



**RANCANG BANGUN KONTROL *MULTI INPUT* BERBASIS *MIMO-FUZZY LOGIC* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID*
PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN**

SKRIPSI

Oleh

Galih Septian Rivaldi

NIM 141910201085

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN KONTROL *MULTI INPUT* BERBASIS *MIMO-FUZZY LOGIC* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID*
PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Galih Septian Rivaldi

NIM 141910201085

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas nikmat dan kasihnya yang telah melimpahkan rahmat yang tak ternilai hingga dapat menyelesaikan penelitian ini, Penulis menyadari bahwa banyak semangat dan doa yang diberikan dari berbagai pihak akhirnya di persembahkan skripsi ini kepada:

1. Ayah Muslim, mama Yuniati Ningsih, bunda Windyaningrum, adik Fadila Rizki Amalia, adik Tsamarah Septi Nabila, dan adik Yaqzhan Rakha Assaid tercinta serta keluarga besar yang selalu mendoakan, mengarahkan, serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis.
2. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat sabar demi kesempurnaan skripsi ini.
3. Para Pahlawan tanpa tanda jasa yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan kepada penulis mulai dari taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi.
5. Keluarga Besar KETEK UJ 2014, yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan do'a hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan do'a, semangat, serta perhatian yang luar biasa.
7. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

*“Barangsiapa keluar (pergi) untuk mencari ilmu maka ia berada di jalan Allah
hingga ia pulang”*

(HR. Tirmidzi)

*“Yang penting bukan apakah kita menang atau kalah, Tuhan tidak mewajibkan
manusia untuk menang sehingga kalah pun bukan dosa, yang penting adalah
apakah seseorang berjuang atau tak berjuang”*

(Emha Ainun Nadjib)

*“Barangsiapa yang mempermudah urusan orang yang mengalami kesulitan,
maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat”*

(HR. Ibnu Majah)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Galih Septian Rivaldi

NIM : 141910201085

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Rancang Bangun Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 Januari 2019

Yang menyatakan,

Galih Septian Rivaldi
NIM 141910201085

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN KONTROL *MULTI INPUT* BERBASIS *MIMO-FUZZY LOGIC* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID*
PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN**

Oleh

Galih Septian Rivaldi

NIM 141910201085

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin” karya Galih Septian Rivaldi telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 29 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19780405 200501 1 002

Anggota II,

Anggota III,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201 199402 1 002

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Rancang Bangun Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin; Galih Septian Rivaldi; 141910201085; 2019; 66 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Semakin majunya peradaban manusia, energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting demi menunjang aktifitas sehari-hari manusia itu sendiri. Semakin meningkatnya populasi manusia dan pertumbuhan ekonomi menyebabkan pola konsumsi energi listrik juga semakin meningkat. Untuk mengimbangnya, maka produksi energi listrik juga harus meningkat. Dengan penggunaan sumber energi konvensional sebagai sumber energi utama untuk memproduksi energi listrik pada kebanyakan pembangkit listrik menyebabkan konsumsi terhadap sumber energi konvensional menjadi meningkat namun tidak diiringi dengan kenaikan produksi sumber energi konvensional tersebut. Sehingga cepat atau lambat sumber energi konvensional akan segera habis.

Langkah yang harus segera dilakukan untuk mengatasi permasalahan terhadap peningkatan kebutuhan energi listrik tersebut adalah dengan menggunakan sumber energi baru dan terbarukan. Agar menghasilkan energi listrik yang lebih besar dan lebih efisien dapat dilakukan dengan cara menggabungkan beberapa jenis sumber energi baik itu menggabungkan jenis sumber energi konvensional dengan sumber energi terbarukan maupun menggabungkan jenis sumber energi terbarukan dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa jenis sumber energi biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH).

Untuk menggabungkan beberapa jenis sumber energi membutuhkan jenis kontrol khusus. Kontrol tersebut terdiri dari beberapa *input* sesuai jumlah sumber energi yang akan digunakan dan kemudian digabung sehingga menghasilkan sebuah *output*. Pada penelitian ini, komponen utama dari kontrol yang digunakan terdiri dari dua buah konverter *buck-boost* yang berfungsi untuk menkonversi agar

menghasilkan tegangan *output* kontrol sesuai dengan *set point* yang diinginkan. *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) fuzzy logic* digunakan sebagai kontrol kestabilan tegangan agar dapat memproses *input* pada kontrol secara bersamaan sehingga dapat lebih efisien.

Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan *input* dari dua buah *power supply* sebagai implementasi dari Panel Surya dan Turbin Angin dengan *range* tegangan 16 – 20 volt pada *input* 1 sesuai karakteristik Panel Surya dan 6 – 8 volt pada *input* 2 sesuai karakteristik Turbin Angin yang kemudian diketahui waktu respon kestabilan dari *MIMO-Fuzzy Logic* agar kontrol *output* sesuai dengan *set point* yang diinginkan yaitu sebesar 12 volt. Pengujian kontrol dilakukan pada kondisi tanpa beban dan dengan beban resistif berupa resistor sebesar 4,7 Ω , 10 Ω , dan 20 Ω . Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan bahwa ketika tanpa beban dengan tegangan *input* 1 sebesar 20,01 volt, tegangan *input* 2 sebesar 8,07 volt untuk mencapai kondisi stabil pada tegangan konverter *buck-boost* 1 dan konverter *buck-boost* 2 sesuai dengan *set point* membutuhkan waktu selama 4,4 detik dan 10,6 detik. Kemudian ketika diberi beban resistif, semakin besar nilai yang beban resistif yang digunakan maka untuk mencapai kondisi stabil akan semakin cepat. Ketika beban sebesar 4,7 Ω dengan tegangan *input* 1 sebesar 20,05 volt, tegangan *input* 2 sebesar 8,11 volt untuk mencapai kondisi stabil pada tegangan konverter *buck-boost* 1 dan konverter *buck-boost* 2 sesuai dengan *set point* membutuhkan waktu selama 4,8 detik dan 14,8 detik, sedangkan ketika beban sebesar 10 Ω dengan tegangan *input* 1 sebesar 20,07 volt, tegangan *input* 2 sebesar 8,12 volt untuk mencapai kondisi stabil pada tegangan konverter *buck-boost* 1 dan konverter *buck-boost* 2 sesuai dengan *set point* membutuhkan waktu selama 4,2 detik dan 12,6 detik.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembing Utama serta bapak Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanark, M.M. dan bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dosen penguji yang sudah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Widjonarko, S.T., M.T. dan bapak Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T., selaku Dosen Pembing Akademik yang telah membimbing penulis selama melaksanakan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

8. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. dan bapak Wahyu Muldayani, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan yang telah membantu penyelesaian skripsi ini secara administratif
9. Ayah Muslim, mama Yuniati Ningsih, bunda Windyaningrum, adik Fadila Rizki Amalia, adik Tsamarah Septi Nabila, dan adik Yaqzhan Rakha Assaid tercinta serta keluarga besar yang selalu mendo'akan, mengarahkan, serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis.
10. Agustina Tri Lestari dan sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan do'a, semangat, serta perhatian yang luar biasa.
11. Dulur seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah memberikan motivasi, semangat, dan pelajaran berharga dalam perjalanan di bangku kuliah.
12. Dhamas Agung Pribadi sebagai pembimbing elektronika, Cries Avian, Faiq Aprilian Romzi, dan Rifqi Bagus Prabowo sebagai pembimbing program, serta Lukman Hakim, Joni Pranata, Mochammad Al Aziz, Purwadiharja, dan Mutiara Nurwidyaning Lusi sebagai tim pendukung yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Penghuni Kos Mastrip Timur 71 Fauzi, Shandy, dan Afif yang telah membantu, menemani, serta memberikan semangat.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, 29 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> (PLTH)	4
2.2 Panel Surya (<i>Solar Panel</i>)	4
2.3 Turbin Angin (<i>Wind Turbine</i>).....	5
2.4 Arduino Mega 2560	7
2.5 Konverter <i>Buck-Boost</i>	8
2.5.1 Perancangan Konverter <i>Buck-Boost</i>	9
2.6 Sensor Tegangan.....	11
2.7 Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	12
2.7.1 Pengertian <i>Fuzzy Logic Controller</i>	12

2.7.2 Himpunan <i>Fuzzy</i>	15
2.7.3 Fungsi Keanggotaan	17
2.7.4 Tahap Pemodelan dalam <i>Fuzzy Logic</i>	19
2.7.5 <i>Multiple-Input Multiple Output (MIMO) Fuzzy Logic</i>	21
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	23
3.1 Rancangan Penelitian.....	23
3.1.1 Jenis Penelitian	23
3.1.2 Tempat dan Waktu.....	23
3.1.3 Alat dan Bahan	23
3.2 Tahapan Penelitian.....	25
3.3 Blok Diagram Sistem.....	26
3.4 Perancangan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>).....	28
3.4.1 Sensor Tegangan.....	28
3.4.2 Konverter <i>Buck-Boost</i>	29
3.4.3 Arduino Mega 2560.....	32
3.4.4 Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> pada Arduino Mega 2560	33
3.5 Desain Alat Penelitian	38
3.5.1 Perancangan Desain Alat.....	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pengujian Sensor Tegangan	39
4.2 Pengujian PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	43
4.3 Implementasi dan Pengujian Konverter <i>Buck-Boost</i>	45
4.3.1 Pengujian <i>Duty Cycle</i> Konverter <i>Buck-Boost</i>	45
4.3.2 Pengujian Efisiensi Konverter <i>Buck-Boost</i>	50
4.4 Analisa <i>Fuzzy Logic</i>	51
4.3.1 Analisa <i>Multi-Input Multi-Output (MIMO) Fuzzy Logic</i>	54
4.5 Implementasi dan Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan <i>MIMO-Fuzzy Logic</i>	54
4.5.1 Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> tanpa Beban.....	55
4.5.2 Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan Beban Resistif.....	57
BAB 5. PENUTUP.....	61

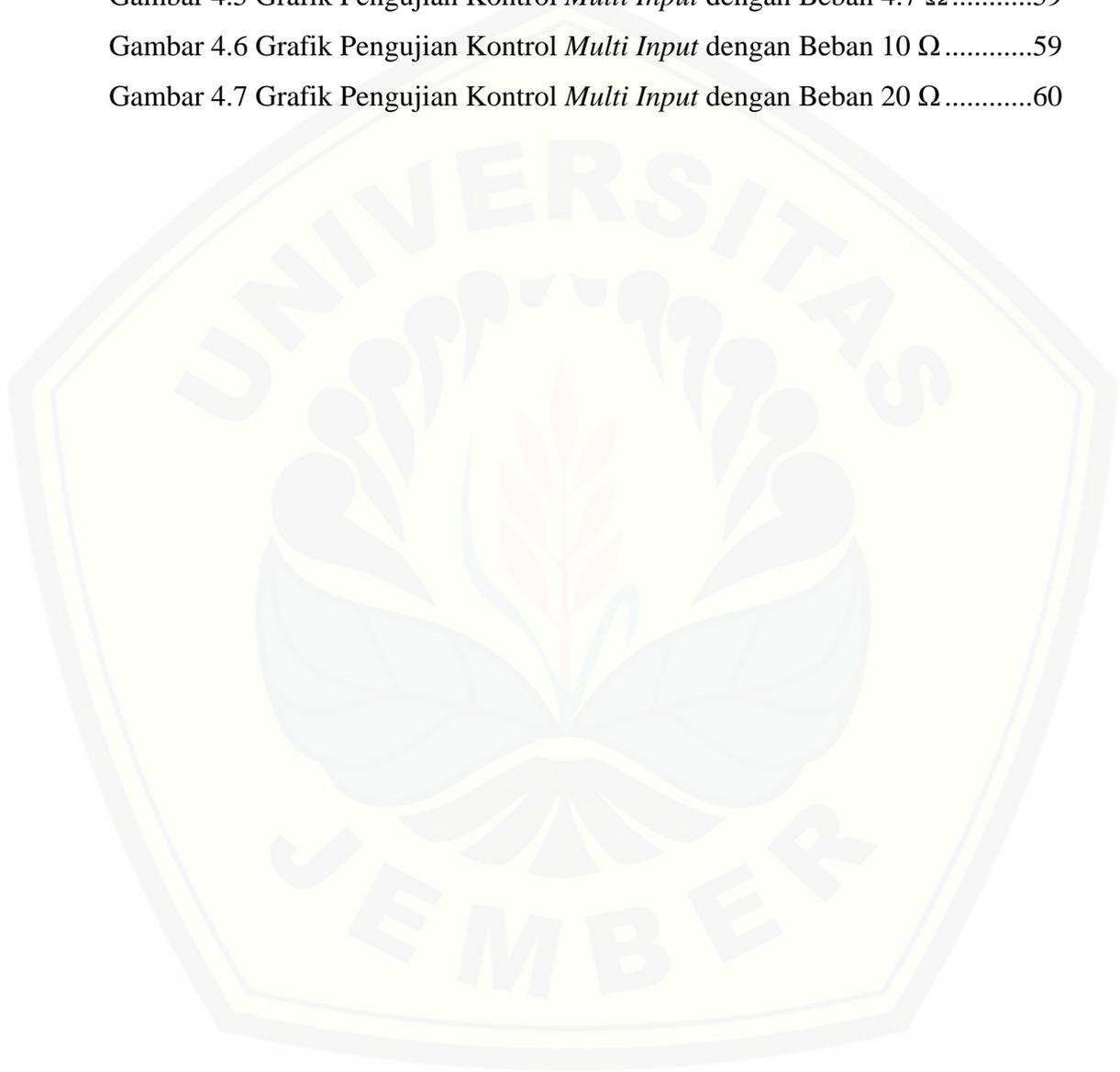
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	64



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Solar Cell, Solar Module, Solar Panel, dan Solar Array</i>	5
Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)	6
Gambar 2.3 <i>Board</i> Arduino.....	7
Gambar 2.4 Rangkaian Skematik Konverter <i>Buck-Boost</i>	9
Gambar 2.5 Konverter <i>Buck-Boost</i> pada saat <i>switch ON</i> dan <i>switch OFF</i>	9
Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	12
Gambar 2.7 Konsep Dasar Logika <i>Fuzzy</i>	14
Gambar 2.8 Perbedaan Boolean <i>Logic</i> (a) dengan <i>Fuzzy Logic</i> (b).....	15
Gambar 2.9 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy</i> 1	19
Gambar 2.10 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy</i> 2	19
Gambar 2.11 <i>Fuzzification</i>	20
Gambar 2.12 <i>Defuzzification</i>	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	25
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	27
Gambar 3.3 Gambar Rangkaian Sensor Tegangan	28
Gambar 3.4 Desain Rangkaian Konverter <i>Buck-Boost</i>	30
Gambar 3.5 Blok Sistem Kendali <i>Fuzzy</i>	33
Gambar 3.6 Membership <i>Function Error</i>	34
Gambar 3.7 Membership <i>Fucntion Delta Error</i>	35
Gambar 3.8 Himpunan Defuzzyfikasi	37
Gambar 3.9 Desain Kontrol <i>Multi Input</i> Berbasis <i>MIMO-Fuzzy Logic</i> untuk Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Panel Surya dan Turbin Angin.....	38
Gambar 4.1 (A)Sensor Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 1, (B) Sensor Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 2, (C) Sensor Tegangan <i>Output</i> Sistem Kontrol	43
Gambar 4.2 A) Konverter <i>Buck-Boost</i> 1, (B) Konverter <i>Buck-Boost</i> 2.....	47

Gambar 4.3 Kontrol <i>Multi Input</i> berbasis <i>MIMO-Fuzzy Logic</i> untuk Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Panel Surya dan Turbin Angin.....	55
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> tanpa Beban	58
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan Beban 4.7Ω	59
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan Beban 10Ω	59
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan Beban 20Ω	60



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	8
Tabel 3.1 Parameter Konverter <i>Buck-Boost</i>	29
Tabel 3.2 <i>Rule Base Fuzzy Logic</i>	37
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Tegangan <i>Input</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 1	40
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan <i>Output</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 1	40
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Tegangan <i>Input</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 2.....	41
Tabel 4.4 Pengujian Sensor Tegangan <i>Output</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 2	41
Tabel 4.5 Pengujian Sensor Tegangan <i>Output</i> Sistem Kontrol.....	42
Tabel 4.6 Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i>	44
Tabel 4.7 Komponen Konverter <i>Buck-Boost</i>	46
Tabel 4.8 Pengujian <i>Duty Cycle</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 1	48
Tabel 4.9 Pengujian <i>Duty Cycle</i> Konverter <i>Buck-Boost</i> 2	49
Tabel 4.10 Pengujian Efisiensi Konverter <i>Buck-Boost</i> 1	50
Tabel 4.11 Pengujian Efisiensi Konverter <i>Buck-Boost</i> 2.....	51
Tabel 4.12 Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> tanpa Beban	56
Tabel 4.13 Pengujian Kontrol <i>Multi Input</i> dengan Beban Resistif	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin majunya peradaban manusia, energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting demi menunjang aktifitas sehari-hari manusia itu sendiri. Semakin meningkatnya populasi manusia dan pertumbuhan ekonomi menyebabkan pola konsumsi energi listrik juga semakin meningkat. Untuk mengimbangnya, maka produksi energi listrik juga harus meningkat. Dengan penggunaan sumber energi konvensional sebagai sumber energi utama untuk memproduksi energi listrik pada kebanyakan pembangkit listrik menyebabkan konsumsi terhadap sumber energi konvensional menjadi meningkat namun tidak diiringi dengan kenaikan produksi sumber energi konvensional tersebut. Sehingga cepat atau lambat sumber energi konvensional akan segera habis. Contoh sumber energi konvensional yang digunakan adalah batubara, minyak bumi, dan gas bumi yang digunakan sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Menurut *blue print* pengelolaan energi nasional yang dikeluarkan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun lagi, gas diperkirakan akan habis 60 tahun lagi, dan batubara diperkirakan akan habis 147 tahun terhitung dari tahun 2006 (DESDM, 2006).

Langkah yang harus segera dilakukan untuk mengatasi permasalahan terhadap peningkatan kebutuhan energi listrik tersebut adalah dengan menggunakan sumber energi baru dan terbarukan. Sekarang ini sudah mulai banyak pembangkit – pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan energi listrik. Contohnya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi utama dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang menggunakan energi angin sebagai sumber energi utama. Dan ada beberapa pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa jenis sumber energi baik itu

menggabungkan jenis sumber energi konvensional dengan sumber energi terbarukan maupun menggabungkan jenis sumber energi terbarukan dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa jenis sumber energi biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). Menggabungkan beberapa jenis sumber energi tersebut bertujuan agar menghasilkan energi listrik yang lebih besar dan lebih efisien. Untuk menggabungkan beberapa jenis sumber energi membutuhkan jenis kontrol khusus. Kontrol tersebut terdiri dari beberapa *input* sesuai jumlah sumber energi yang akan digunakan dan kemudian digabung sehingga menghasilkan sebuah *output*.

Pada penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah kontrol *hybrid* dengan beberapa buah *input* yang kemudian digabung menjadi sebuah *output* agar dapat digunakan pada sebuah pembangkit listrik tenaga *hybrid*. *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) *fuzzy logic* digunakan agar dapat memproses *input* pada kontrol secara bersamaan sehingga dapat lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana rancang bangun Kontrol *Multi Input* Berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin ?
2. Bagaimana respon kestabilan dari *MIMO-Fuzzy Logic* pada tegangan keluaran Kontrol *Multi Input* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin terhadap variasi tegangan *input* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan karena memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Membuat rancang bangun Kontrol *Multi Input* Berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin.
2. Mengetahui respon kestabilan dari *MIMO-Fuzzy Logic* pada tegangan keluaran Kontrol *Multi Input* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin terhadap variasi tegangan *input*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya:

1. Menggabungkan beberapa jenis energi terbarukan untuk membantu pengembangan dibidang energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Jenis Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
2. Menggunakan *input* dari *Power Supply* sebanyak dua buah sebagai implementasi dari Panel Surya dan Turbin Angin dengan *range* tegangan 6 – 8 V sesuai karakteristik Turbin Angin dan 16 – 20 V sesuai karakteristik Panel Surya.
3. Percobaan dan analisa di titik beratkan pada respon dan tegangan *output* dari kontrol terhadap variasi tegangan *input* tanpa memperhatikan nilai arusnya.
4. Pengujian kontrol dengan pembebanan dilakukan menggunakan resistor kapur.
5. Model aturan *fuzzy* yang digunakan adalah model Mamdani.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan materi tentang teori - teori dan pendapat - pendapat yang berhubungan dengan masalah yang dibahas yang kemudian dikumpulkan dan digunakan sebagai dasar untuk memudahkan pada proses analisa dan pemecahan masalah yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH)

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) pada dasarnya adalah sebuah pembangkit listrik yang menggabungkan dua jenis atau lebih sumber energi. Sumber energi yang digunakan untuk sebuah Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) dapat berupa sumber energi terbarukan (*renewable*) dengan sumber energi terbarukan (*renewable*) maupun sumber energi terbarukan dengan sumber energi tak terbarukan (*unrenewable*). Penggabungan dua jenis atau lebih sumber energi tersebut bertujuan untuk saling menutupi kelemahan masing-masing sehingga dapat dicapai keandalan *supply* serta efisiensi yang lebih besar.

2.2 Panel Surya (*Solar Panel*)

Panel surya adalah suatu perangkat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sebuah panel surya terdiri dari beberapa buah sel surya. Sel Surya atau *Solar Cell* dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Yang dimaksud dengan Efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel *Photovoltaic* (PV).

Pada sel surya, arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (*Photodiode*), Sel Surya atau Solar Cell ini juga memiliki kaki Positif dan

kaki Negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik.

Energi surya atau tenaga surya yang dimanfaatkan pada panel surya merupakan jenis energi yang termasuk ke dalam sumber energi terbarukan (non-konvensional). Ketersediaan energi surya di bumi sangat melimpah dan cocok digunakan sebagai sumber energi karena energi surya termasuk sumber energi yang dapat diperbarui, mudah untuk dikonversi menjadi jenis energi lain, serta ramah lingkungan. Penggunaan panel surya dalam skala besar yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi utama untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).



Gambar 2.1 *Solar Cell, Solar Module, Solar Panel, dan Solar Array*

(Sumber: <http://solar-energy-tech.blogspot.co.id>)

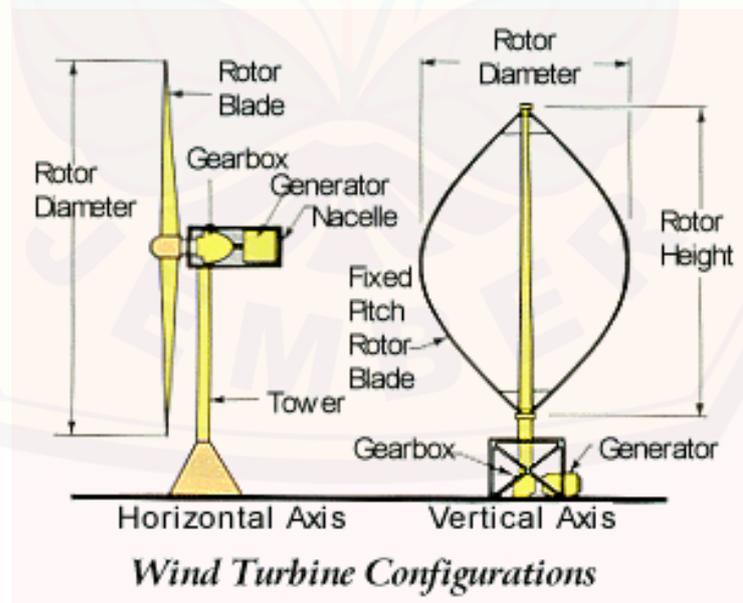
2.3 Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Turbin angin (*Wind Turbine*) adalah kincir angin yang digunakan untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill.

Pada Turbin Angin, energi mekanis yang diberikan oleh angin akan memutar kincir yang terdapat pada turbin angin, kemudian putaran kincir tersebut digunakan untuk memutar generator, dan terakhir generator mengkonversikan energi mekanis yang diterima menjadi energi listrik.

Sama halnya seperti energi surya atau tenaga surya, energi angin atau tenaga merupakan jenis energi yang termasuk ke dalam sumber energi terbarukan (non-konvensional). Ketersediaan energi angin di bumi juga sangat melimpah dan cocok digunakan sebagai sumber energi karena energi surya termasuk sumber energi yang dapat diperbarui serta ramah lingkungan. Teknologi yang berbasis energi angin adalah jenis teknologi yang memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan bentuk energi lainnya. Salah satu teknologi yang memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi utama adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dimana energi angin merupakan energi utama yang kemudian digunakan untuk dikonversikan menjadi energi listrik.

Penggunaan turbin angin dalam skala besar yang memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi utama untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

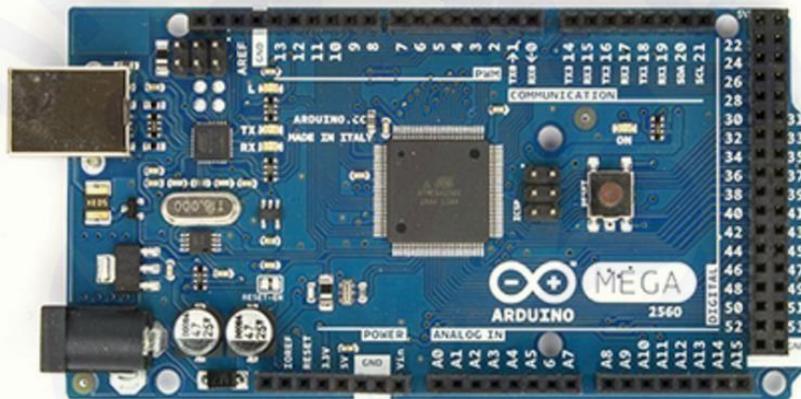


Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

(Sumber: <http://panelselsurya.blogspot.co.id>)

2.4 Arduino Mega 2560

Arduino adalah sebuah mikrokontroler single board yang bersifat *open source* seperti pada gambar 1. *Hardware* mikrokontroler Arduino diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman *wiringbased* yang berbasis *syntax* dan *library*. Untuk memudahkan dalam pengembangan aplikasi, Arduino dilengkapi *software Integrated Development Environment (IDE)* berbasis *processing* (Michael, 2011). Perangkat ini sangat populer di kalangan mahasiswa atau *developer* dikarenakan kemudahan dalam penggunaannya. Selain itu, penggunaan Arduino dapat meningkatkan kreatifitas serta inovasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.



Gambar 2.3 Board Arduino

(<https://www.Arduino.cc>)

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 (datasheet ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 kompatibel dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk

Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila.

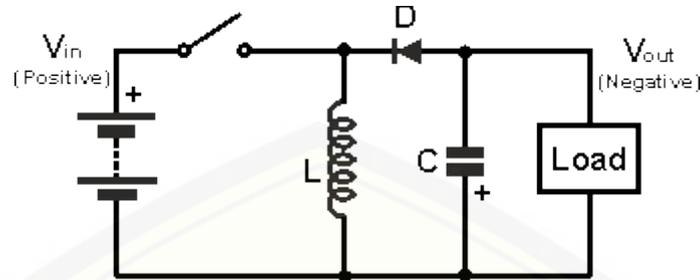
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Mikrokontroler	Atmega2560
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input (Rekomendasi)	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	6-20 V
Pin I/O Digital	54 (dengan 15 buah PWM output)
Pin Input Analog	16
Arus DC setiap pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 mA
Flash Memory	256 KB dengan 8 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Kecepatan Clock	16 MHz

2.5 Konverter *Buck-Boost*

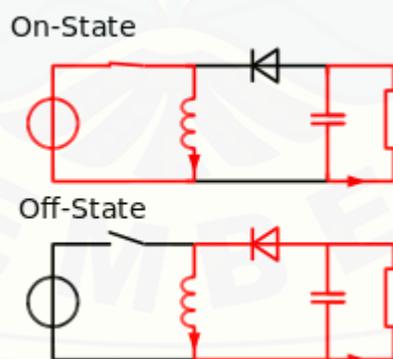
Konverter *buck-boost* merupakan sebuah konverter DC (*direct current*) dengan tegangan *output* yang dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan *input*. *Output* konverter *buck-boost* memiliki polaritas tegangan yang merupakan kebalikan dari polaritas tegangan *input*. Rangkaian dasar konverter *buck-boost* terdiri dari *power* MOSFET sebagai *switching* komponen, induktor (L), dioda, kapasitor (C), dan resistor sebagai beban (R_L). Induktor pada *buck-boost* digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* arus, kapasitor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *rippler* tegangan, dan dioda digunakan sebagai komponen *switching* yang bekerja pada saat *switch open* agar arus tetap mengalir ke induktor. Konverter *buck-boost* merupakan salah satu regulator dc to dc yang

dapat menjawab kebutuhan akan sebuah sumber tegangan searah dengan tegangan keluaran yang variabel.



Gambar 2.4 Rangkaian Skematik Konverter *Buck-Boost*

Prinsip kerja pada rangkaian konverter *buck-boost* dibagi menjadi 2 mode yaitu pada saat *switch ON* dan pada saat *switch OFF*. Pada saat *switch On*, tegangan *input* menuju induktor yang menyebabkan adanya arus pada induktor dan akan perlahan naik sampai maksimum, sedangkan kapasitor dalam kondisi *discharge* dan mensuplai beban. Pada saat *switch Off*, tegangan input terputus yang menyebabkan penurunan arus pada induktor, mengalir menuju beban, dioda, dan kembali menuju kapasitor sehingga kapasitor dalam kondisi *charge*. Sehingga pada saat *swich on*, beban disuplai oleh kapasitor dan pada saat *switch off*, beban disuplai oleh induktor.



Gambar 2.5 Konverter *Buck-Boost* pada saat *switch ON* dan *switch OFF*

2.5.1 Perancangan Konverter *Buck-Boost*

Dalam perancangan sebuah konverter *buck-boost* perlu memperhitungkan parameter nilai dari beberapa komponen untuk menentukan nilai komponen yang

akan digunakan agar sesuai dengan yang diinginkan. Perhitungan parameter nilai dari komponen tersebut terdiri dari:

- Mencari Besar *Duty Cycle*

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in} + V_{out}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

D : *Duty Cycle*

V_{out} : Tegangan *Output*

V_{in} : Tegangan *Input*

- Mencari nilai Resistansi yang digunakan sebagai beban

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

R : Resistansi

V_{out} : Tegangan *Output*

I_{out} : Arus *Output*

- Mencari nilai Induktansi induktor

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2 \times f} \times R \quad (2.3)$$

Keterangan:

L_{min} : Induktansi minimum induktor

D : *Duty Cycle*

f : Frekuensi

R : Resistansi beban

- Mencari nilai kapasitansi kapasitor

$$C = \frac{V_{out} \times D}{R \times V_{cpp} \times f} \quad (2.4)$$

Keterangan

C : Kapasitansi

Vout : Tegangan *Output*

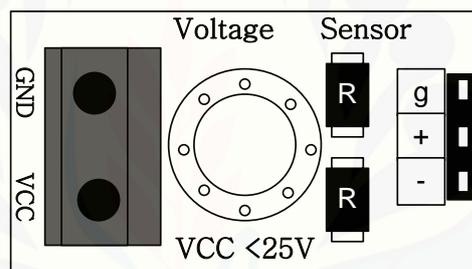
D : *Duty Cycle*

R : Resistansi beban

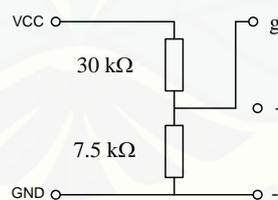
Vcpp : Tegangan *Ripple* Kapasitor

2.6 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah modul pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpankan ke pin kontroler yang sudah memiliki konverter analog ke digital (ADC).



(a)



(b)

Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar (a) adalah modul sensor pembagi tegangan, sedangkan Gambar (b) adalah diagram skematik dari sensor tersebut. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur sedangkan pin g, + dan - adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk.Inc,2015).

2.7 Kontrol Fuzzy Logic

2.7.1 Pengertian Fuzzy Logic Controller

Dalam bahasa Inggris, *fuzzy* mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, *fuzzy logic* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian. Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *fuzzy logic* mengenal nilai antara benar dan salah. *Fuzzy logic* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk *linguistik*, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Kebenaran dalam *fuzzy logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1.

Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965), dimana 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. Sebagai contoh:

1. Manajer pergudangan mengatakan pada manajer produksi seberapa banyak persediaan barang pada akhir minggu ini, kemudian manajer produksi akan menetapkan jumlah barang yang harus diproduksi esok hari.
2. Pelayan restoran memberikan pelayanan terhadap tamu, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai atas baik tidaknya pelayanan yang diberikan.
3. Anda mengatakan pada saya seberapa sejuk ruangan yang anda inginkan, saya akan mengatur putaran kipas yang ada pada ruangan ini.

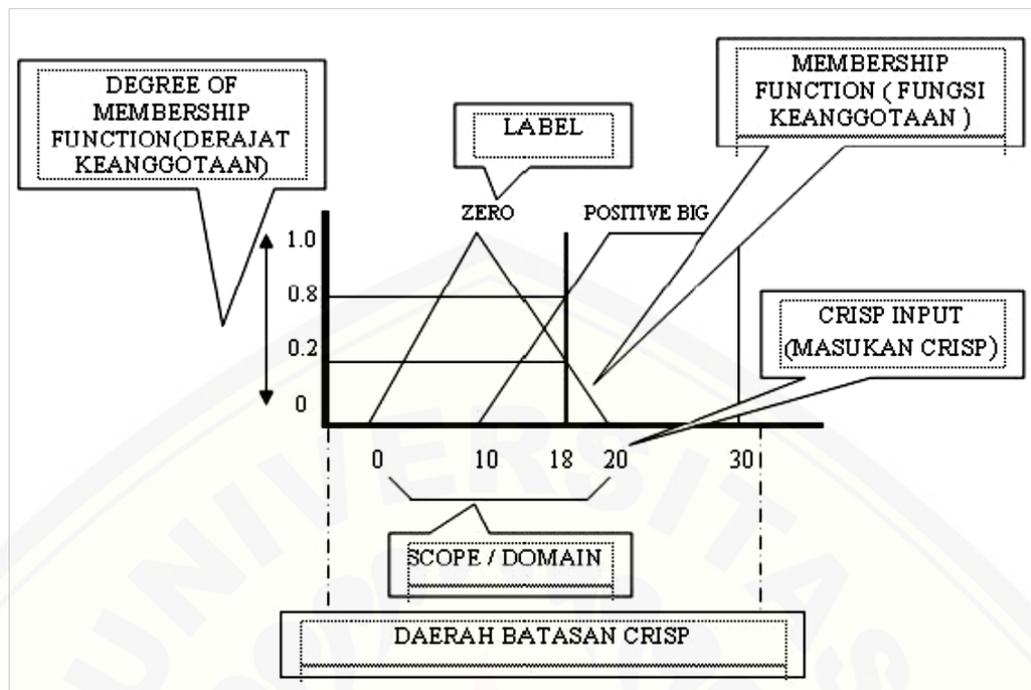
Fuzzy system (sistem kabur) didasari atas konsep himpunan kabur yang memetakan domain input kedalam domain output. Perbedaan mendasar himpunan tegas dengan himpunan kabur adalah nilai keluarannya. Himpunan tegas hanya memiliki dua nilai output yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan kabur memiliki banyak nilai keluaran yang dikenal dengan nilai derajat keanggotaannya.

Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika fuzzy memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional. Secara umum kontroler *fuzzy logika* memiliki kemampuan sebagai berikut:

- 1) Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia.
- 2) Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stasioner.
- 3) Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja. Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

Himpunan fuzzy mempunyai peranan yang penting dalam perkembangan matematika khususnya dalam matematika himpunan. Matematikawan German George Cantor (1845-1918) adalah orang yang pertama kali secara formal mempelajari konsep tentang himpunan. Teori himpunan selalu dipelajari dan diterapkan sepanjang masa, bahkan sampai saat ini matematikawan selalu mengembangkan tentang bahasa matematika (teori himpunan). Banyak penelitian-penelitian yang menggunakan teori himpunan fuzzy dan saat ini banyak literatur-literatur tentang himpunan fuzzy, misalnya yang berkaitan dengan teknik kontrol *fuzzy logic* dan relasi fuzzy.

Pada dasarnya, teori himpunan fuzzy merupakan perluasan dari teori himpunan klasik. Pada teori himpunan klasik (*crisp*), keberadaan suatu elemen pada suatu himpunan A, hanya akan memiliki 2 kemungkinan keanggotaan, yaitu menjadi anggota A atau tidak menjadi anggota A (Chak, 1998).



Gambar 2.7 Konsep Dasar Logika Fuzzy

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Sudradjat, 2007).

Fuzzy logic dapat dikatakan sebagai logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika modern dan metodis baru ditemukan pada tahun 1965, padahal sebenarnya konsep tentang *fuzzy logic* itu sendiri sudah ada sejak lama. Beberapa alasan digunakannya *fuzzy logic* (Kusumadewi & Purnomo, 2010) yaitu:

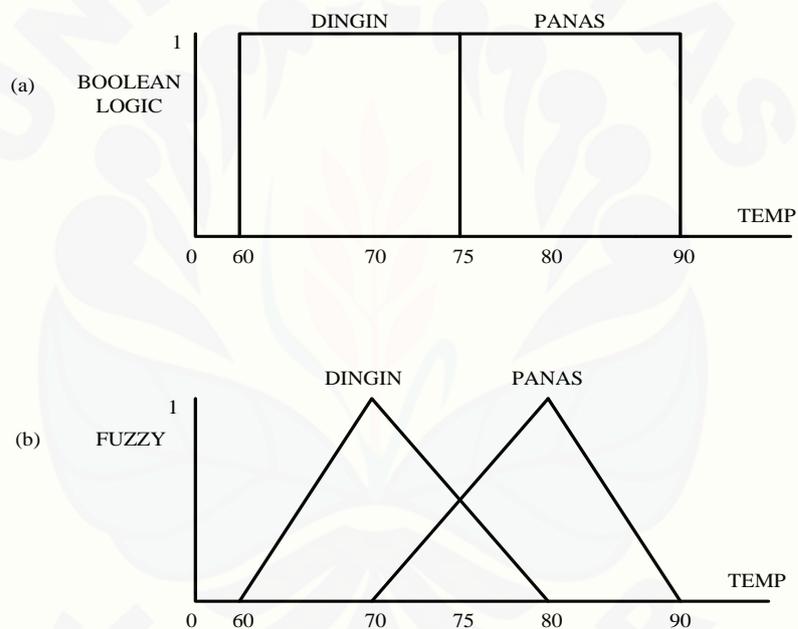
- 1) Konsep *fuzzy logic* mudah dimengerti
- 2) *Fuzzy logic* sangat fleksibel
- 3) *Fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat
- 4) *Fuzzy logic* mampu memodelkan fungsi nonlinier yang kompleks
- 5) *Fuzzy logic* didasari pada ahasa alami

Fuzzy logic saat ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang diantaranya:

- a) *Fuzzy rule Based Systems*
- b) *Fuzzy Nonliner Simulations*

- c) *Fuzzy Decision Making*
- d) *Fuzzy Classification*
- e) *Fuzzy Pattern ecognition*
- f) *Fuzzy Control Systems*

Secara umum, sistem fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya. Perbedaan *Fuzzy Logic* dengan *Boolean Logic* terlihat pada gambar 9.



Gambar 2.8 Perbedaan *Boolean Logic* (a) dengan *Fuzzy Logic* (b)

2.7.2 Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan (Kusumadewi S, Purnomo H, 2010) yaitu:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau

2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Terkadang kemiripan antara keanggotaan fuzzy dengan probabilitas menimbulkan kerancuan. Keduanya memiliki nilai pada interval $[0,1]$, namun interpretasi nilainya sangat berbeda antara kedua kasus tersebut. Keanggotaan fuzzy memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai benar dalam jangka panjang. Misalnya, jika nilai keanggotaan bernilai suatu himpunan fuzzy USIA adalah 0,9; maka tidak perlu dipermasalahkan berapa seringnya nilai itu diulang secara individual untuk mengharapkan suatu hasil yang hampir pasti muda. Di lain pihak, nilai probabilitas 0,9 usia berarti 10% dari himpunan tersebut diharapkan tidak muda.

Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA, PAROBAYA, TUA
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variable seperti: 40, 25, 50, dsb.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy yaitu: variable fuzzy

- a. Variable fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contoh: umur, temperature, permintaan, dsb.

- b. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.

- c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif

maupun negatif. Ada kalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh:

- a. Semesta pembicaraan untuk variable mahasiswa: $[0 \ 50]$
- b. Semesta pembicaraan untuk variable dosen: $[0 \ 50]$
- d. Domain

Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan fuzzy :

- MUDA = $[0 \ 45]$
- PABOBAYA = $[35 \ 55]$
- TUA = $[45 \ +8]$
- DINGIN = $[0 \ 20]$
- SEJUK = $[15 \ 25]$
- NORMAL = $[20 \ 30]$
- HANGAT = $[25 \ 35]$
- PANAS = $[30 \ 40]$

2.7.3 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 Linier

- b. Representasi Kurva Segitiga
- c. Representasi Kurva Trapesium
- d. Representasi Kurva Bentuk Bahu
- e. Representasi Kurva-S
- f. Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*)
- g. Koordinat Keanggotaan

Operator Dasar Operasi Himpunan Fuzzy

- a. Operator AND

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

- b. Operator OR

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

- c. Operator NOT

Diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x]$$

Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

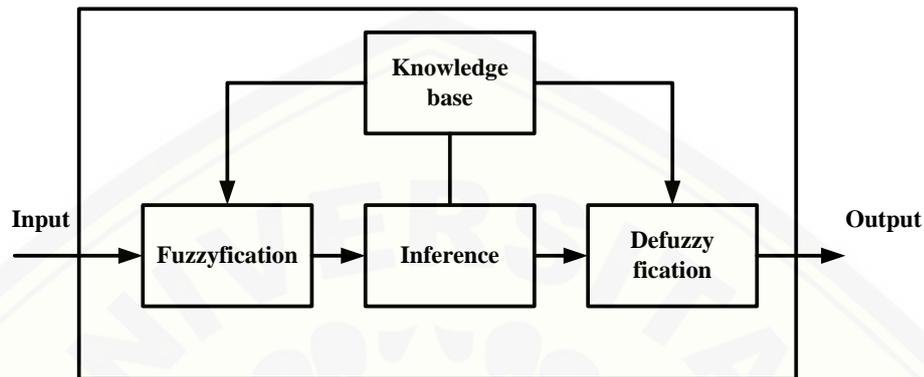
IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF (x1 is A1) . (x2 is A2) . (x3 is A3) (Xx is Ax) THEN y is B

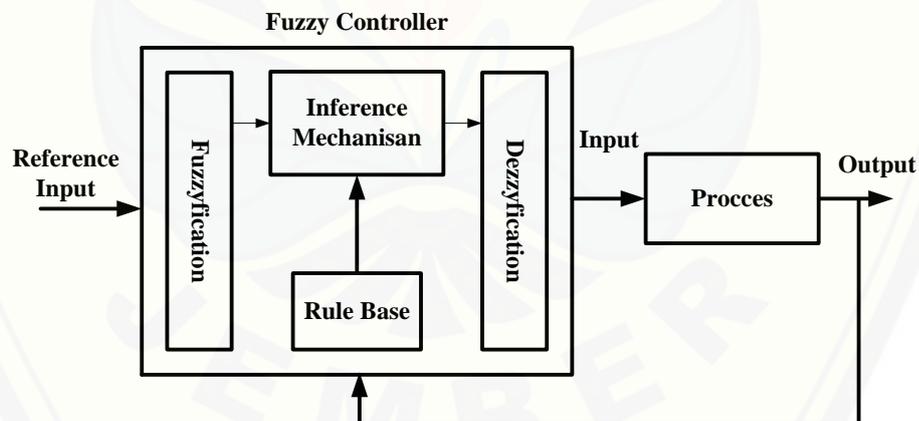
Dengan \bullet adalah operator (misal: OR, AND atau NOT). Min (*minimum*). Fungsi ini akan memotong *output* himpunan fuzzy.

2.7.4 Tahap Pemodelan dalam Fuzzy Logic



Gambar 2.9 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1

Dari blok diagram pada gambar 10, bila diterapkan dalam pengendalian suatu proses dapat kita gambarkan seperti blok diagram pada gambar 11.



Gambar 2.10 Blok Diagram Sistem Fuzzy 2

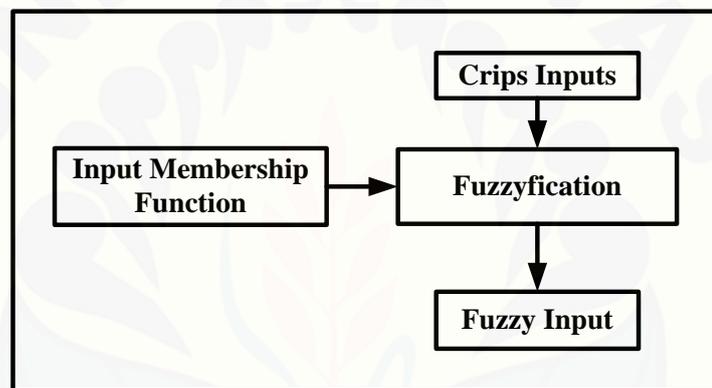
2.7.4.1 Fuzzification

Fuzzifikasi atau *Fuzzyfication* adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel fuzzy, ini ditujukan agar masukan kontroler fuzzy bisa dipetakan menuju jenis yang sesuai dengan himpunan fuzzy. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat

diketahui besar masukan tersebut (derajat keanggotaan). Terdapat beberapa jenis penggambaran fungsi keanggotaan, antara lain :

1. Gaussian
2. Segitiga
3. Trapesium
4. Bahu

Komponen lainnya yang memiliki peranan penting adalah Label. Label didefinisikan dari fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan apabila dikumpulkan akan menghasilkan fuzzy set. Dalam logika fuzzy terdapat *basispengetahuan*, dimana terdiri dari fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rulebase*).



Gambar 2.11 *Fuzzification*

2.7.4.2 Rule Evaluation

Prosedur fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy (variabel *numerik*) menjadi variabel fuzzy (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika fuzzy, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui *membership function* (fungsi keanggotaan) yang telah disusun, maka dari nilai *error* dan *delta error* kuantisasi akan didapatkan derajat keanggotaan bagi masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

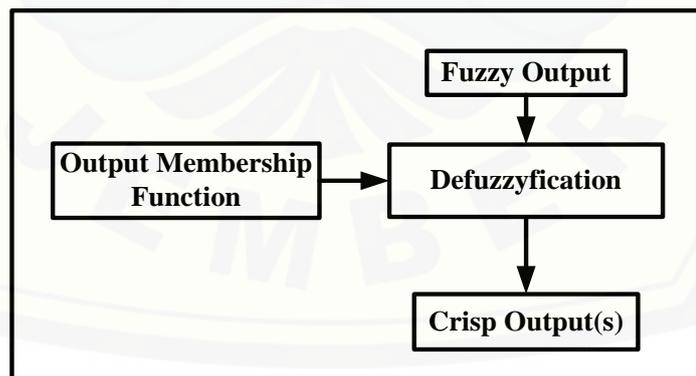
Pada umumnya aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk “*IF antecedent THEN consequent*” yang merupakan inti dari relasi fuzzy. Terdapat

dua model aturan fuzzy yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu:

1. Model Mamdani
2. Model Sugeno

2.7.4.3 Defuzzification

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses pengubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*). Prosesnya adalah ketika suatu nilai fuzzy *output* yang berasal dari rule evaluation diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu *membership function output*. Bentuk bangun yang digunakan dalam *membership function output* adalah bentuk *singleton* yaitu garis lurus vertikal ke atas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Besar nilai fuzzy *output* dinyatakan sebagai *degree of membership function output*. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus yang dinamakan COG (*Center Of Gravity*) untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut *crisp output*. *Crisp output* adalah suatu nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang.



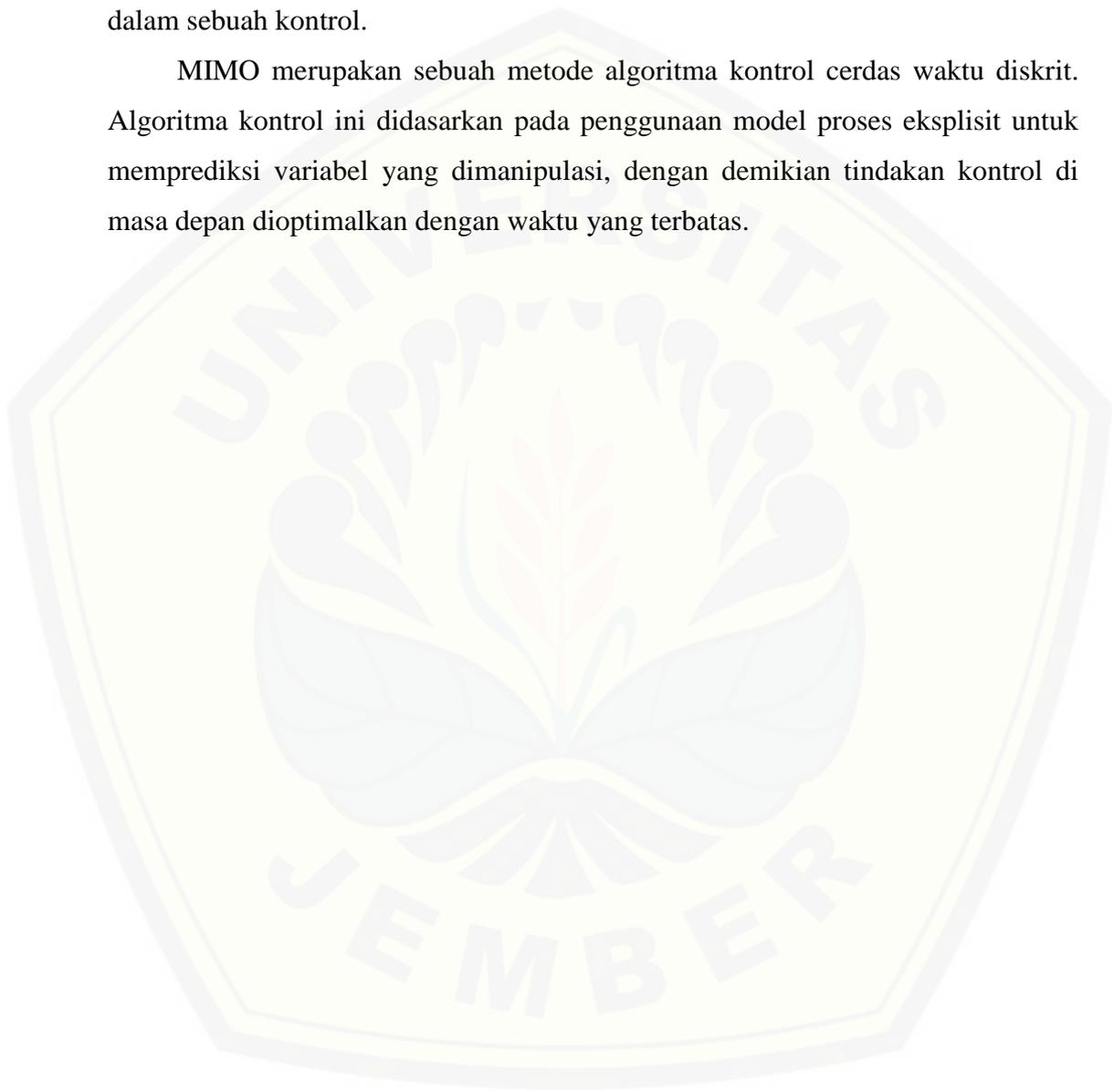
Gambar 2.12 Defuzzification

2.7.5 Multiple-Input Multiple Output (MIMO) Fuzzy Logic

Dalam logika fuzzy terdapat berbagai macam kontrol antara lain SISO (*single-input single-output*) dan MIMO (*multiple-input multiple-output*).

Perbedaan antara kontrol *SISO-Fuzzy Logic* dan *MIMO-Fuzzy Logic* adalah jumlah *input* dan *output* yang dapat diproses pada kontrol tersebut. Jika pada *SISO-Fuzzy Logic* dengan sebuah *input* dan sebuah *output* dalam sebuah kontrol, pada *MIMO-Fuzzy Logic* memiliki beberapa buah *input* dan beberapa buah *ouput* dalam sebuah kontrol.

MIMO merupakan sebuah metode algoritma kontrol cerdas waktu diskrit. Algoritma kontrol ini didasarkan pada penggunaan model proses eksplisit untuk memprediksi variabel yang dimanipulasi, dengan demikian tindakan kontrol di masa depan dioptimalkan dengan waktu yang terbatas.



BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang rancangan penelitian, tahapan penelitian, blok diagram sistem, perancangan komponen pengendali (*hardware*), dan desain alat penelitian.

3.1 Rancangan Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membuat rancang bangun sebuah kontrol *multi input* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin. Proses yang terjadi adalah kontrol diberi *input* tegangan yang berasal dari dua buah *power supply* yang merupakan implementasi yang disesuaikan dengan karakteristik dari *output* Panel Surya dan Turbin Angin. Kemudian *buck-boost converter* pada kontrol akan mengkonversi *input* tegangan yang berasal dari *power supply* agar menghasilkan *output* tegangan sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Dari dua buah *input* yang masuk pada kontrol akan digabung sehingga menghasilkan sebuah *output*. Metode yang digunakan pada kontrol *multi input* adalah metode *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Fuzzy Logic*.

3.1.2 Tempat dan Waktu

Pelaksanaan penelitian tentang “Rancang Bangun Kontrol Multi Input Berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin” dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember yang beralamat di Jalan Slamet Riyadi Nomor 62 Patrang Kabupaten Jember. Penelitian dimulai pada bulan April 2018 sampai selesai.

3.1.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

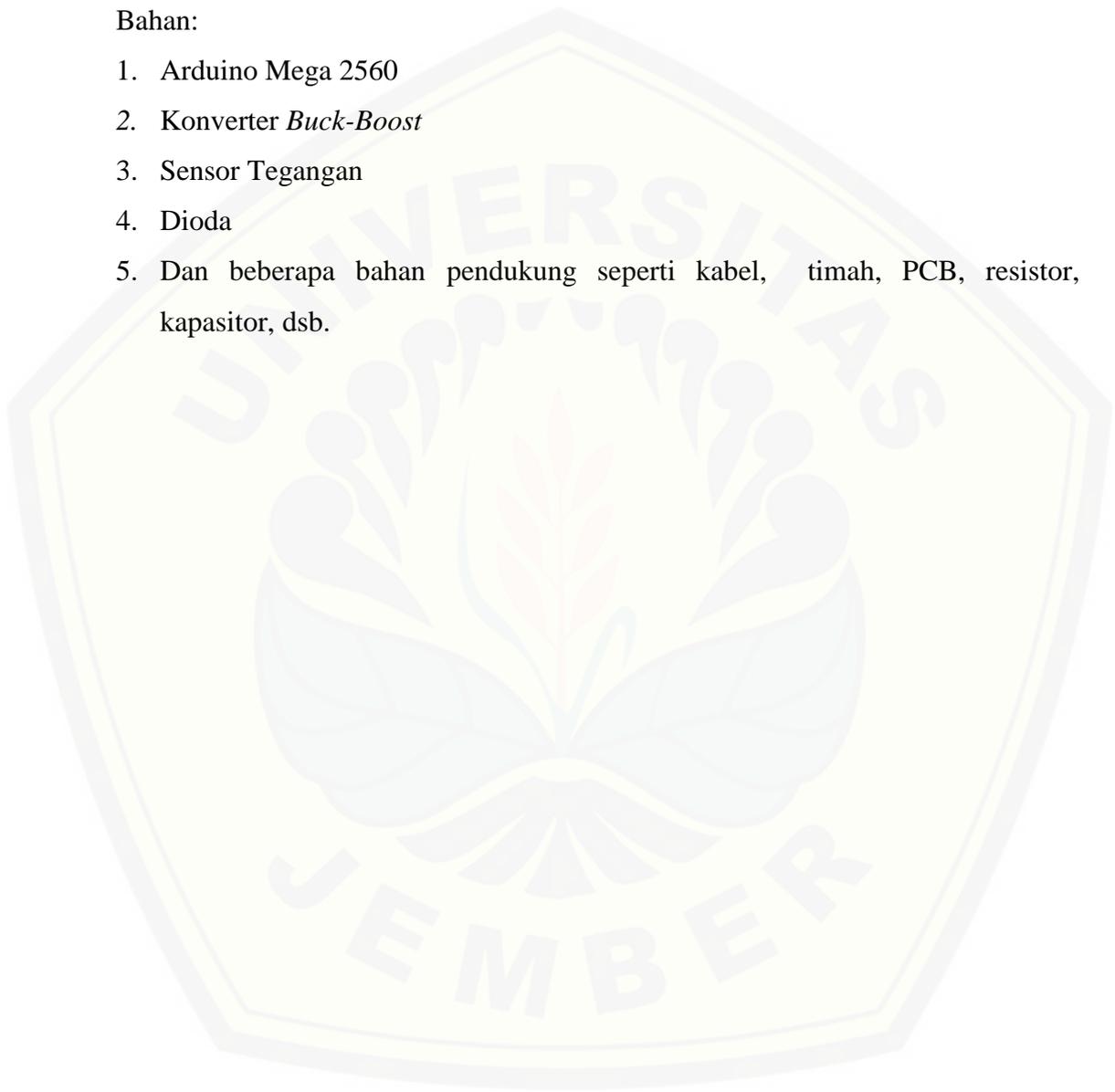
Alat:

1. *Power Supply*

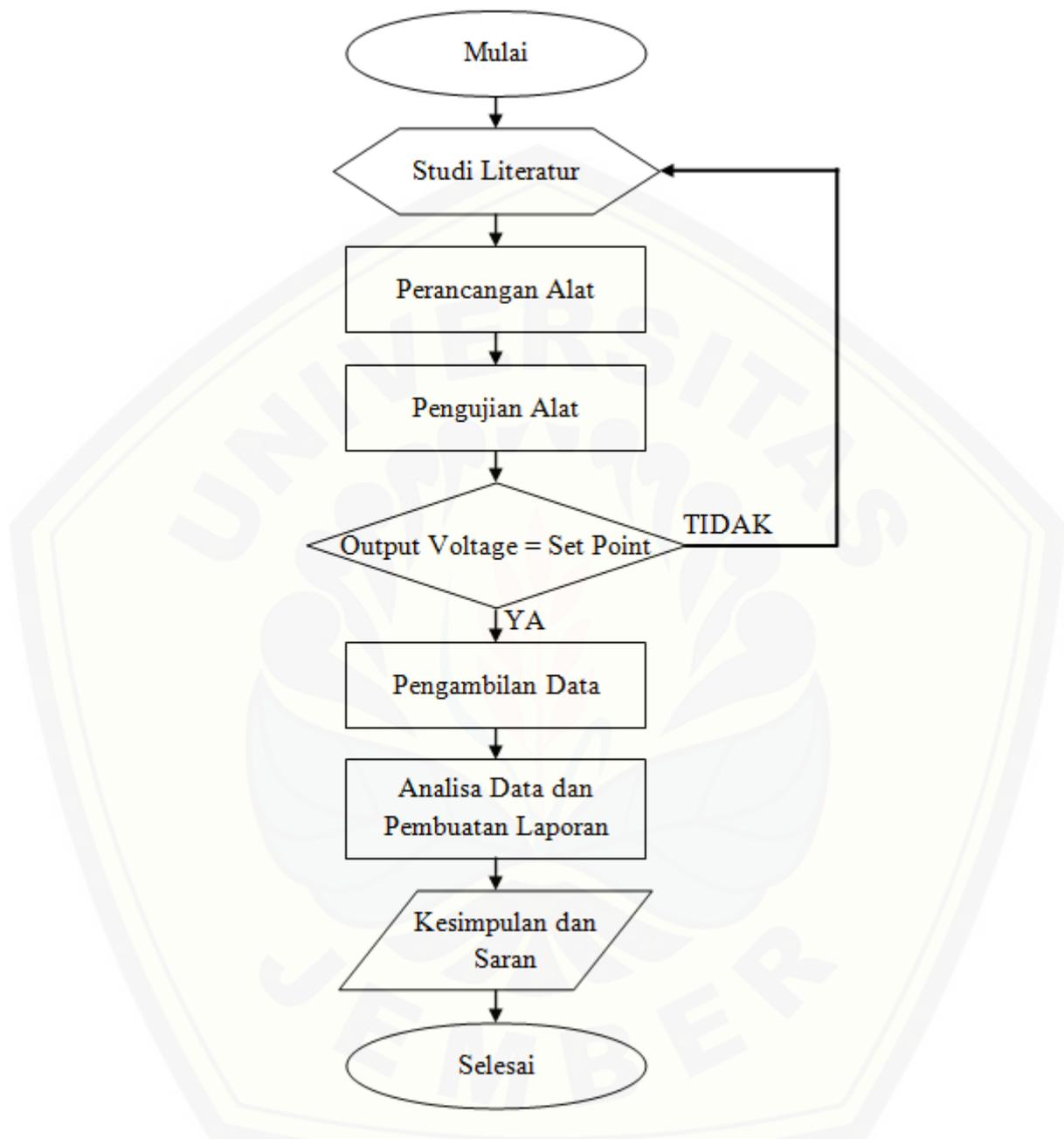
2. Osiloskop
3. Multimeter *Digital*
4. Dan beberapa alat pendukung seperti solder, bor, gerinda, dan jumper.

Bahan:

1. Arduino Mega 2560
2. Konverter *Buck-Boost*
3. Sensor Tegangan
4. Dioda
5. Dan beberapa bahan pendukung seperti kabel, timah, PCB, resistor, kapasitor, dsb.



3.2 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “Rancang Bangun Kontrol *Multi Input* Berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin” adalah sebagai berikut :

1) Studi Literatur

Tahap pertama memulai penelitian ini dilakukan dengan tahapan mencari sumber literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan harapan perancangan dan pelaksanaan penelitian dapat sesuai dengan yang diharapkan.

2) Perancangan Alat

Tahapan kedua adalah perancangan Kontrol *Multi Input* yang terdiri dari komponen seperti Arduino, Konverter *Buck-Boost*, dan Sensor Tegangan.

3) Pengujian Alat

Tahap ketiga adalah pengujian Kontrol *Multi Input* untuk mengetahui apakah dapat bekerja dan menghasilkan tegangan *output* sesuai *set point* yang diinginkan yaitu sebesar 12 volt.

4) Pengambilan Data

Tahap keempat adalah melakukan pengambilan data dari kontrol *multi input* yang telah dirancang yang kemudian dimasukkan pada tabel data percobaan.

5) Analisa Data dan Pembuatan Laporan

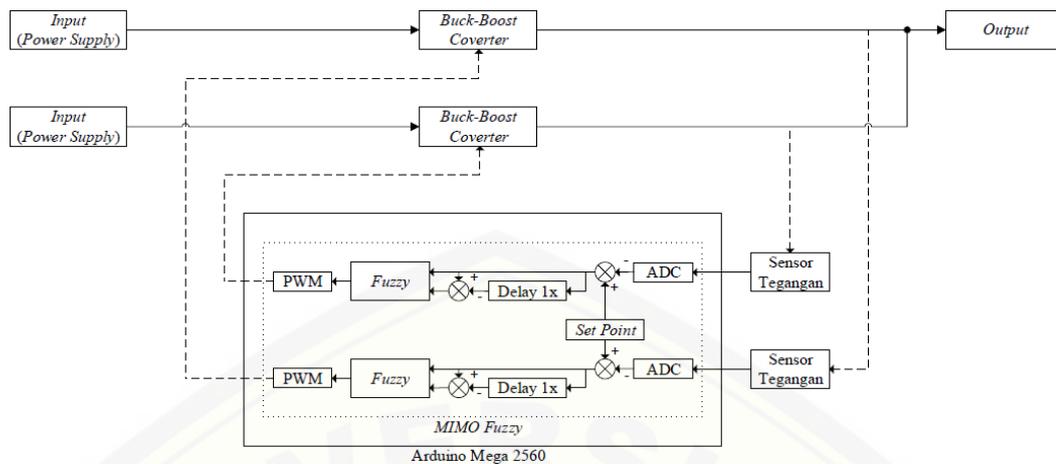
Tahap kelima adalah melakukan analisa data dari data yang telah diperoleh dan membuat laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

6) Kesimpulan dan Saran

Tahap keenam merupakan tahapan terakhir pada penelitian ini yaitu memberikan kesimpulan dari pengujian dan analisa data yang telah diperoleh, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.3 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian kali untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka sesuai dengan topik yang diambil untuk bentuk dari blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

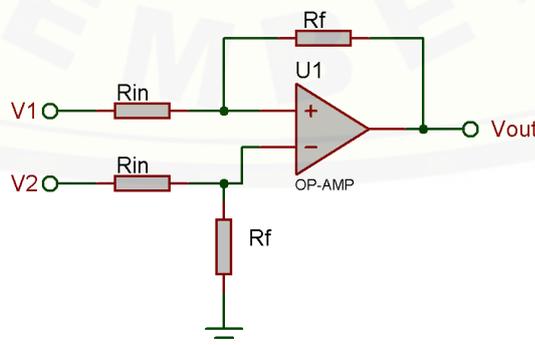
Pada gambar 3.2 merupakan gambaran dari blok diagram sistem dari Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin secara keseluruhan. Pada gambar tersebut, sistem pada Kontrol *Multi Input* berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin terdiri dari 2 buah *Input (Power Supply)*, 2 buah *Buck-Boost Converter*, 2 buah sensor tegangan, 2 buah dioda, dan sebuah arduino mega 2560. *Input* yang digunakan berasal dari 2 buah *power supply* sebagai permissalan 2 buah *input* dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin. *Power Supply* 1 adalah permissalan *output* dari panel surya dengan tegangan yang digunakan sebesar 16 V, 18 V, dan 20 V, sedangkan *Power Supply* 2 adalah permissalan *output* dari turbin angin dengan tegangan yang digunakan sebesar 6 V, 7 V, dan 8 V. Kedua buah *input* kemudian digabung dengan cara dihubungkan secara paralel untuk dapat menghasilkan sebuah *output*. Untuk menggabungkan kedua buah *input*, maka tegangan pada kedua buah input harus berada pada besar nilai yang sama agar dapat terjadi sebuah interkoneksi atau hubungan dari kedua buah *input*. *Buck-Boost Converter* digunakan untuk mengkonversi agar tegangan pada kedua buah *input* tetap berada pada besar nilai yang sama. Pada *Buck-Boost Converter* terdapat *Duty Cycle* yang diatur melalui sebuah kontrol Arduino Mega 2560 berdasarkan besar PWM (*Pulse Width Modulation*). *Multiple-Input Multiple-*

Output (MIMO) Fuzzy Logic digunakan untuk mengatur agar besar nilai tegangan dari kedua buah *Buck-Boost Converter* berada pada besar nilai tegangan yang sama agar menghasilkan sebuah interkoneksi untuk menjadi sebuah *output*. *MIMO Fuzzy Logic* digunakan agar dapat lebih efisien karena *MIMO Fuzzy Logic* dapat memproses beberapa *input* secara bersamaan. *Set point* yang digunakan pada *MIMO Fuzzy Logic* adalah sebesar 12 V. Sensor tegangan digunakan akan melakukan pembacaan tegangan *output* yang dihasilkan oleh konverter *buck-boost* yang akan menjadi acuan untuk proses kontrol kestabilan tegangan *fuzzy logic* sehingga tegangan yang dihasilkan konverter *buck-boost* sesuai dengan *set point* yang diinginkan.

3.4 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

3.4.1 Sensor Tegangan

Perancangan sensor tegangan dibangun dari rangkaian diferensial *Operational Amplifier (Op-Amp)*. Rangkaian diferensial op-amp digunakan karena tidak adanya *ground* pada output rangkaian konverter *buck-boost* yang digunakan, sehingga harus dihubungkan dengan *ground* yang terdapat pada *input* rangkaian konverter *buck-boost* agar nilai tegangan yang masuk ke sensor tegangan dapat terbaca oleh arduino. Tegangan yang masuk pada sensor sebesar 0 V – 50 V yang kemudian dikonversi oleh rangkaian sensor tegangan agar sesuai dengan tegangan kerja yang dapat dibaca oleh pin *analog* Arduino yaitu sebesar 0 V – 5 V. Skema rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 3.3 Gambar Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan 1.

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_{in}}(V_2 - V_1) \quad (3.1)$$

dimana, $V_{out} = 5$ volt; $V_1 = V_{in} = 50$ volt; $V_2 = 0$ volt; $R_f = 1$ k Ω

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_{in}}(V_2 - V_1)$$

$$5 = \frac{1k}{R_{in}}(0 - (-50))$$

$$R_{in} = \frac{1k}{5}(50)$$

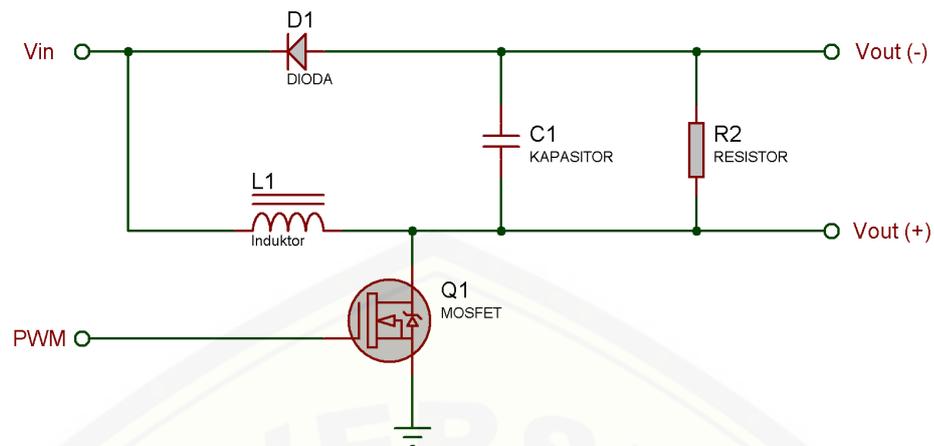
$$R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$$

3.4.2 Konverter *Buck-Boost*

Untuk merancang sebuah konverter *buck-boost* dibutuhkan perhitungan untuk menentukan nilai dari beberapa komponen yang akan digunakan agar sesuai dengan yang diinginkan, maka digunakan langkah-langkah seperti yang berikut:

Tabel 3.1 Parameter Konverter *Buck-Boost*

Parameter	Nilai
Tegangan <i>Input</i>	6 – 20 V
Tegangan <i>Output</i>	12 V
Arus <i>Output</i>	1 A
Frekuensi	31,32 KHz

Gambar 3.4 Desain Rangkaian Konverter *Buck-Boost*

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan besar *duty cycle* sampai dengan nilai komponen yang digunakan sesuai dengan parameter yang diinginkan:

- Perhitungan *Duty Cycle*

Duty Cycle Minimum:

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{in(max)} + V_{out}} \quad (3.2)$$

$$D_{min} = \frac{12}{20 + 12}$$

$$D_{min} = 37,5\%$$

Duty Cycle Maksimum:

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{in(min)} + V_{out}} \quad (3.3)$$

$$D_{max} = \frac{12}{6 + 12}$$

$$D_{max} = 66,7\%$$

- Perhitungan Resistansi

Resistansi Minimum:

$$R_{min} = \frac{V_{out}}{I_{out_{max}}} \quad (3.4)$$

$$R_{min} = \frac{12}{1}$$

$$R_{min} = 12 \Omega$$

Resistansi Maksimum:

$$R_{max} = \frac{V_{out}}{I_{out_{min}}} \quad (3.5)$$

$$R_{max} = \frac{12}{0,1}$$

$$R_{max} = 120 \Omega$$

- Perhitungan Induktansi

$$L_{min} = \frac{(1-D_{min})^2}{2 \times f} \times R_{max} \quad (3.6)$$

$$L_{min} = \frac{(1 - 0,375)^2}{2 \times 31320} \times 120$$

$$L_{min} = 0,000748 H$$

- Pemilihan MOSFET

Arus Switching MOSFET:

$$I_{SMmax} = I_{DMmax} = \frac{I_{out_{max}}}{1-D_{min}} + \frac{V_{out} \times D_{min}(1-D_{min})}{2fL} \quad (3.7)$$

$$I_{SMmax} = \frac{1}{1 - 0,375} + \frac{12 \times 0,375(1 - 0,375)}{2 \times 31320 \times 0,000748}$$

$$I_{SMmax} = 1,66 A$$

Arus rms:

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max} \times I_{out_{max}}}}{1-D_{max}} \quad (3.8)$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{0,667 \times 1}}{1 - 0,667}$$

$$I_{Srms} = 2,453 A$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka digunakan MOSFET yang sesuai yaitu MOSFET dengan tipe p40nf10@.

- Perhitungan Kapasitansi

Tegangan *Ripple*:

$$Vr = \frac{1}{100} \times Vo \quad (3.9)$$

$$Vr = \frac{1}{100} \times 12$$

$$Vr = 0,12$$

Tegangan *Ripple* pada Kapasitor:

$$Vcpp = Vr - Vrcpp \quad (3.10)$$

diasumsikan $Vrcpp = 5 \text{ mV}$,

$$Vcpp = 0,12 - 0,005$$

$$Vcpp = 0,115$$

Kapasitor Minimum:

$$Cmin = \frac{Vout \times Dmax}{Rmin \times Vcpp \times f} \quad (3.11)$$

$$Cmin = \frac{12 \times 0,667}{12 \times 0,115 \times 31320}$$

$$Cmin = 0,000185 \text{ F}$$

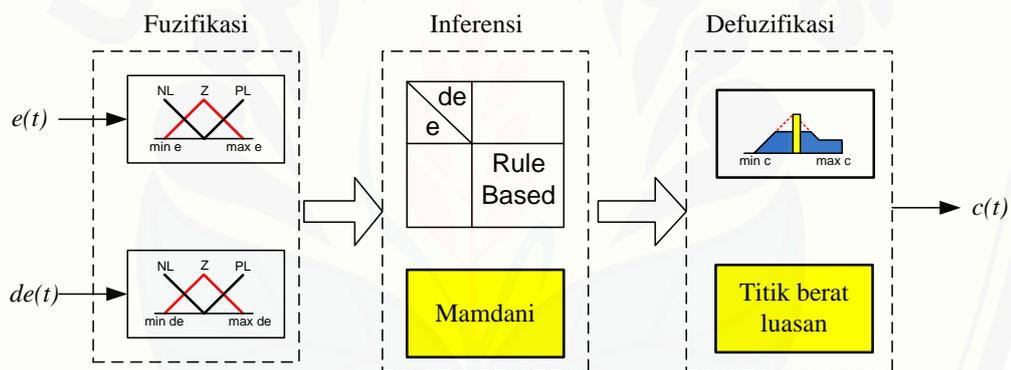
3.4.3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah mikroprosesor yang digunakan sebagai kontrol pada sistem. Arduino mega 2560 yang menerima *feedback* tegangan dari output tegangan konverter. Pin yang digunakan untuk pembacaan sensor tegangan adalah pin ADC A0 – A4. Sedangkan untuk pin yang mengontrol output PWM pada konverter *buck-boost* menggunakan pin 3 dan 5. Pengujian arduino dilakukan dengan mencoba menghubungkan pada pin arduino yang akan digunakan karena tidak jarang pin pada arduino juga tidak dapat digunakan sehingga dibutuhkan

pengecekan ulang, seperti pembacaan adc dari sensor dan pengontrolan PWM ke konverter *buck-boost*.

3.4.4 Kontrol *Fuzzy Logic* pada Arduino Mega 2560

Perancangan kontrol *fuzzy* pada sistem kontrol *hybrid* akan diimplementasikan secara langsung kedalam sebuah *embedded system* yang berupa arduino mega 2560. Tahap pembuatan *fuzzy logic control* ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu dimulai dari tahap *fuzzyfikasi* dimana terdiri dari pembuatan *membership fuction*, kemudian dilanjutkan ketahap *inference* dimana pada tahap ini merupakan proses pembuatan *rule base* dan kemudian ketahap *defuzzyfikasi* yaitu proses *output* yang diperoleh dari keseluruhan proses. Tahapan-tahapan *fuzzy logic control* dapat dilihat dengan jelas pada gambar 19.



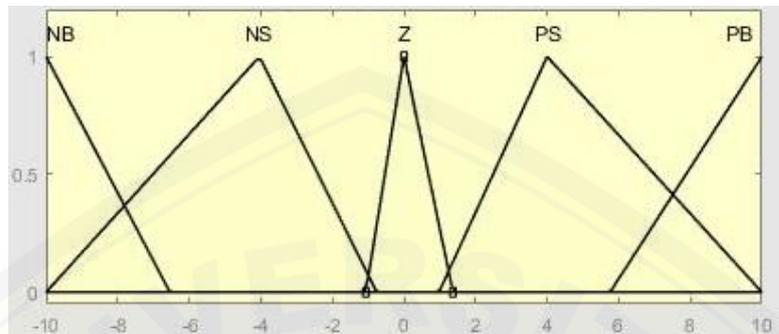
Gambar 3.5 Blok Sistem Kendali *Fuzzy*

1. *Fuzzyfikasi*

Tahap awal pembuatan *fuzzy* diawali dengan proses *fuzzyfikasi* dimana pada tahap ini dilakukan terhadap *error* dan *delta error*, yaitu dengan membuat himpunan keanggotaan untuk *error* dan *delta error*, dan kemudian melakukan perhitungan untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

Pada tahap ini terlebih dahulu ditentukan besarnya *setpoint* yang digunakan untuk membuat *membership function* dan juga pada proses perhitungan *error* dan *delta error*. Untuk besarnya nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 12, dimana nilai ini merupakan yang menjadi acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai

tersebut. Untuk *membership function* yang digunakan terdiri dari *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), dan *Positive Big* (PB).



Gambar 3.6 Membership *Function Error*

Dalam sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan tegangan, maka kendali dilakukan berdasarkan *error* (e) tegangan dan perubahan *error* tegangan atau *delta error* tegangan (de). Kontroler mengindera sinyal dari sensor tegangan dan menerima *input* berupa tegangan referensi. Kontroler memproses selisih tegangan aktual dan tegangan referensi menjadi $e(t)$ dan mencatatnya. Kontroler ini kemudian memproses selisih *error* ini dengan nilai *error* tegangan sebelumnya, $e(t-1)$ dan menjadikannya perubahan *error* tegangan $de(t)$. Hasil perhitungan *error* dan *delta error* ini kemudian diproses sesuai dengan tahapan pada blok sistem kendali *fuzzy*.

Nilai *error* diperoleh dari nilai *setpoint* dikurangi dengan *output* tegangan dari *buck-boost converter* yang berasal dari pembacaan sensor tegangan. Berikut ini adalah perhitungan *membership function error* dalam proses pembuatan program pada arduino.

a) Jika $-10 < E < 0$

$$\mu_{NB} = \frac{-6,54 - E}{-6,54 + 10}$$

$$\mu_{NS} = \frac{E + 10}{-4,04 + 1} ; -10 \leq E \leq -4,04$$

$$\mu_{NS} = \frac{-0,761 - E}{-0,761 + 4,04} ; -1,04 \leq E \leq -0,761$$

$$\mu_Z = \frac{E + 1,065}{0 + 1,065}$$

b) Jika $0 < E < 10$

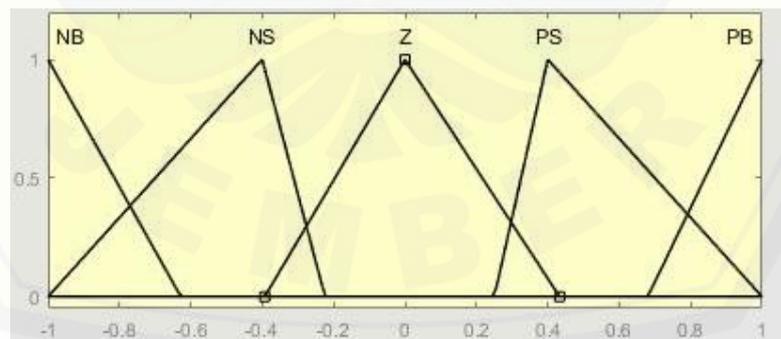
$$\mu_Z = \frac{1,37 - E}{1,37 - 0}$$

$$\mu_{PS} = \frac{E - 0,978}{4 - 0,978} ; 0,978 \leq E \leq 4$$

$$\mu_{PS} = \frac{10 - E}{10 - 4} ; 4 \leq E \leq 10$$

$$\mu_{PB} = \frac{E - 5,76}{10 - 5,76}$$

Hampir sama pada membuat *membership function error*, untuk membuat *membership function delta error* dilakukan juga berdasarkan perhitungan sesuai dengan aturan pada pembuatan fuzzy pada umumnya. Besarnya nilai *delta error* dihitung dari besarnya nilai *error* sekarang dikurangi dengan nilai *error* sebelumnya.



Gambar 3.7 Membership Fucntion Delta Error

a) Jika $-1 < DE < 0$

$$\mu_{NB} = \frac{-0,628 - DE}{-0,628 + 1}$$

$$\mu_{NS} = \frac{DE + 1}{0,4 + 1} ; -1 \leq DE \leq -0,4$$

$$\mu_{NS} = \frac{-0,224 - DE}{-0,226 + 0,4} ; -0,4 \leq DE \leq -0,224$$

$$\mu_Z = \frac{E + 0,393}{0 + 0,393}$$

b) Jika $0 < DE < 1$

$$\mu_Z = \frac{0,433 - DE}{0,433 - 0}$$

$$\mu_{PS} = \frac{E - 0,25}{0,4 - 0,25} ; 0,25 \leq DE \leq 0,4$$

$$\mu_{PS} = \frac{1 - DE}{1 - 0,4} ; 0,4 \leq DE \leq 1$$

$$\mu_{PB} = \frac{E - 0,68}{1 - 0,68}$$

2. Inferensi

Inferensi dimulai dengan memetakan nilai derajat keanggotaan dari masing-masing *error* dan *delta error* ke sebuah tabel yang berisi basis aturan yang dipilih (*rule base*) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan. Dengan demikian terlebih dahulu harus dibuat matrik atau tabel *rule base*.

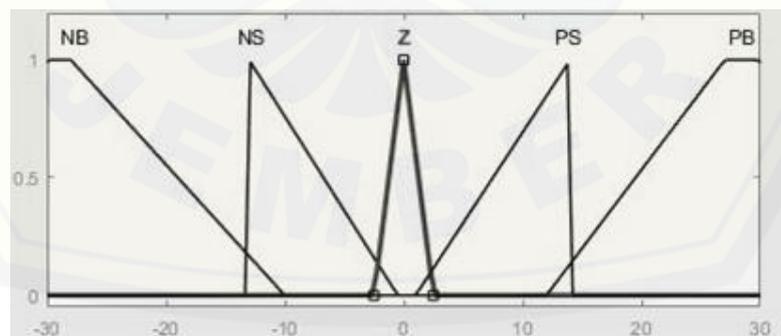
Tabel 3.2 Rule Base Fuzzy Logic

DE \ E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PS	PB	PB

Setelah langkah ini maka proses inferensi selesai dan untuk selanjutnya adalah langkah defuzifikasi untuk menentukan besarnya nilai PWM yang dikirim ke *buck-boost converter*.

3. Defuzzyfikasi

Defusifikasi dilakukan dengan memetakan nilai-nilai μ ke himpunan defuzifikasi yang dinyatakan dengan persamaan-persamaan garis. Berbeda dengan fuzifikasi, defuzifikasi akan menghasilkan luasan-luasan yang dibatasi dengan tinggi masing-masing nilai μ dan garis yang dihasilkan dari pemetaan ke *rule base*.



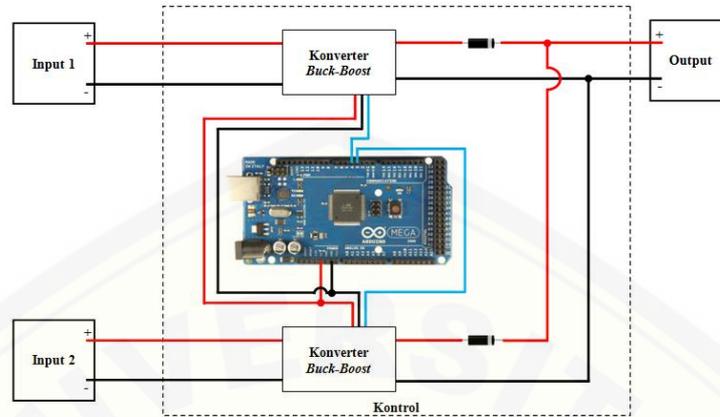
Gambar 3.8 Himpunan Defuzzyfikasi

Rumus defuzzyfikasi adalah sebagai berikut:

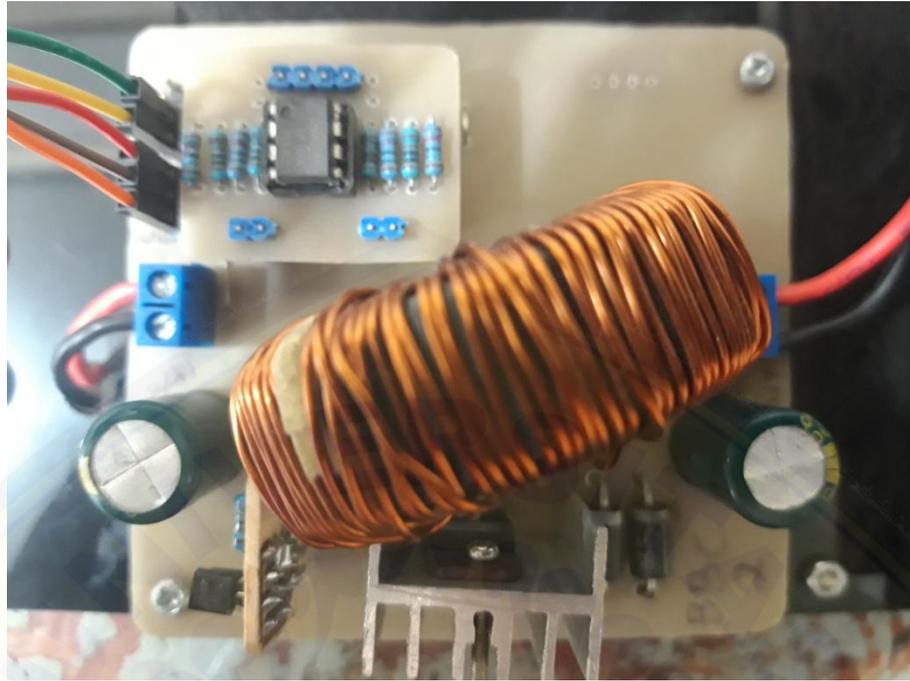
$$Z_0 = \frac{\int_a^b Z \cdot \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} \quad (3.12)$$

3.5 Desain Alat Penelitian

3.5.1 Perancangan Desain Alat

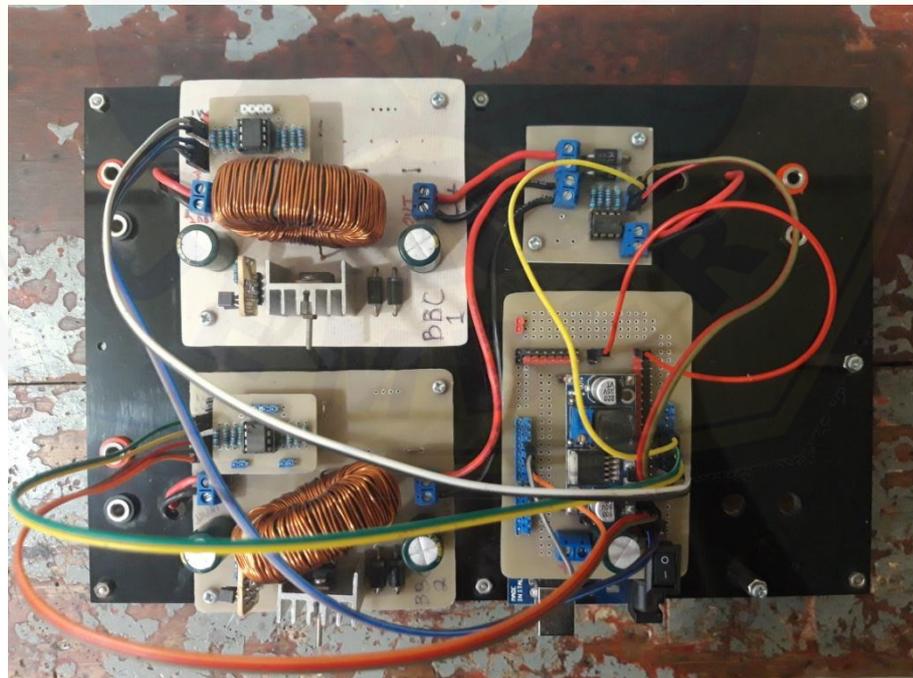


Gambar 3.9 Desain Kontrol *Multi Input* Berbasis *MIMO-Fuzzy Logic* untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin



Gambar Konverter *Buck-Boost* 2

A.3 Gambar Sistem



Gambar Keseluruhan Sistem Kontrol