensi total PLTMH di Indonesia tahun 2002 adalah sebesar 500 Mega Watt (MW), yang sudah dimanfaatkan baru 21 MW (Nugraha, 2013). Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator (Mahalla, 2013).

2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan PLTMh:

Beberapa kelebihan dari PLTMH antara lain:

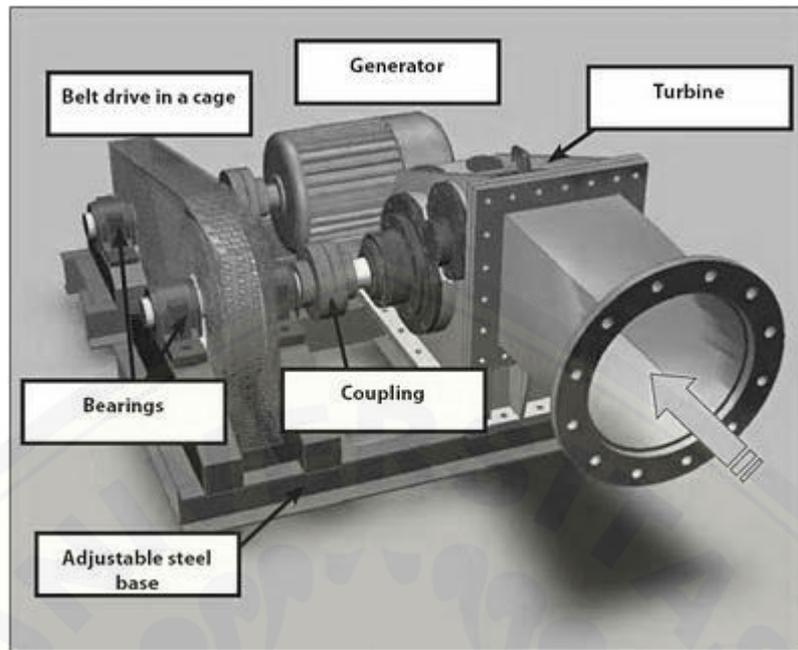
1. Potensi energi air yang melimpah;
2. Teknologi handal dan kokoh sehingga mampu beroperasi lebih dari 15 tahun;
3. Teknologi PLTMH merupakan teknologi ramah lingkungan dan terbarukan;
4. Efisiensi tinggi (70-85 persen).

Sedangkan kekurangan sebuah PLTMH diantaranya adalah:

1. Lokasi potensi jauh dari beban sehingga cenderung tidak ekonomis
2. Harga sparepart yang cenderung masih mahal
3. Penentuan tarif yang menyulitkan karena pertimbangan sosial yang dominan.

2.1.3 Prinsip Kerja PLTMH

Air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu di salurkan menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah turbin, instalasi air tersebut akan menumbuk turbin, dalam hal ini turbin dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan dihubungkan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban). Begitulah secara ringkas proses Mikrohidro, merubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik (Subandono, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), 2012).



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja PLTMH

(Sumber : <http://waliteknologi.blogspot.co.id/2012/07/perkembangan-pembangkit-listrik-tenaga.html> diakses pada tanggal 08/12/2015)

Teknik yang digunakan untuk menjaga kualitas daya listrik setiap sistem pembangkit berbeda-beda, dan demikian pula dengan sistem PLTMH. Pada sistem PLTMH tidak menggunakan governor (pengatur kecepatan putaran turbin/penggerak mula) yang digunakan untuk menyesuaikan atau menyeimbangkan energi pada penggerak mula dengan kebutuhan pemakaian beban konsumen. Teknik yang digunakan pada sistem PLTMH adalah dengan menerapkan sistem selalu beroperasi mendekati beban penuh / putaran konstan (Subandono A., 2012).

2.1.4 Gangguan Beban Lebih pada PLTMH

Terjadinya beban lebih suatu sistem tenaga listrik antara lain adalah akibat adanya pembangkit yang dapat mengirimkan daya yang sangat besar keluar dari sistem sehingga mengakibatkan jumlah beban yang disuplai dan besarnya daya yang dihasilkan generator tidak seimbang. Akibatnya frekuensi dari generator

semakin lama akan semakin turun. Hal ini tidak boleh dibiarkan terjadi karena akan mempengaruhi kinerja generator (Gunadin, 2009).

A. Penanggulangan Untuk Gangguan Beban Lebih

Suatu sistem tenaga listrik hendaknya memiliki daya yang dihasilkan oleh pembangkit minimal sama dengan beban yang ditanggungnya termasuk juga rugi-rugi daya yang mungkin terjadi pada sistem tersebut. Namun demi keamanan dan keandalan sistem, sistem pembangkit lebih baik menyiapkan cadangan daya. Ketika suatu sistem interkoneksi tenaga listrik memiliki kondisi dimana daya yang dibangkitkan tidak lagi memenuhi kebutuhan daya beban karena ada pembangkit yang keluar sistem, frekuensi generator yang masih bisa beroperasi semakin lama semakin menurun karena putaran generator semakin lambat akibat beban yang ditanggungnya semakin besar. Penurunan frekuensi yang berkelanjutan akan mengakibatkan pemadaman total pada sistem untuk menghindari kerusakan pada sistem pembangkitan (ANSI/IEEE Std C37.102-1995).

B. Akibat Beban Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan berupa beban lebih dapat mempengaruhi antara daya yang dibangkitkan dan permintaan beban sehingga menyebabkan beberapa hal yang dapat mengganggu kestabilan sistem, yaitu :

- a. Penurunan tegangan sistem
- b. Penurunan frekuensi

Suatu sistem tenaga listrik beserta komponennya memiliki spesifikasi aman tertentu berkaitan dengan tegangan. Setiap komponen memiliki nilai batas bawah dan batas atas tahanan operasi sistem. Hal ini berkaitan dengan pengaruh ketidakstabilan dan kualitas tegangan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan. Sebagian besar beban pada sistem tenaga listrik memiliki faktor daya tertinggal (*lagging*) sehingga membutuhkan suplai daya reaktif yang cukup tinggi. Ketika terjadi gangguan pada salah satu generator dalam sistem interkoneksi maka generator yang lain akan terjadi kelebihan beban. Sehingga kebutuhan daya reaktif akan semakin meningkat. Akibatnya turun

tegangan yang terjadi semakin besar dan menyebabkan kondisi yang tidak aman bagi generator. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu pelepasan beban. Namun, turun tegangan bisa juga diakibatkan oleh adanya gangguan lain seperti misalnya gangguan hubung singkat. Sehingga dalam hal ini penurunan frekuensi merupakan acuan yang lebih baik untuk melakukan pelepasan beban (Hidayat dan Irfan, 2004).

Pada dasarnya setiap generator memiliki spesifikasi tertentu berkaitan dengan rentang frekuensi kerja yang diijinkan beserta waktu operasi dari frekuensi tersebut. Penurunan frekuensi yang disebabkan oleh adanya beban lebih sangat membahayakan generator. Ketika laju penurunan frekuensi menurun tajam, hal buruk yang mungkin terjadi adalah pemadaman total. Apabila penurunan frekuensi tidak terlalu tajam, dapat segera dilakukan pelepasan beban (ANSI/IEEE Std. C.37.117-2007). Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan daya:

$$(P) = 9.8 \times Q \times H_n \times \eta \quad (2.1)$$

di mana:

P = Daya (kW)

Q = debit aliran (m^3/s)

H_n = Head net (m)

9.8 = konstanta gravitasi

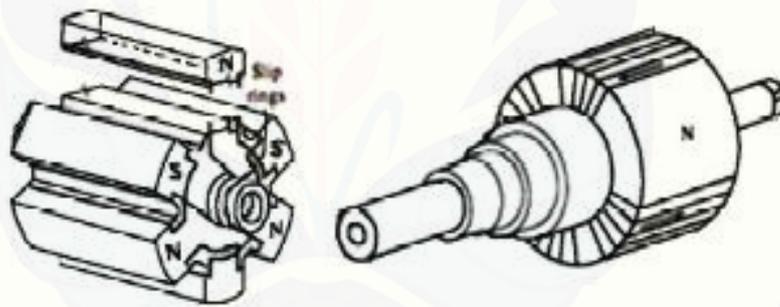
η = efisiensi generator.

Spesifikasi generator adalah putaran 1500 rpm, 50 Hz, 3 fasa dengan keluaran tegangan 220 V/380 V. Efisiensi generator secara umum adalah:

- Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0.7 – 0.8
- Aplikasi 10 – 20 KVA efisiensi 0.8 – 0.85
- Aplikasi 20 – 50 KVA efisiensi 0.85
- Aplikasi 50 – 100 KVA efisiensi 0.85 – 0.9
- Aplikasi >. – 100 KVA efisiensi 0.9 – 0.95

2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula (*primemover*) yang terkopel dengan rotor generator, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar. Generator sinkron secara umum dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk rotornya, yaitu generator turboatau *cylindrical-rotor generator* dan *salient pole generator*. Generator yang digunakan pada pembangkit listrik yang besar biasanya merupakan jenis generator turbo yang beroperasi pada kecepatan tinggi dan dikopel dengan turbin gas atau uap. Sedangkan generator salient-pole biasanya digunakan untuk pembangkit listrik kecil dan menengah.



Gambar 2. 3 Salient-Pole Rotor Dan Cylindrical-Rotor
(Sumber : Subandono A., Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, 2012)

Pada generator sinkron, arus searah dialirkan pada kumparan rotor yang kemudian menghasilkan medan magnet rotor. Rotor dari generator akan diputar oleh *prime mover*, menghasilkan medan magnet putar di dalam mesin. Pada stator generator juga terdapat kumparan. Medan magnet putar menyebabkan medan magnet yang melingkupi kumparan stator berubah secara kontinu. Perubahan medan magnet secara kontinu ini menginduksikan tegangan pada kumparan stator. Tegangan induksi ini akan berbentuk sinusoidal dan besarnya bergantung pada kekuatan medan magnet serta kecepatan putaran dari rotor. Untuk membuat

generator tiga fasa, pada stator ditempatkan tiga buah kumparan yang terpisah sejauh 120 derajat satu sama lain, sehingga tegangan yang diinduksikan akan terpisah sejauh 120 derajat satu sama lain pula. (Subandono A., 2012)

2.2.1. Komponen Generator Sinkron

Secara umum ada dua komponen utama penyusun generator sinkron yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam, tempat dimana tegangan induksi dibangkitkan. Sedangkan rotor merupakan bagian dari generator sinkron yang bergerak dan dialiri arus searah pada kumparannya. Pada stator, terdapat beberapa komponen utama, yaitu:

- Rangka Stator

Rangka luar yang biasanya terbuat dari baja berfungsi untuk menyokong struktur stator dan mempunyai kaki-kaki yang dipasang pada bagian fondasi. Rangka stator ini dibuat kokoh untuk mengatasi perubahan beban secara tiba-tiba atau hubung singkat tiga fasa.

- Inti Stator

Inti stator menyediakan jalur permeabilitas yang tinggi untuk proses magnetisasi. Inti stator dibuat berlaminasi untuk mengurangi rugi *eddy current* dan juga rugi histeresis. Bahan-bahan *non-magnetic* atau penggunaan perisai fluks yang terbuat dari tembaga juga digunakan untuk mengurangi *stray loss*.

- Slot

Slot merupakan tempat untuk meletakkan kumparan stator yang dibentuk dengan sistem berbuku-buku.

- Kumparan Stator

Kumparan stator merupakan tempat terbentuknya tegangan induksi pada generator dan didesain untuk menghasilkan kutub-kutub elektromagnetik stator yang sinkron dengan kutub magnet rotor.

Sedangkan pada bagian **rotor** terdapat tiga bagian utama, yaitu:

➤ *Collector ring* atau *slip ring*

Collector ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor, tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Bagian ini merupakan bagian yang terhubung dengan sumber arus searah yang untuk selanjutnya dialirkan menuju kumparan rotor.

➤ Kumparan rotor

Kumparan rotor merupakan bagian yang dialiri arus searah sebagai sumber medan magnet melalui sistem eksitasi tertentu.

➤ Poros

Poros merupakan tempat untuk meletakkan kumparan rotor dan merupakan bagian yang terkopel dengan dan diputar oleh *prime mover*.

2.2.2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron dapat dijelaskan dengan menggunakan dua kaidah sederhana. Kaidah pertama untuk rangkaian magnetik dan kaidah yang kedua untuk tegangan yang diinduksi pada sebuah konduktor yang disebabkan karena variasi medan magnet. Fluks ϕ dalam suatu rangkaian magnet yang mempunyai reluktansi R_m dihasilkan karena adanya *magnetomotive force* (*mmf*) F_m , dimana *mmf* itu sendiri berasal dari adanya arus I yang mengalir melalui lilitan berjumlah N .

$$\phi = F_m / R_m \quad (2.2)$$

Dan,

$$F_m = IN \quad (2.3)$$

2.2.3. Pemilihan Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada perencanaan PLTMH dapat berupa :

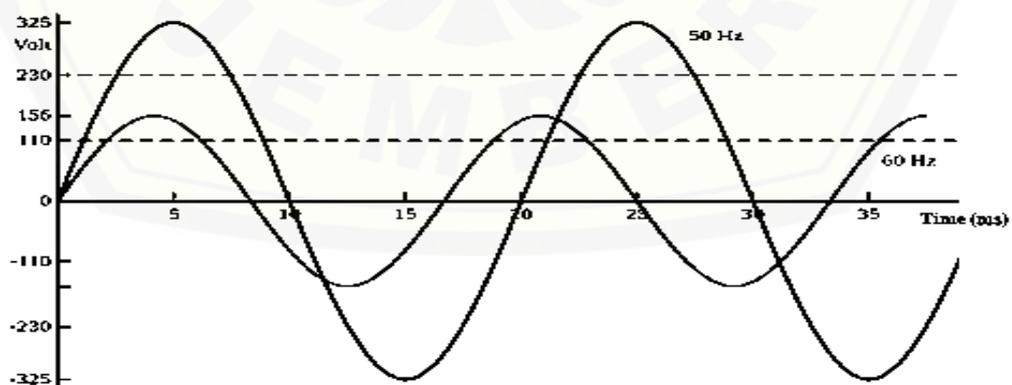
- Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) dengan penggunaan dua tumpuan bantalan (*two bearing*).
- Induction Motor sebagai Generator (IMAG) sumbu vertikal, pada perencanaan turbin propeller *open flume*.

Tabel 2. 1 Putaran Generator Sinkron (rpm)

Jumlah Pole	Frekuensi 50 Hz
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500
14	429

2.3 Kestabilan Frekuensi

Frekuensi sebenarnya adalah karakteristik dari tegangan yang dihasilkan oleh generator. Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah mengatur tentang mutu menyangkut toleransi tegangan (tegangan nominal +5%, -10% dan toleransi frekuensi (frekuensi nominal 1%), sedangkan keadaan menyangkut tersedianya pasokan listrik secara kontinyu dan tidak ada gangguan (Sesuai SPLN 3:1995).



Gambar 2. 4 Frekuensi Listrik pada frekuensi 50 Hz dan 60 Hz

(Sumber : <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2010/09/fenomena-frekWensi-listrik.html>
diakses tanggal 8/12/2015)

Menurut Moh. Agus (2016) menjelaskan bahwa parameter listrik dalam keadaan *steady state* yang diterima oleh konsumen adalah:

1. Variasi tegangan

Dalam sistem penyediaan tenaga listrik secara umum, variasi tegangan di titik suplai yang diijinkan adalah +5% dan -10% (standar PLN) sedangkan dalam ANSI C.84-1 diijinkan -10% dan +4% dalam kondisi normal, sedang dalam kondisi tertentu diijinkan -13% dan +6%.

2. Variasi Frekuensi

Merupakan deviasi frekuensi dasar sistem tenaga dari harga nominalnya. Variasi frekuensi tidak diatur dalam bentuk standar tetapi lebih banyak diatur dalam bentuk petunjuk operasi.

Untuk sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa-Madura-Bali diusahakan variasi frekuensi $\pm 0,5\%$, sedangkan daerah lainnya diusahakan tidak lebih dari $\pm 1,5\%$. (standard PLN).

Jadi dapat dikatakan frekuensi 50 Hz, maksudnya tegangan yang dihasilkan suatu generator berubah-ubah nilainya terhadap waktu, nilainya berubah secara berulang-ulang sebanyak 50 cycle setiap detiknya. Generator sinkron dalam PLTMH menggunakan frekuensi yang sama dengan sistem tenaga listrik di Indonesia, yaitu $\pm 50\text{Hz}$. Hal ini disebabkan karena para produsen generator maupun turbin tentunya mempunyai batasan dan tentunya setelah para produsen bereksperimen puluhan tahun dengan mempertimbangkan segala sudut teknis maka dibuatlah standar yang 50 hz dan 60 hz itu, yg tentunya dinilai cukup efektif untuk kestabilan beban dan efisien dari sisi teknis maupun ekonomis. Eropa menggunakan 50 hz dan Amerika menggunakan 60 hz. Setelah standarisasi maka semua peralatan listrik didesain mengikuti ketentuan ini. (Setyo, 2012)

Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari (diatas jam 11) 90% rumah mematikan lampu, maka beban mikrohidro menjadi turun. Hal ini akan mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi listrik akan naik dan bila terlalu

tinggi akan merusak alat - alat elektronik yang digunakan di rumah – rumah. (Dwiyanti, 2010)

2.4 Electronic Load Control (ELC)

ELC (pengatur beban elektronik) dengan beban *dummy load* (beban resistif berupa heater), alat ini mengendalikan frekuensi generator dengan jalan mengatur beban. Pada PLTMH dengan kontrol frekuensi ELC, maka generatornya selalu dioperasikan dalam kondisi beban penuh. Oleh sebab itu dari segi penghematan energi alat ini tidak efisien karena ada beban yang dibuang percuma ke *dummy load*. Disamping itu penggunaan ELC untuk PLTMH yang lebih besar kapasitas 100 Kilo Watt juga perlu dikaji mengingat harga komponen pendukungnya seperti SCR (Silicon Control Rectifier) dan sejenisnya harganya tidak murah untuk kapasitas daya seperti itu. Dengan perkembangan teknologi maka terobosan baru untuk mengganti ELC sebagai pengontrol frekuensi generator pada PLTMH bisa dilakukan.

2.5 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* kedalam suatu ruang *output*. Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965). Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari himpunan *fuzzy* yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*, dan bukan dalam bentuk logika benar (*true*) atau salah (*false*), tapi dinyatakan dalam derajat (*degree*). Konsep seperti ini disebut dengan *Fuzziness* dan teorinya dinamakan *Fuzzy Set Theory*. *Fuzziness* dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri. Seringkali ditemui dalam pernyataan yang dibuat oleh seseorang, evaluasi dan suatu pengambilan keputusan.

Fuzzy system (sistem kabur) didasari atas konsep himpunan kabur yang memetakan domain input kedalam domain *output*. Perbedaan mendasar himpunan tegas dengan himpunan kabur adalah nilai keluarannya. Himpunan tegas hanya

memiliki dua nilai *output* yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan kabur memiliki banyak nilai keluaran yang dikenal dengan nilai derajat keanggotaannya.

Logika *fuzzy* adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Dimana logika klasik (*crisp*) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah *binary* (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika *fuzzy* menggantikan kebenaran Boolean dengan tingkat kebenaran. Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk *linguistic*, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat”. Logika ini diperkenalkan oleh Dr. Lotfi Zadeh dari Universitas California, Barkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* telah digunakan pada bidang-bidang seperti taksonomi, topologi, linguistik, teori automata, teori pengendalian, psikologi, pattern recognition, pengobatan, hukum, *decision analysis*, *system theory* and *information retrieval*. Pendekatan *fuzzy* memiliki kelebihan pada hasil yang terkait dengan sifat kognitif manusia, khususnya pada situasi yang melibatkan pembentukan konsep, pengenalan pola, dan pengambilan keputusan dalam lingkungan yang tidak pasti atau tidak jelas. (Agus, 2016)

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika *fuzzy* (Kusumadewi S, Purnomo H, 2010) antara lain:

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami

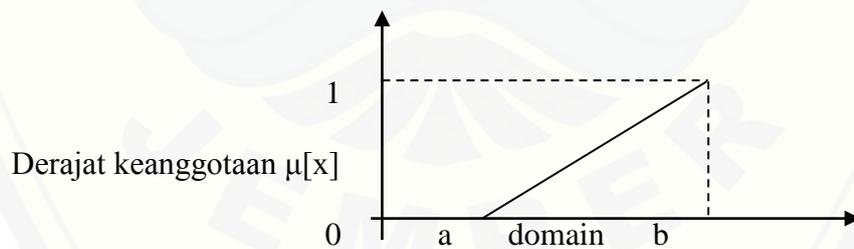
2.5.1 Fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Apabila U menyatakan himpunan universal dan A adalah himpunan fungsi *fuzzy* dalam U , maka A dapat dinyatakan sebagai pasangan terurut (Wang, 1997 dari Wulandari, F., 2005). Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.

Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang *linear*. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Kusumadewi S, Purnomo H, 2010). Seperti terlihat pada gambar 2.5.

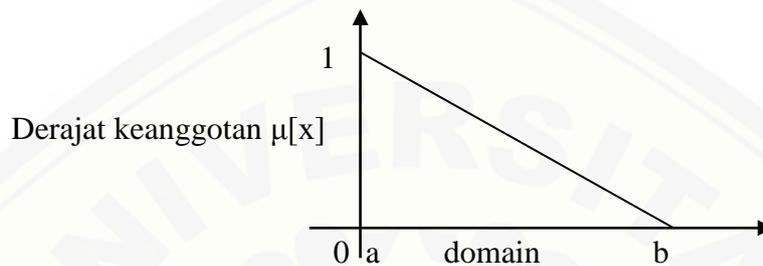


Gambar 2. 5 Representasi linear naik

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x-a) / (b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (2.4)$$

Kedua, merupakan kebalikan dari yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2.6.



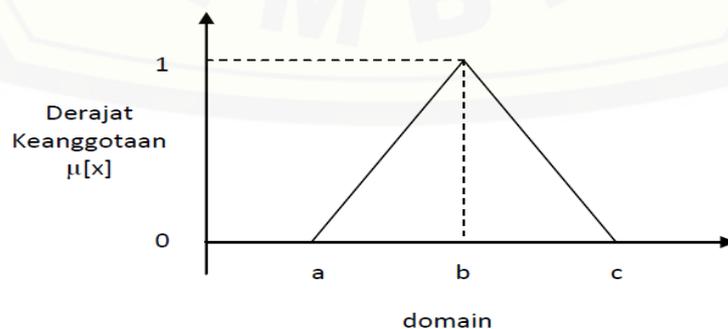
Gambar 2. 6 Representasi linear turun

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq b \\ (b-x) / (b-a) & a < x < b \\ 1 & ; x \leq a \end{cases} \quad (2.5)$$

b. Representasi kurva segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*linear*). Seperti terlihat pada gambar 2.7.



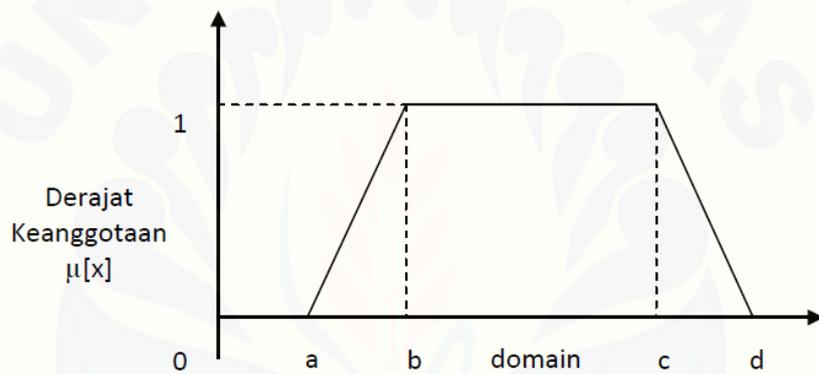
Gambar 2. 7 Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x-a) / (b-a) & ; a < x < b \\ (c-x) / (c-b) & ; b < x < c \end{cases} \quad (2.6)$$

c. Representasi kurva trapezium

Kurva trapezium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Representasi kurva trapezium

Fungsi keanggotaan:

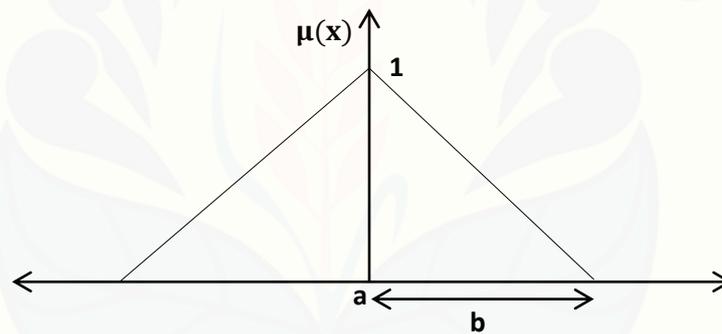
$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq d \text{ atau } x \leq a \\ (x-a) / (b-a) & ; a < x < b \\ (d-x) / (d-c) & ; c < x < d \\ 1 & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.7)$$

Fuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai pemetaan dari wawasan (domain) masukan terukur (masukan pengendali) menjadi himpunan fuzzy pada wawasan tertentu. Proses ini terdiri atas pengambilan harga masukan dan perhitungan

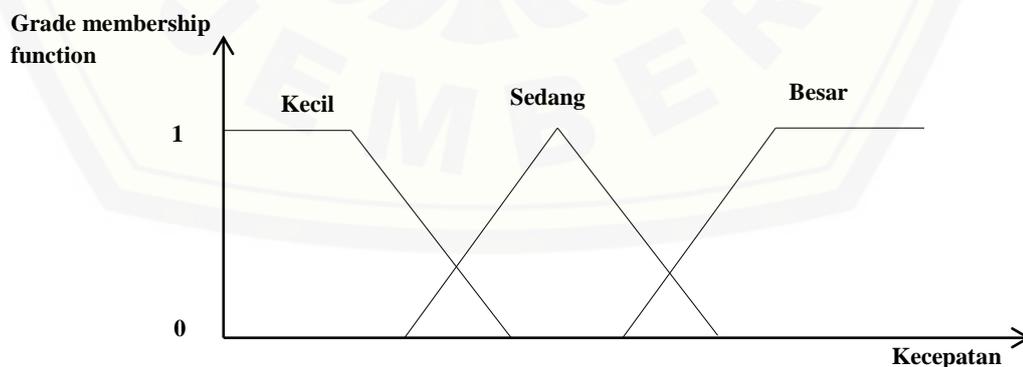
tingkat fuzzynya, sesuai dengan fungsi keanggotaan (membership function) yang digunakan. Pada proses ini dilakukan perubahan informasi dari himpunan tegas menjadi himpunan fuzzy. Besaran masukan harus berada pada jangkauan semesta dari kurva derajat keanggotaan yang akan menghasilkan nilai antara 0 dan 1.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa *Fuzzifikasi* yakni suatu proses merubah variable *non-fuzzy (crisp)* kedalam variabel *fuzzy*, variable *input (crisp)* dipetakan ke bentuk himpunan *fuzzy* sesuai dengan variasi semesta pembicaraan *input*. Pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*) $x = (x^1, x^2, \dots x^n)^T \in U$ ke himpunan *fuzzy* A pada semesta pembicaraan *U*. Data yang telah dipetakan selanjutnya dikonversikan ke dalam bentuk *linguistik* yang sesuai dengan label dari himpunan *fuzzy* yang telah terdefinisi untuk variabel *input system*. (Prabowo, 2011)

Keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 9 Bentuk Fungsi keanggotaan segitiga.



Gambar 2. 10 Fuzzy dengan 3 fungsi keanggotaan

Didalam *Fuzzy set* tentunya memiliki beberapa fungsi keanggotaan, jumlah dari keanggotaan inipun disesuaikan dengan banyaknya kebutuhan. Setiap fungsi keanggotaan dapat didefinisikan dengan label atau nama. Dapat dinyatakan dengan besar, sedang, kecil atau sesuai dengan keinginan. (Prabowo, 2011)

2.6 Pengaturan Katup

Prinsip dasar dari penggunaan kontrol frekuensi beban otomatis adalah mempertahankan kestabilan daya keluaran dari generator dan menjaga frekuensi tetap pada nilai nominalnya. *Automatic Load Frequency Control* akan mengontrol parameter frekuensi selama terjadi perubahan yang kecil di dalam sistem. Jika terjadi perubahan besar maka dibutuhkan kontrol darurat yang bereaksi jika terjadi perubahan besar daya dari sisi beban. Analisis yang dilakukan adalah analisis sinyal kecil, yaitu analisis yang digunakan ketika perubahan variabel sistem relatif kecil dari nilai nominal. Dalam analisis ini digunakan simbol Δf , dan ΔP , untuk menyatakan perubahan frekuensi, dan daya. (Ikbal,2012)

Kemampuan sensor dan program untuk mendeteksi perubahan rotasi perdetik (rps), rotasi permenit (rpm), dan frekuensi dari generator. Dalam hal ini jika variasi putaran poros generator perdetik dan permenit dapat dideteksi oleh program maka frekuensi dapat ditentukan.

Selanjutnya yakni kemampuan komputer atau program untuk melakukan perbandingan nilai frekuensi yang diukur dengan nilai *set point* (50 Hz). Jika program berjalan dengan baik maka deviasi frekuensi sebesar $\pm 0,5$ Hz akan menghasilkan suatu hasil yang menginformasikan bahwa telah terjadi penyimpangan frekuensi generator dari *set point*.

Kemudian setelah itu kemampuan komputer atau program untuk melakukan pengendalian arah putaran motor penggerak katup turbin. Program komputer dirancang sedemikian sehingga jika frekuensi generator turun maka komputer memberi sinyal aktif ke motor penggerak katup turbin agar bukaan katup diperbesar, demikian pula sebaliknya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Simulasi Matlab

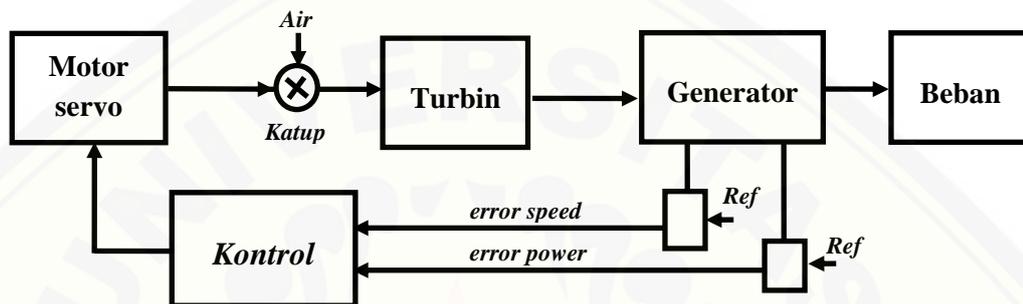
Simulasi Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water flow control*) Pada PLTMH dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem pengaturan katup aliran debit air dalam *simulink* Matlab yang mencakup blok: motor servo (*valve*), turbin, generator, beban.
2. Pembuatan model kontrol *Fuzzy* untuk membuat *error* frekuensi turbin menjadi seimbang yang nantinya akan menggerakkan motor untuk membuka/menutup katup ketika frekuensi turbin tidak stabil pada 50 Hz.
3. Melakukan pengambilan data-data pada PLTMH di desa Watupanjang, Kecamatan Krucil, Probolinggo yang akan dijadikan data pendukung simulasi sistem PLTMH yang menggunakan kontrol katup aliran debit air.
4. Melakukan simulasi pada sistem dengan menggunakan spesifikasi dan data-data yang menyerupai PLTMH yang sesungguhnya.
5. Membandingkan respon kontrol PID dengan respon kontrol *Fuzzy* dalam menyetabilkan frekuensi.
6. Analisis hasil simulasi dan membuat kesimpulan.

3.2 Diagram Blok Sistem

Pada sub bab ini difokuskan tentang alur diagram blok untuk pengujian yang nantinya akan dilakukan pengambilan data. Berikut ini merupakan alur perancangan kontrol pengaturan katup aliran debit air (*water flow control*) dengan menggunakan kontrol untuk mengatur besaran bukaan katup (*valve*). Nilai *output* yang keluar dari kontrol akan digunakan untuk menjadi *input* motor servo yang akan mengatur katup agar gapat menentukan keluaran air yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin dan mengatur kecepatan turbin. Hal ini dimaksudkan untuk melakukan pengontrolan katup aliran debit air ini berfungsi untuk

membatasi keluaran air yang disesuaikan dengan beban yang terhubung pada sistem yang akan membantu menggerakkan turbin untuk menyetabilkan *output* frekuensi dengan membuat putaran turbin dan generator menjadi stabil sehingga walaupun daya beban naik atau turun, putaran generator akan tetap stabil 50 Hz untuk menyesuaikan daya yang dipakai oleh beban. Sehingga diagram blok dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian

Pada gambar 3.1 merupakan alur blok sistem penelitian yang berisi blok yang saling terhubung dan memiliki fungsi masing - masing. Adapun penjelasan tentang jalannya proses penelitian pada blok diatas, yakni sebagai berikut:

1. Sistem berawal ketika air masuk ke turbin.

Pada *simlink* ini, nilai air akan masuk memberikan nilai masukkan pada turbin. Kemudian turbin akan memutar generator yang di *couple* dengan turbin. selanjutnya turbin akan mengeluarkan *output* yang mempengaruhi generator supaya putaran generator dapat berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

2. Generator berputar dan menghasilkan tegangan dan arus saat terhubung baban.

Pada generator yang berputar, dapat menghasilkan nilai tegangan dan arus untuk menyalurkan ke beban. Selain itu ditempatkan sensor yang mampu membaca kecepatan rotor dan sensor yang mampu membaca daya saat terdapat beban yang terhubung pada generator. Hasil pembacaan sensor-sensor inilah yang nantinya akan digunakan untuk diolah. Hasil pembacaan ini berupa nilai

satuan pu sehingga nilai referensi yang digunakan harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi satuan pu.

$$\text{Kecepatan putaran (pu)} = \frac{\text{kecepatan putaran yang diinginkan(rpm)}}{\text{kecepatan putaran base(rpm)}}$$

$$\text{kecepatan putaran (pu)} = \frac{1500 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} = 1 \text{ pu}$$

Sehingga, referensi *rotor speed* yang digunakan yaitu sebesar 1 pu. Penggunaan referensi rotor speed ini bertujuan untuk memberikan nilai referensi bagi kontrol untuk mengatur nilai keluaran air yang sesuai untuk *rotor speed* yang diinginkan. Selain *rotor speed*, hasil keluaran dari generator yang digunakan yakni nilai *active power* atau daya pembangkitan generator.

Generator berputar menghasilkan tegangan 220 volt dan pada saat terhubung beban 3,96 kW pada generator, maka arus yang dihasilkan yaitu sebesar 18 Ampere. Sehingga referensi *active power* harus bernilai 3,96 kW untuk membuat pembangkitan generator sesuai dengan beban yang terhubung pada generator. Hasil pembacaan berupa nilai satuan pu sehingga nilai referensi yang digunakan harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi satuan pu.

$$P = V \times I$$

$$3960 \text{ (W)} = 220 \text{ (V)} \times I \quad \text{Sehingga,} \quad I = 18 \text{ Ampere}$$

Jadi, referensi *active power* atau daya untuk membangkitkan generator dalam nilai 3,96 kW yakni dengan mengonversikan ke nilai pu maka menggunakan rumus berikut:

$$\text{Active power (pu)} = \frac{\text{Active power diinginkan(kW)}}{\text{Active power base(kW)}}$$

$$\text{Active power (pu)} = \frac{3,96 \text{ kW}}{25 \text{ kW}} = 0,1584 \text{ pu}$$

Nilai referensi untuk *active power* merupakan besarnya beban yang terhubung pada generator. Dari contoh perhitungan di atas, dapat diketahui juga besarnya nilai referensi untuk *active power* yakni bernilai 0,1584 pu untuk beban 3,96 kW, bernilai 0,3168 pu untuk beban 7,92 kW, bernilai 0,22704 pu pada beban 5,676 kW, bernilai 0,45144 pu untuk beban 11,286 kW, bernilai 0,2904 pu pada beban 7,26 kW dan bernilai 0,528 pu untuk beban 13,2 kW.

3. Beban terhubung pada generator.

Penggunaan beban dimaksudkan untuk memberikan respon terhadap putaran generator dimana nantinya akan menggunakan dua nilai beban untuk mempengaruhi putaran generator yang akan memberikan efek kecepatan putaran. Sehingga pada saat nilai daya beban naik, maka putaran generator akan terbebani sehingga menyebabkan putaran generator lebih lambat dan disaat itulah frekuensi putaran generator akan menurun. Saat frekuensi turun maka frekuensi tidak menjadi 50 Hz (dibawah 50 Hz) yang nantinya akan membahayakan pada peralatan elektronik.

Begitupun sebaliknya pada saat daya beban turun, maka putaran generator akan semakin ringan sehingga menyebabkan putaran generator lebih cepat dan disaat itulah frekuensi putaran generator akan meningkat. Saat frekuensi meningkat maka frekuensi tidak menjadi 50 Hz (diatas 50 Hz) yang nantinya juga akan membahayakan pada peralatan-peralatan elektronik.

4. Pengolahan data dari generator yang akan dikontrol.

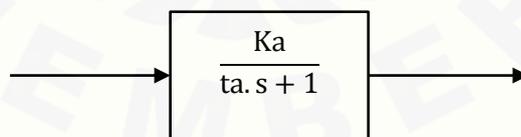
Pengolahan data yang akan dikontrol yakni dengan membandingkan data aktual dengan data referensi yang diinginkan. Data aktual dari kecepatan rotor dan data aktual dari daya dibandingkan dengan data referensi masing-masing parameter tersebut. Sehingga akan terdapat nilai selisih yang dapat disebut dengan nilai *error*. Dengan nilai inilah yang menjadi inputan dari kontrol yang akan diolah untuk dapat mengeluarkan inputan kontrol yang mengatur motor servo untuk dapat bekerja sesuai nilai yg diinginkan.

5. Motor Servo Bekerja Mengatur Katup.

Sistem kerja dari motor servo tersebut yakni mengatur nilai keluaran air dengan cara membuka atau menutup katup yang digerakkan oleh motor servo dimana motor servo tersebut dikontrol sehingga motor servo dapat mengatur bukaan katup yaitu dengan membatasi nilai keluaran air yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Dari pembahasan tersebut, dapat diketahui bahwa pengontrolan katup aliran debit air ini berfungsi untuk membatasi keluaran air yang disesuaikan dengan beban yang terhubung pada sistem yang akan membantu menggerakkan turbin untuk menyetabilkan *output* frekuensi dengan membuat putaran turbin dan generator menjadi stabil sehingga walaupun daya beban naik atau turun, putaran generator akan tetap stabil 50 Hz untuk menyesuaikan daya yang dipakai oleh beban.

3.2.1 Motor Servo

Model motor servo yang akan mengatur bukaan katup untuk membatasi keluaran debit air sehingga mampu mempengaruhi putaran turbin. Pada model motor servo pada *simulink*, dimodelkan menggunakan *transfer function* secara umum yakni pada gambar 3.2 (Usman A, 2015). Motor servo akan menerima nilai keluaran dari kontrol untuk diteruskan ke katup. Selanjutnya katup akan mengatur keluaran air yang pas untuk menggerakkan turbin dan generator dengan beban yang terhubung. Adapun model motor servo yakni sebagai berikut:



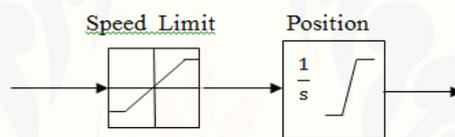
Gambar 3. 2 Model Motor Servo

Pada gambar 3.2, dapat dijelaskan bahwa sistem ini merupakan desain kontrol katup pada *simulink* dari sebuah katup aliran debit air. Adapun kontrol katup atau motor servo mendapat input dari keluaran kontrol yang berbasis PID atau *fuzzy logic control* sehingga ketika sistem belum stabil, maka kontrol akan

mengeluarkan nilai *output* untuk mempengaruhi kerja motor servo yang nantinya bertujuan untuk membuka/menutup katup aliran debit air. Pada motor servo ini berisi *transfer function* yang berfungsi untuk mengubah suatu sistem *real* kedalam bentuk blok model pada *simulink*. Pada motor servo ini berfungsi untuk merumuskan nilai *input* yang didapat dari kontrol *fuzzy* untuk diproses dan diteruskan menjadi nilai *output* yang sesuai untuk meneruskan pada blok *speed limit* dan diteruskan pada blok *position*.

3.2.2 Katup

Katup aliran debit air pada *simulink* yang akan mengatur keluaran debit air sehingga mampu mempengaruhi putaran turbin ditampilkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Model Katup

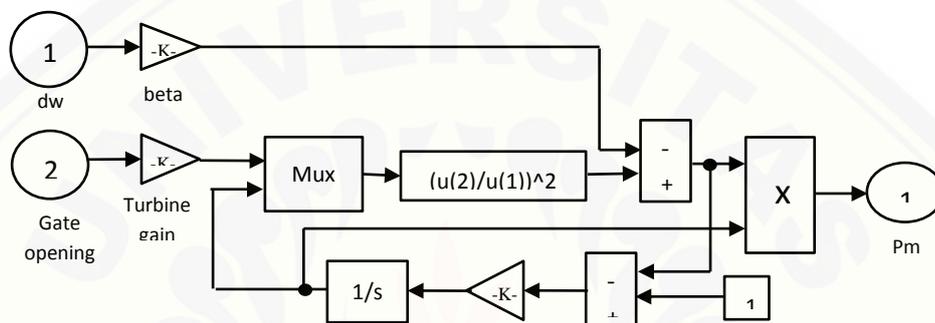
Pada gambar 3.3 terdapat 2 blok yaitu blok *speed limit* dan blok *position*. blok *speed limit* merupakan blok yang dapat membatasi nilai keluaran yang nantinya akan diteruskan ke blok *position*. Blok *speed limit* dan blok *position* merupakan blok yang mengasumsikan bukaan katup aliran debit air pada sistem *real* suatu katup aliran air. Prinsip kerja dari blok *speed limit* yaitu dengan mengacu pada nilai motor servo. Apabila nilai *output* motor servo masih bernilai positif (+) maka blok *position* akan menambahkan nilai *output* yang berawal dari nilai *initial condition* hingga *limit* maksimum yang ditentukan pada blok *position*. Sedangkan pada saat *output* motor bernilai negatif (-), maka blok *position* akan mengurangi nilai *output* yang berawal dari nilai *initial condition* hingga *limit* minimum yang ditentukan pada blok *position*.

Hal ini mengartikan bahwa apabila blok *position* mencapai nilai maksimum dari *limit* maka bukaan katup akan terbuka secara penuh dan apabila

blok *position* mencapai nilai minimum dari *limit* maka bukaan katup diibaratkan tertutup secara penuh.

3.2.3 Turbin

Model turbin pada *simulink* yang akan mengatur putaran generator, dimodelkan menggunakan beberapa blok dengan nilai *transfer function* secara umum yakni pada gambar 3.4 (IEEE,1992). Adapun model dari perancangan turbin yang digunakan pada penelitian ini yakni sebagai berikut:

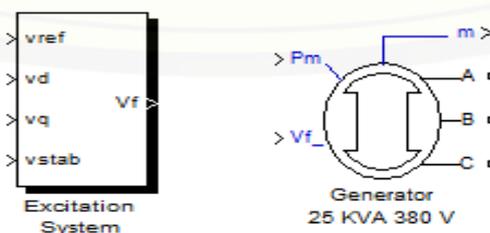


Gambar 3. 4 Perancangan Turbin

Gambar 3.4 merupakan penjabaran dari blok turbin yang terdapat pada rancangan sistem dimana dalam rangkaian turbin terdapat beberapa blok seperti *function block*, *gain*, dan *product* dimana blok-blok tersebut berfungsi untuk merumuskan nilai *input* yang didapat dari motorservo untuk diproses dan diteruskan menjadi nilai *output* yang sesuai untuk menggerakkan generator.

3.2.4 Generator

Blok generator yang akan digunakan pada sistem PLTMH pada *simulink* Matlab 7.8.0 (2009a) ditampilkan pada gambar 3.5:



Gambar 3. 5 Desain generator dan sistem eksitasi pada *Simulink*

Pada blok *excitation system* pada *simulink*, dimodelkan menggunakan blok yang secara umum digambarkan yakni pada gambar 3.5 (Usman A, 2015). Hal ini dikarenakan sistem eksitasi generator tersebut menggunakan satuan pu sehingga dapat digunakan sebagai sistem eksitasi pada generator ini. Kemudian, pada spesifikasi generator disesuaikan dengan generator yang digunakan di Desa Watupanjang, Krucil, Probolinggo. Hal ini diperlukan supaya sistem yang berjalan pada *simulink* bekerja berdasarkan data lapangan. Berikut ini merupakan data spesifikasi generator dilapangan.

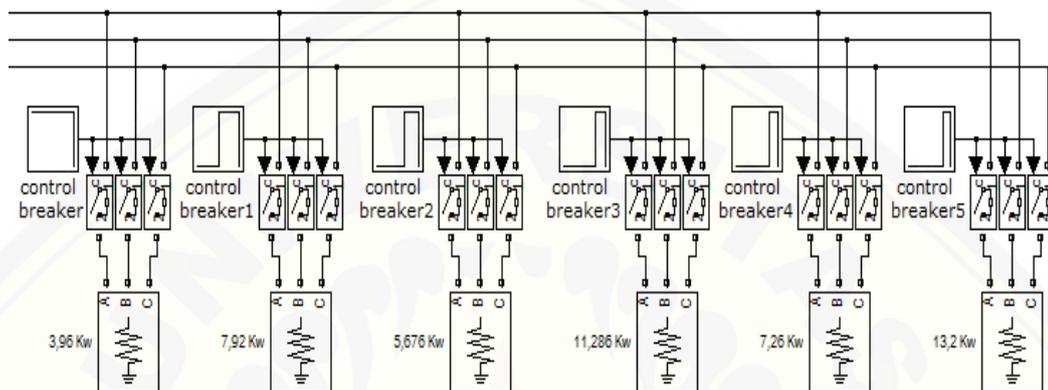
Tabel 3. 1 Spesifikasi Generator 3 Fasa PLTMH

MarelliGenerators – MJL 160 MB4		
4 Pole / 1500 rpm / 50 Hz		
Parameter	Nilai	
Frekuensi	50 Hz	
Daya	24.7 KVA	
Tegangan	380 V	
	220 V	
Reaktansi [%]	Xd	193
	Xq	102
	X'd	16.7
	X''d	12.4
	X''q	18.9
	X ₂	15.8
	X ₀	7.5
Waktu Konstan [s]	T'do	0.55
	T'd	0.024
	T''d	0.006
	T _a	0.006

3.2.5 Beban

Perancangan beban pada *simulink* dibuat menyerupai kenyataan dimana nilai beban dibuat naik dan turun dengan bantuan *control breaker* sehingga beban

akan berubah sesuai dengan waktu yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan total 6 beban resistif dan terdiri dari 3 kondisi yakni beban kecil, beban rata-rata dan beban besar. Pada setiap kondisi terdiri dari nilai beban siang dan beban malam (data terlampir). Berikut ini merupakan keseluruhan beban yang terhubung pada sistem PLTMH pada *Simulink*:



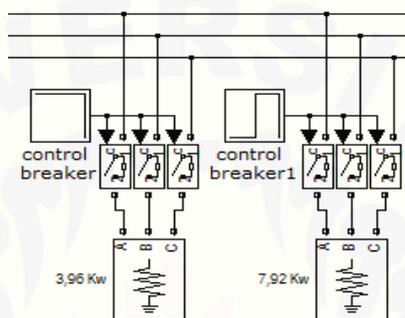
Gambar 3. 6 Beban yang terhubung pada PLTMH *simulink*

Pengaplikasian beban pengujian pada gambar *simulink* 3.6 yakni dengan memanfaatkan *breaker*. *Breaker* yang digunakan pada setiap bebannya yakni sebanyak 3. Hal ini dikarenakan, untuk beban yang digunakan yakni beban resistif 3 fasa sehingga *breaker* yang digunakan pada setiap bebannya harus terhubung pada masing-masing fasanya. *Breaker* ini nantinya akan berfungsi sebagai komponen pemutus atau penyambung aliran listrik ke beban. Sehingga nantinya dapat mengatur seberapa besar nilai beban yang akan digunakan atau seberapa besar nilai beban yang akan terhubung pada sistem. Selain itu *breaker* pada *simulink* ini diatur oleh *control breaker* dimana berfungsi sebagai *timer*. *Timer* akan menentukan waktu saat *breaker* harus terhubung dan waktu saat *breaker* harus terputus. Sehingga nantinya akan mengatur kerja *breaker* pada detik yang diinginkan dan menimbulkan naiknya nilai beban pada beberapa waktu, dan juga dapat menimbulkan turunnya nilai beban pada beberapa waktu. Pada penelitian ini menggunakan total 6 beban yang terdiri dari 3 kondisi yakni beban kecil,

beban rata-rata dan beban besar. Adapun 3 kondisi pengujian terhadap beban yakni sebagai berikut:

A. Pada Kondisi Beban Kecil

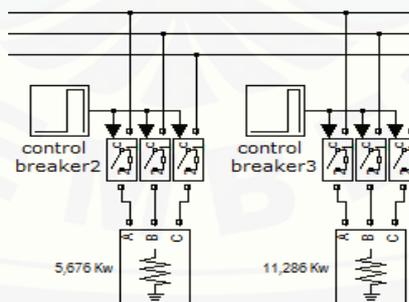
Kondisi beban kecil merupakan nilai beban terkecil yang terjadi saat siang dan malam. Pada kondisi ini, saat siang terdapat beban sebesar 3,96 kW dan saat malam bernilai 7,92 kW yang terhubung pada sistem PLTMH *Simulink* seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Kondisi nilai beban kecil

B. Pada Kondisi Beban Rata-Rata

Kondisi beban rata-rata merupakan nilai rata-rata beban yang terjadi saat siang dan malam. Pada kondisi ini, saat siang terdapat beban sebesar 5,676 kW dan saat malam bernilai 11,286 kW yang terhubung pada sistem PLTMH *Simulink* seperti yang terlihat pada gambar 3.8.

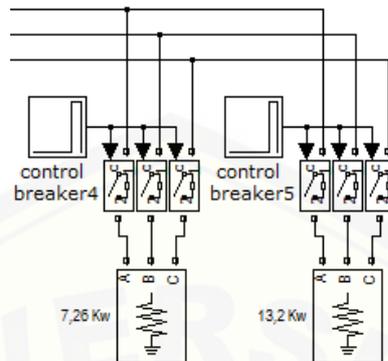


Gambar 3. 8 Kondisi nilai beban rata-rata

C. Pada Kondisi Beban Besar

Kondisi beban besar merupakan nilai beban paling besar yang terjadi saat siang dan malam. Pada kondisi ini, saat siang terdapat beban sebesar 7,26 kW dan

saat malam bernilai 13,2 kW yang terhubung pada sistem PLTMH *Simulink* seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



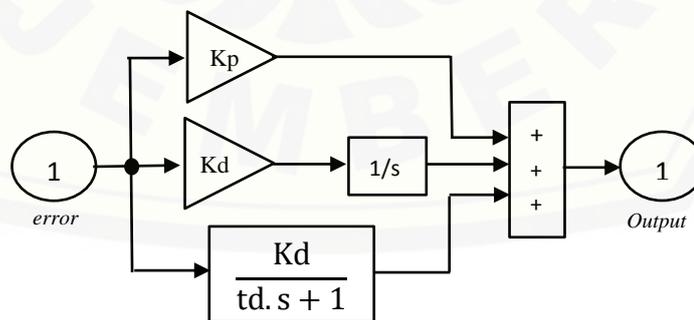
Gambar 3. 9 Kondisi nilai beban besar

3.2.6 Kontrol

Pada penelitian ini, kontrol dibandingkan untuk melihat pengujian sistem yang berfungsi untuk menyetabilkan sistem *Simulink* mikrohidro

A. Kontrol PID

Pada model kontrol PID merupakan model kontrol yang telah dirancang dari penelitian sebelumnya yakni pada paper berjudul “*Modelling and Simulation of Micro Hydro Power Plant using Matlab Simulink*” (Usman A.,2015). Kontrol PID ini nantinya akan dibandingkan dengan kontrol *fuzzy*. Adapun perancangan kontrol PID yakni sebagai berikut:

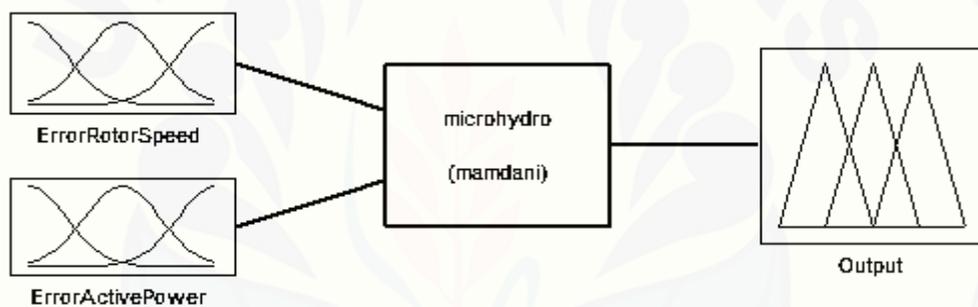


Gambar 3. 10 Perancangan kontrol PID pada *Simulink* Mikrohidro

Pada pemodelan kontrol PID ini, menggunakan nilai-nilai konstanta sebagai berikut: $K_p = 0.613$, $K_i = 0.104$, $K_d = 0.0002$ dan $t_d = 0.01$. Kemudian kontrol ini akan digunakan pada sistem mikrohidro yang dilakukan pada penelitian saat ini yakni sebagai pembanding dari kontrol *fuzzy*.

B. Kontrol Fuzzy

Pada desain kontrol *fuzzy* ini, dirancang sesuai dengan nilai *output* yang diinginkan. Sehingga kontrol berupaya untuk mengatur nilai keluaran yang akan mengontrol motor servo sehingga mampu mengatur besarnya bukaan katup aliran debit air. Berikut ini merupakan desain *fuzzy* yang akan digunakan untuk *input* motor servo:

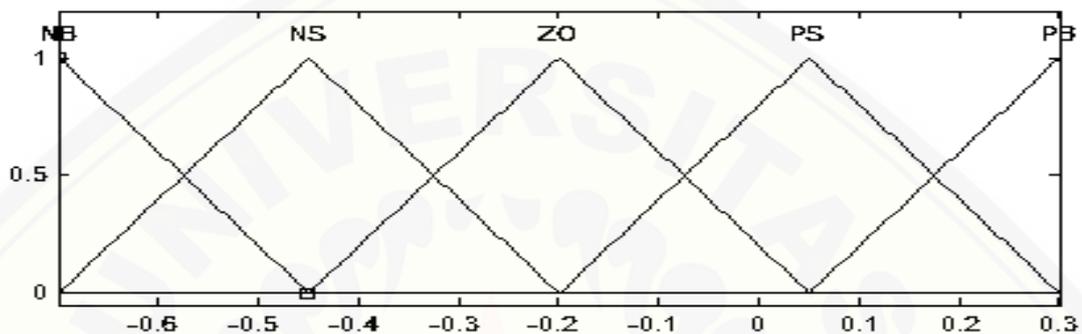


Gambar 3. 11 Perancangan kontrol *fuzzy* pada *Simulink* Mikrohidro

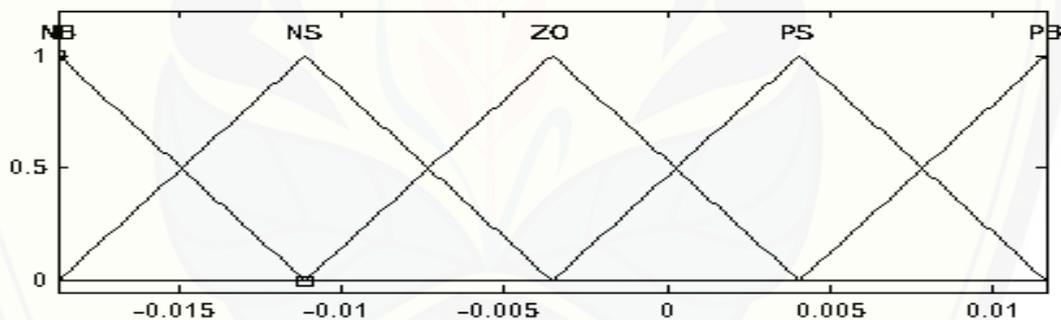
Pada perancangan kontrol logika *fuzzy* penelitian ini, menggunakan 2 *input fuzzy* dan terdapat 1 *output fuzzy*. *Input* pertama merupakan nilai *error rotor speed* artinya nilai ini didapatkan dari nilai selisih antara *speed* aktual dengan *speed* referensi. Sedangkan untuk *input* kedua merupakan nilai *error active power* artinya nilai ini didapatkan dari selisih nilai antara *active power* aktual dengan *active power* referensi. Nilai *output* merupakan nilai logika yang akan menjadi nilai keluaran kontrol *fuzzy*. Perancangan *Fuzzy* ini dilakukan dengan cara melakukan metode *try and error* pada nilai perancangan *fuzzy* dengan mengatur nilai *output* supaya menghasilkan nilai yang mampu menstabilkan frekuensi. Untuk membuat sistem kontrol bekerja lebih efisien, maka pembentukan *membership function* pada *input* dibuat dengan *range* nilai yang

lebih sering muncul pada *error rotor speed* dan *error active power* pada kedua *input* tersebut.

Pada kontrol *input* kontrol ini menggunakan 5 *membership function* yang terdiri dari 5 kategori yakni NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), ZO (*Zero*), PS (*Positive Small*) dan PB (*Positive Big*). Adapun detail perancangan *input* kontrol *fuzzy* yakni sebagai berikut:

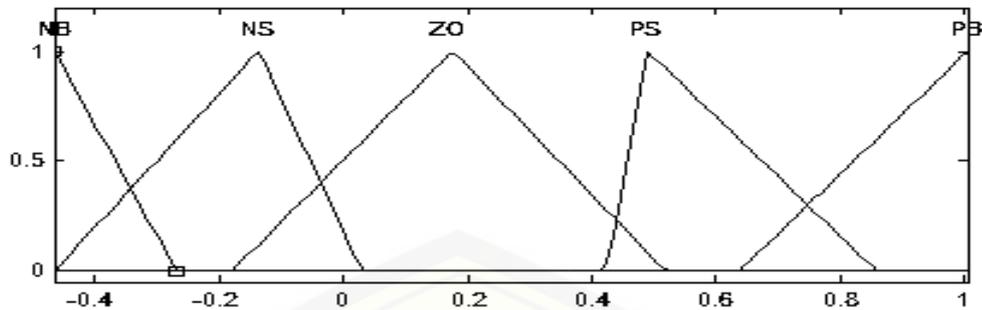


Gambar 3. 12 Perancangan *membership function input error rotor speed*



Gambar 3. 13 Perancangan *membership function input error active power*

Pada gambar 3.12 dan 3.13 merupakan rancangan *input* kontrol pada *fuzzy* yang akan digunakan. Dimana untuk menentukan rancangan *output* memiliki nilai yang berbeda-beda untuk setiap kondisi. Artinya pada 1 *output fuzzy* masih mampu menyelesaikan 3 kondisi pembebanan. Dengan demikian kontrol *fuzzy* akan bertugas sesuai dengan kondisi beban masing-masing. Pada penelitian ini menggunakan 3 kondisi pembebanan yakni kondisi beban kecil, kondisi beban rata-rata dan kondisi beban kecil. Adapun rancangan *output* kontrol *fuzzy* tiap kondisi yakni sebagai berikut:



Gambar 3. 14 Perancangan *membership function output*

Untuk merancang *rulebase* yaitu dengan cara memanfaatkan nilai *input* yang didapat untuk memperoleh nilai *output* yang diinginkan. Sehingga dari data *input* dan *output* kontrol tersebut dapat diketahui kategori yang sesuai dengan nilai tersebut. Dari contoh perhitungan *membership function* pada perancangan kontrol *fuzzy* berdasarkan acuan perhitungan maka dapat dirancang sebuah *rulebase* 5x5 yang dijabarkan pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 *Rule base* pencangan kontrol *fuzzy*

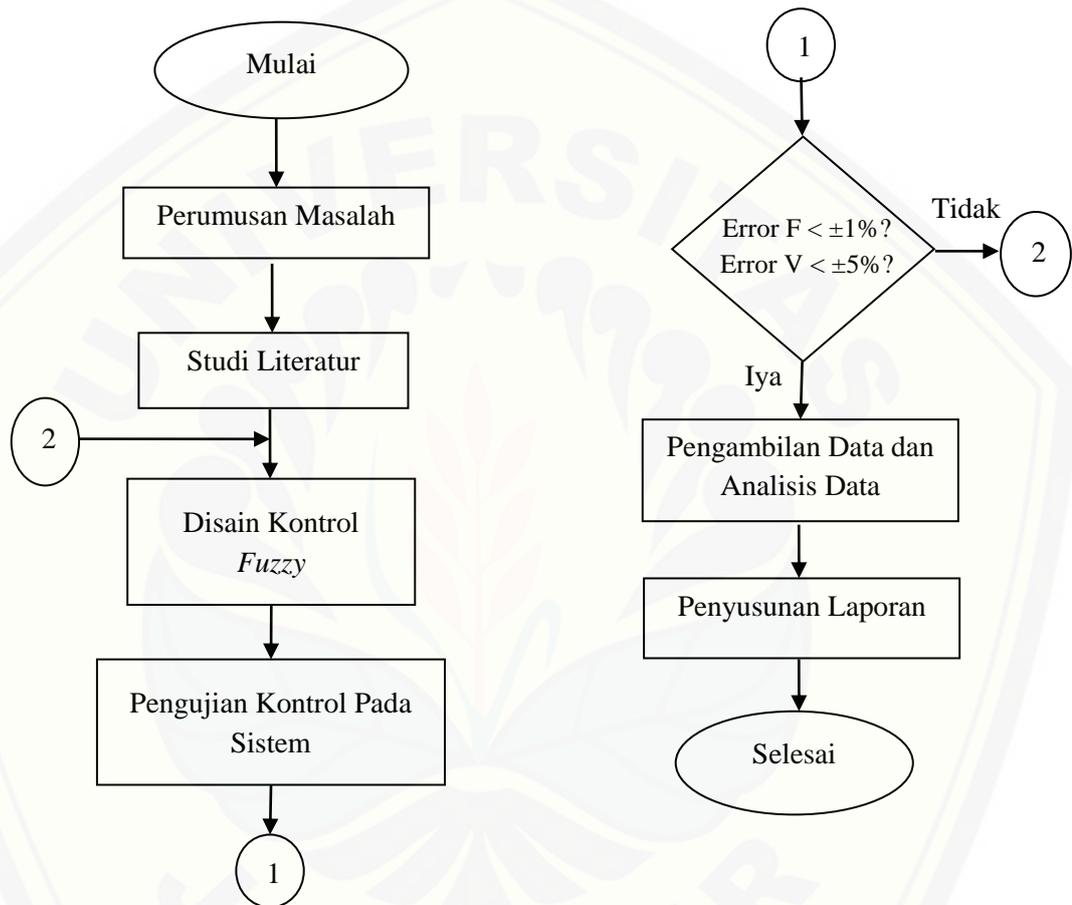
<i>Error Active Power</i> / <i>Error Rotor Speed</i>	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZO
NS	NB	NS	NS	ZO	ZO
ZO	NS	NS	NS	ZO	ZO
PS	NS	ZO	PS	PS	PB
PB	ZO	ZO	ZO	PS	PB

Pada tabel 3.2 merupakan *rule* dalam menangani 3 kondisi dimana nilai beban ini merupakan beban kecil, rata-rata dan besar yang terhubung saat siang dan malam. Sehingga dengan *membership function* yang digunakan telah mencakup 3 kondisi pembebanan.

3.3 Flowchart

3.3.1 Flowchart Penelitian

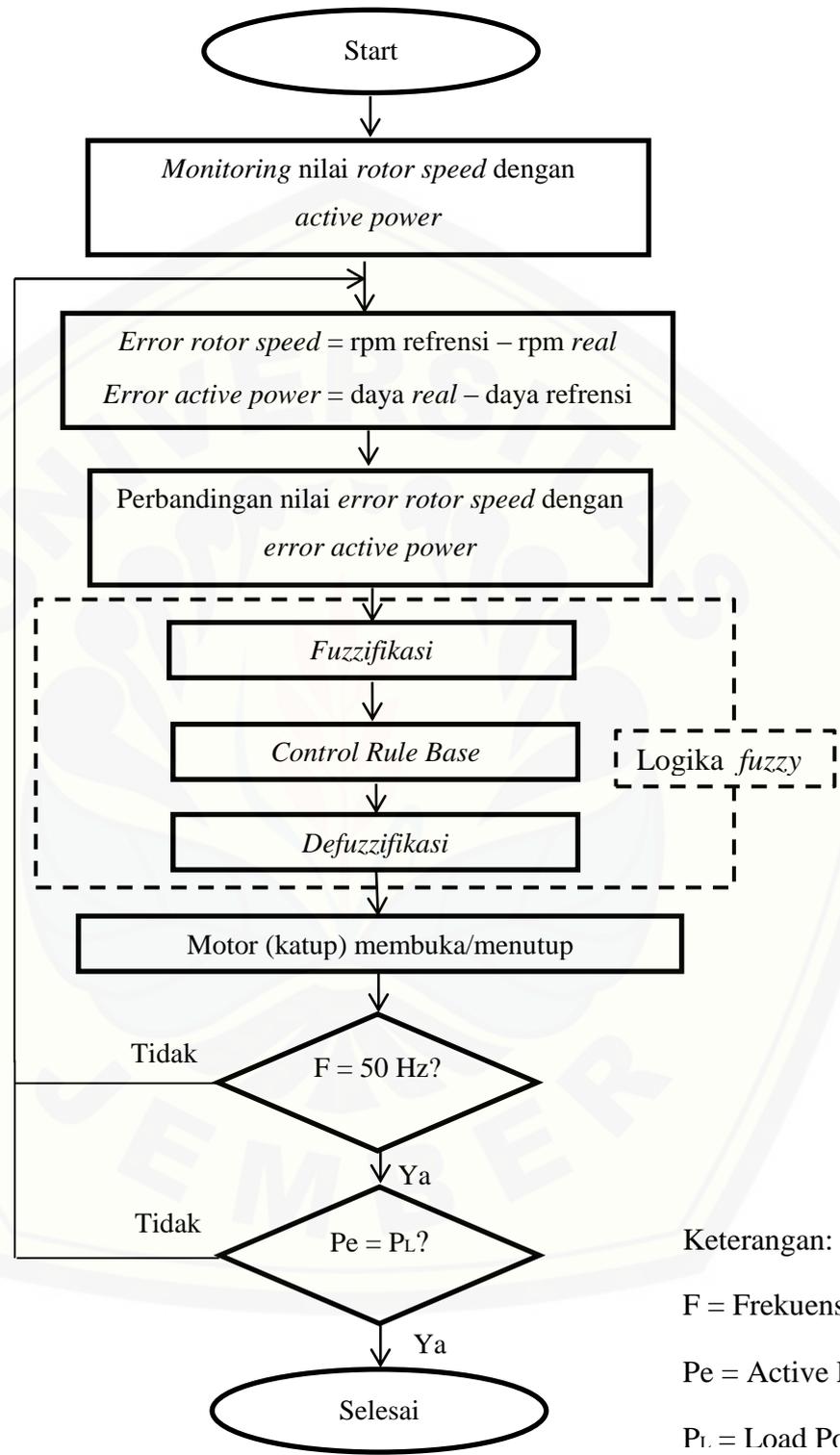
Flowchart Penelitian tentang kontrol pengaturan katup aliran debit air (*water flow control*) dengan menggunakan *fuzzy logic control* untuk mengatur besaran bukaan katup (*valve*) yakni sebagai berikut:



Gambar 3. 15 Bagan Alur Rancangan Penelitian

3.3.2 Flowchart Sistem

Flowchart sistem tentang kontrol pengaturan katup aliran debit air (*water flow control*) dengan menggunakan *fuzzy logic control* untuk mengatur besaran bukaan katup (*valve*) yakni sebagai berikut:



Gambar 3. 16 Flowchart Sistem

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* MATLAB 7.8.0 (2009a) dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dalam kontrol kestabilan frekuensi, kontrol PID mampu menyetabilkan frekuensi kecepatan rotor menjadi 50 Hz selama 150 sekon sedangkan pada kontrol *fuzzy* mampu menyetabilkan frekuensi kecepatan rotor menjadi 50 Hz hanya dalam waktu 50 sekon. Sehingga kontrol *Fuzzy* memiliki respon yang lebih cepat daripada kontrol PID dalam hal menyetabilkan nilai frekuensi kecepatan rotor baik dalam Kondisi Beban Kecil ataupun malam.
2. Nilai penggunaan air sesuai dengan besarnya nilai beban yang terhubung pada sistem dimana pada saat adanya penambahan beban dan terjadi *drop* pada frekuensi kecepatan rotor, kontrol *fuzzy* mampu kembali mestabilkan frekuensi dengan menambahkan penggunaan air dalam waktu 20 sekon sedangkan kontrol PID memerlukan waktu sekitar 100 sekon untuk menyetabilkan penggunaan air saat terjadi penambahan beban.
3. Kontrol *fuzzy* juga mampu menyetabilkan nilai tegangan yang dihasilkan dengan baik yakni mampu menjaga tegangan *line to netral* (V L-N) untuk tetap stabil pada interval nilai 219 hingga 220 volt.
4. Penggunaan Air jauh lebih efisien menggunakan kontrol katup aliran debit air berbasis *fuzzy* jika dibandingkan dengan penggunaan ELC hal ini dikarenakan penggunaan air disesuaikan dengan permintaan beban. untuk membangkitkan 3,96 kW penggunaan air yg dibutuhkan hanya $0,095 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan pada penggunaan ELC nilai air yang digunakan tetap sebesar $0,3803 \text{ m}^3/\text{s}$.
5. Pada kontrol *fuzzy*, besarnya nilai daya yang dihasilkan sesuai dengan besarnya permintaan beban sehingga memiliki nilai efisien yang tinggi dan daya tidak tebuang seperti yang terdapat pada kasus penggunaan ELC.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian kontrol katup aliran debit air pada PLTMH, maka ada beberapa saran yang perlu menjadi bahan pertimbangan, yaitu:

1. Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dianalisis respon sistem dengan menggunakan kontrol yang lebih kompleks agar hasil yang dikeluarkan sistem lebih baik.
2. Simulasi yang dilakukan pada sistem kontrol katup aliran debit air pada PLTMH sudah menghasilkan respon sistem yang baik, maka perlu adanya penerapan secara nyata agar dapat dinikmati oleh masyarakat.
3. Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dianalisis respon sistem pada spesifikasi generator yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng P. T. 2007. An In-rush Current Supression Technique for the Solid-State Transfer Switch System. IEEE. 1703
- Ikbal, M. (2012). Studi Pemodelan Pengaturan Frekuensi Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro.1-3
- Muhalla. (2013). Pengoperasian Motor Induksi Sebagai Generator Untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH). *Jurnal Litek (ISSN: 1693-8097)*, 1.
- Nugraha, Y. A. (2013). Optimasi Kondisi Jaringan Listrik Pembangkit Listrik. 1.
- Prabowo, H. (2011). Rancang Bangun Aplikasi Kontrol Fuzzy. 2.
- Prabowo, R. (2011). Rancang Bangun Aplikasi Kontrol Fuzzy dengan Turbin Angin pada Sistem Teknologi Hybrid Konversi Suya & Angin. 1.
- Prayitno, A. A. 2013. Analisis Arus dan Tegangan Transien Akibat Pelepasan Beban pada Sisi Primer Transformator unit 5, unit 6 dan unit 7 Suralaya. *SETRUM (ISSN:2301-4652)*.31
- Putra, D. W. (2012). Perancangan Aplikasi Plc Omron Sysmac Cp11 Pada Sistem Otomasi Governor Sederhana Sebagai Pengatur Frekuensi Keluaran Pltmh. 1.
- Setyo, E. (2012). Perancangan Electronic Load Controller (ELC) sebagai Penstabil Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). 2.
- Subandono, A. (2012). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). 1-3.
- Usman, Auwal A. (2015). Modelling and Simulation of Micro Hydro Power Plant using Matlab Simulink. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science (Ijates) ISSN: 2348-7550*.267
- Varughese, A., & Angel Michael, P. (2013). *Electrical Characteristics of Micro-Hydro Power Plant Proposed in Valara Waterfall*. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*.1-2