



**SISTEM KONTROL BERBASIS LOGIKA FUZZY
PADA RUMAH KACA UNTUK TANAMAN SAWI
MENGUNAKAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA**

SKRIPSI

Oleh

Lukman Hakim

NIM 141910201047

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



**SISTEM KONTROL BERBASIS LOGIKA FUZZY
PADA RUMAH KACA UNTUK TANAMAN SAWI
MENGUNAKAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA**

SKRIPSI

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

Oleh

Lukman Hakim

NIM 141910201047

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

Puji syukur terbitkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpah rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahkan ini penulis berikan kepada :

1. Ibu Mardiyah, Kakakku Moch. Waras dan Selamat serta adikku Hafid tercinta, yang selalu mendoakan, mengarahkan, serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Seluruh dulur KETEK UJ 2014 yang telah memberikan dukungan dan doanya.
5. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan semangat serta perhatian yang luar biasa.
6. Saudara-saudara ku Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Almamater Tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

*“Jangan malu terlihat bodoh malulah saat kita pura – pura pintar”
(Albert Einstein)*

*“Sesungguhnya ilmu itu didapat hanya dengan belajar, dan kesabaran itu diperoleh hanya dengan latihan”
(Al Hadits)*

*“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil, tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”
(Albert Einstein)*

*“Tiadanya keyakinanlah yang membuat orang takut menghadapi tantangan; dan saya percaya pada diri saya sendiri”
(Muhammad Ali)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lukman Hakim

NIM : 141910201047

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Sistem Kontrol Berbasis Logika Fuzzy Pada Rumah Kaca Untuk Tanaman Sawi Menggunakan Energi Listrik Panel Surya” 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, Januari 2019

Yang menyatakan,

Lukman Hakim
NIM 141910201047

SKRIPSI

**SISTEM KONTROL BERBASIS LOGIKA FUZZY
PADA RUMAH KACA UNTUK TANAMAN SAWI
MENGUNAKAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA**

Oleh

Lukman Hakim

NIM 141910201047

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko., M.M.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sistem Kontrol Berbasis Logika Fuzzy Pada Rumah Kaca Untuk Tanaman Sawi Menggunakan Energi Listrik Panel Surya” karya Lukman Hakim telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 10 Januari 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota ,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Penguji I,

Penguji II,

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

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

Sistem Kontrol Berbasis Logika Fuzzy Pada Rumah Kaca Untuk Tanaman Sawi Menggunakan Energi Listrik Panel Surya; Lukman Hakim; 141910201047; 2018; 75 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis dimana sebagian besar tanahnya memiliki kesuburan yang sangat tinggi. Negara ini juga disebut sebagai negara agraris karena sebagian masyarakat memanfaatkan kesuburan tanahnya dan mempunyai mata pencaharian di bidang pertanian dan perkebunan. Namun, seiring perkembangan terjadi penurunan penggunaan lahan pertanian dan perkebunan. Faktor yang menyebabkan penurunan penggunaan lahan pertanian diantaranya adalah adanya pembangunan tempat tinggal, serta industri yang semakin meluas. Hal ini menyebabkan masyarakat mencari alternatif lain agar tetap bisa mempertahankan produksi pertanian dan perkebunannya.

Salah satu alternatif yang digunakan yaitu rumah kaca atau *greenhouse*. Rumah kaca merupakan bangunan yang terbuat dari bahan tembus pandang agar cahaya dapat tembus masuk ke bangunan tersebut. Adanya rumah kaca ini dapat menciptakan kondisi lingkungan yang di inginkan sehingga pertumbuhan tanaman dapat di kontrol. Tetapi biasanya untuk pengontrolan masyarakat masih menggunakan kontrol yang manual sehingga pertumbuhan tanaman kurang maksimal. Tidak hanya itu energi listrik yang digunakan untuk kontrol masih menggunakan energi listrik yang konvensional yang sumbernya berasal dari alam. Maka dari itu perlu adanya solusi untuk menciptakan kontrol yang otomatis supaya pertumbuhan tanaman lebih maksimal dan masyarakat tidak perlu memantau setiap hari tanamannya dan menciptakan potensi – potensi yang ada di alam untuk di jadikan sebagai alternatif yang berbasis energi terbarukan.

Pada penelitian ini membahas tentang sistem kontrol berbasis logika fuzzy pada rumah kaca untuk tanaman sawi menggunakan energi listrik panel surya. dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan produksi di bidang

pertanian dan perkebunan dengan mengontrol suhu dan kelembaban pada rumah kaca agar dapat mempercepat pertumbuhan tanaman. Selain itu juga memanfaatkan energi matahari untuk dijadikan sumber penghasil listrik. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu merancang sistem energi listrik panel surya pada rumah kaca dan mengendalikan suhu dan kelembaban pada tanaman sawi agar tetap stabil.

Pengujian dilakukan pada tanggal 12 Agustus 2018 dengan selang waktu dari pukul 08:00 sampai dengan pukul 16:00 dan setiap pengambilan data 30 menit sekali. Pengambilan data meliputi suhu, kelembaban yang ada di rumah kaca, kemudian nilai fuzzy untuk setiap beban yang ada pada rumah kaca. Untuk perhitungan energi yang dibutuhkan yaitu sebesar 640Wh dengan kapasitas panel surya sebesar 127,92 WP sudah mampu memenuhi kebutuhan energi pada rumah kaca dan kapasitas baterai sebesar 53,3 Ah sebagai tempat penyimpanan energi listrik dari panel surya.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol Berbasis Logika Fuzzy Pada Rumah Kaca Untuk Tanaman Sawi Menggunakan Energi Listrik Panel Surya”. 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 Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko., M.M.selaku Dosen Pembing Utama serta Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini.
7. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Dosen Pembing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa.
8. Ibunda Mardiyannah dan keluarga yang selalu memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, dan kasih sayang serta doa yang tak terhingga.
9. Dulur seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjalanan di bangku kuliah.

10. Keluarga besar UKM ROBOTIKA TEKNIK yang selalu memberi dukungan dan ilmu yang bermanfaat.
11. Teman – teman kontrakan C433 yang selalu memberikan semangat serta waktu kebersamaannya selama pengerjaan skripsi ini.
12. 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, 10 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN.....	iv
SKRIPSI.....	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. LANDASAN TEORI	4
2.1 Panel Surya	4
2.2 Penyusun Sistem Pembangkit	7
2.2.1 <i>Inverter</i>	7
2.2.2 <i>Baterai</i>	7
2.2.3 <i>Charger Control</i> <i>Baterai</i>	8
2.3 <i>Greenhouse</i>	10
2.4 <i>Fuzzy Logic</i>	11
2.4.1 <i>Pengertian Fuzzy Logic</i>	11
2.4.2 <i>Himpunan Fuzzy</i>	12
2.4.3 <i>Struktur Logika Fuzzy</i>	13
2.4.4 <i>Fungsi Keanggotaan</i>	14

2.4.5	<i>Fuzzyfikasi</i>	15
2.4.6	<i>Defuzzyfikasi</i>	16
2.5	Tanaman Sawi Hijau (<i>Brassica Sinensis</i> L.)	16
2.6	Hidroponik	17
2.7	Arduino	19
2.8	Sensor Suhu dan Kelembaban DHT 11	20
BAB 3. METODE PENELITIAN		23
3.1	Tempat dan Waktu Pelaksanaan	23
3.1.1	Tempat Penelitian	23
3.1.2	Waktu Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan	23
3.3	Study Parameter	25
3.3.1	Suhu	25
3.3.2	Kelembaban	25
3.3.3	Kebutuhan Energi Greenhouse	26
3.4	Kebutuhan Energi Listrik	27
3.4.1	Menentukan Spesifikasi Baterai	28
3.4.2	Menentukan Kapasitas Panel Surya	29
3.5	Tahapan Penelitian	29
3.6	Blok Diagram Sistem	30
3.7	Metode Fuzzy Logic	32
3.8	Desain Perencanaan Penelitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Pengujian Sensor DHT 11	40
4.1.1	Pengujian Suhu Sensor DHT 11	40
4.1.2	Pengujian Kelembaban Sensor DHT 11	42
4.2	Pengujian Kontrol Fuzzy	43
4.3	Pengujian Alat Secara Keseluruhan	45
BAB 5. PENUTUP		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57

DAFTAR PUSTAKA 68
LAMPIRAN..... 60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel surya	4
Gambar 2.2 Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n(kelebihan elektron).	5
Gambar 2.3 Ilustrasi Celah Pita Energi pada PV	6
Gambar 2.4 Solar <i>Charger Controller</i>	8
Gambar 2.5 Pertukaran Panas di dalam <i>Greenhouse</i>	11
Gambar 2.6 Struktur Dasar Logika Fuzzy	13
Gambar 2.7 Sawi Hijau (<i>Brassica sinensis L.</i>)	16
Gambar 2.8 Metode hidroponik NFT	19
Gambar 2.9 Sensor suhu dan Kelembaban (DHT11).....	21
Gambar 3.1 Diagram alir pengambilan keputusan dan penyusunan Laporan.....	30
Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian	32
Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan pada suhu.....	33
Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan pada kelembaban.....	34
Gambar 3.5 Blok diagram logika fuzzy	34
Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan <i>output</i> lampu.....	35
Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan <i>output</i> kipas	35
Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan <i>output</i> pompa.....	36
Gambar 3.9 Desain Perencanaan Alat.....	38
Gambar 4.1 Grafik pengujian suhu sensor DHT11 dengan <i>thermometer</i>	41
Gambar 4.2 Grafik pengujian kelembaban sensor DHT 11 dengan <i>Hygrometer</i>	43
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Kontrol <i>Fuzzy</i> Suhu	44
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Kontrol <i>Fuzzy</i> Kelembaban	45
Gambar 4.5 Perancangan dan Penempatan beban didalam <i>greenhouse</i>	46
Gambar 4.6 Pengujian alat secara keseluruhan.....	47
Gambar 4.7 Grafik Suhu di dalam <i>greenhouse</i>	50
Gambar 4.8 Grafik kelembaban didalam <i>greenhouse</i>	50
Gambar 4.9 Grafik tegangan dan arus pada PV	53

Gambar 4.10 Grafik tegangan dan arus pada BATERAI..... 53
Gambar 4.11 Grafik arus pada BEBAN..... 54
Gamber 4.12 Pertumbuhan tanaman sawi di dalam *greenhouse* 55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor suhu dan Kelembaban (DHT11).....	21
Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya.....	23
Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Air.....	24
Tabel 3.3 Spesifikasi Kipas Angin.....	24
Tabel 3.4 Spesifikasi Lampu.....	25
Tabel 3.5 Total energi dalam rumah kaca.....	26
Tabel 3.6 Energi dalam rumah kaca.....	28
Tabel 3.7 Kumpulan <i>rule</i> Lampu.....	36
Tabel 3.8 Kumpulan <i>rule</i> Kipas.....	36
Tabel 3.9 Kumpulan <i>rule</i> Pompa.....	37
Tabel 4.1 Pengujian suhu sensor DHT11 dengan <i>thermometer</i>	41
Tabel 4.2 Pengujian kelembaban sensor DHT11 dengan <i>hygrometer</i>	42
Tabel 4.3 Pengujian Kontrol <i>Fuzzy</i>	44
Tabel 4.4 Data Suhu dan kelembaban <i>greenhouse</i>	48
Tabel 4.5 Nilai arus dan Tegangan pada sistem.....	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara beriklim tropis, yang sebagian besar tanahnya memiliki kesuburan yang cukup tinggi. Negara ini juga sering disebut sebagai negara agraris, karena sebagian masyarakat memanfaatkan kesuburan tanah yang ada dan mempunyai mata pencaharian di bidang pertanian dan perkebunan. Namun berdasarkan Biro Pusat Statistika (2016) pada tahun 2003 sampai 2013 terjadi penurunan penggunaan lahan dan sektor usaha pertanian dan perkebunan sebanyak 28%. Faktor yang menyebabkan penurunan penggunaan lahan pertanian dan perkebunan, diantaranya dikarenakan adanya pembangunan tempat tinggal, usaha serta sektor industri yang semakin meluas. Hal ini menyebabkan masyarakat mencari alternatif lain untuk tetap mengembangkan produksi pertanian. Pesatnya perkembangan teknologi yang semakin maju memicu masyarakat beralih pada metode rumah kaca atau rumah kaca untuk meningkatkan produksi pertaniannya.

Rumah kaca merupakan suatu bangunan yang terbuat dari kaca atau *polyethylene* yang memegang peranan penting dalam melindungi kelangsungan hidup dari tanaman. Gas-gas yang terdapat didalam rumah kaca, seperti gas karbon dioksida dan metana serta uap air berada dalam kondisi seimbang, sehingga dapat menahan energi panas matahari yang mempengaruhi kondisi atau suhu di dalamnya rumah kaca memiliki kemampuan rekayasa cuaca, yang meliputi suhu, durasi penyiraman dan sirkulasi udara (Alwi, 2011). Keterbatasan lahan dan perubahan cuaca pada kondisi penghujan maupun kemarau yang tidak bisa diprediksi, menyebabkan dipilihnya penggunaan teknologi rumah kaca menjadi jalan keluar dari masalah tersebut (Abbas dkk, 2015).

Adanya rumah kaca ini menciptakan kondisi lingkungan yang dikehendaki, sehingga pertumbuhan dari suatu tanaman dapat dikontrol untuk mempercepat pertumbuhan tanaman. Pengontrolan pada rumah kaca umumnya masih dilakukan dengan cara manual atau masih tradisional, sehingga efektifitas pertumbuhan pada tanaman sangat kurang. Maka dari itu diperlukan sistem

kontrol otomatis pada rumah kaca untuk mempermudah masyarakat dalam menggunakan rumah kaca dan tidak perlu mengecek keadaan rumah kaca setiap hari karena kontrol otomatis pada rumah kaca sudah terprogram oleh komputer sesuai dengan keinginan pemilik sehingga rumah kaca dapat bekerja secara otomatis. Tetapi pada prakteknya teknologi tersebut masih menggunakan sumber energi listrik konvensional yang sumbernya berasal dari alam.

Pemanfaatan energi terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Potensi energicahaya matahari sebagai sumber energi terbarukan banyak tersedia di alam. Oleh karena itu pengembangan potensi energi cahaya matahari sebagai sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Pengembangan dan pemanfaatannya harus dilakukan baik dalam bentuk riset di laboratorium maupun terapannya berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat dimanfaatkan oleh masyarakat (Sugiyono, 2012).

Uraian diatas menunjukkan, pentingnya dilakukan penelitian ini untuk mengembangkan produksi di bidang pertanian dengan memanfaatkan energi cahaya matahari. Sistem energi kelistrikan dikontrol untuk memberi suplai energi dengan memberikan sensor pendeteksi berupa sensor suhu dan sensor kelembaban untuk kebutuhan energi pada tanaman. Tanaman nantinya akan dimasukkan ke dalam rumah kaca atau sering disebut dengan rumah kaca supaya lebih mudah untuk proses pengontrolannya. Sumber energi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu panel surya. Penelitian ini merupakan sebuah inovasi energi terbarukan yang ramah lingkungan karena sumber energi didapat dari alam yang ketersediaanya tidak terbatas

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan sistem energi listrik panel surya pada rumah kaca?

2. Bagaimana sistem kontrol berbasis logika fuzzy pada tanaman sawi agar suhu dan kelembaban tetap stabil di dalam rumah kaca?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas maka ditentukan batasan masalah pada penelitian antara lain:

1. Pengujian dititikberatkan pada pengontrolan suhu dan kelembaban pada rumah kaca yang sudah ditentukan volumenya.
2. Penanaman sawi menggunakan sistem hidroponik.
3. Dimensi rumah kaca yang digunakan yaitu $P = 0.5$ meter, $L = 0.5$ meter dan $T = 0.5$ meter.
4. Tidak menghitung kebutuhan energi secara spesifik.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan untuk pencapaian akhir sebagai berikut:

1. Mengetahui cara merancang sistem energi listrik panel surya pada rumah kaca
2. Mengetahui cara mengendalikan suhu dan kelembaban pada tanaman sawi agar tetap stabil dalam rumah kaca

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dengan tujuan mengatur kebutuhan energi listrik untuk mengendalikan suhu dan kelembaban pada tanaman sawi yang ada di dalam rumah kaca. Selain itu juga sebagai inovasi energi terbarukan dengan memanfaatkan energi cahaya matahari yang digunakan untuk mengembangkan produktifitas di sektor pertanian.

BAB 2. LANDASAN TEORI

1.1 Panel Surya

Sumber energi cahaya matahari merupakan sumber energi yang dapat diperbarui, oleh karena itu pemanfaatan cahaya matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui suatu alat yaitu panel surya. Sel surya atau *photovoltaic* merupakan divais yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai kebumi. Panel surya ini membutuhkan material yang dapat menangkap cahaya matahari, selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem *solar thermal* (Adityawan, 2010).

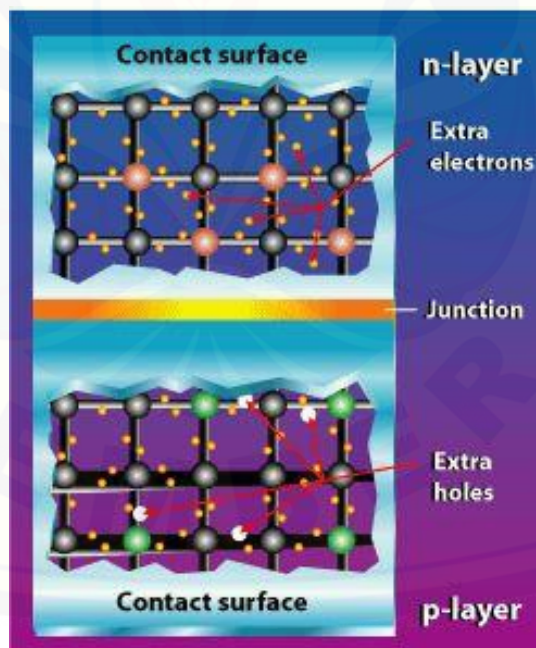


Gambar 2.1 Panel Surya
(Sumber : Yandri, 2012).

Panel surya dapat digambarkan sebagai suatu alat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi tidak cukup cahaya panel surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total

menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul panel surya tersebut dapat dirangkai secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk penggunaan tertentu.

Sistem kerja panel surya menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan *doping* material dengan atom *dopant*. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon *didoping* oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon *didoping* oleh atom fosfor. Gambar 2.2 menunjukkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



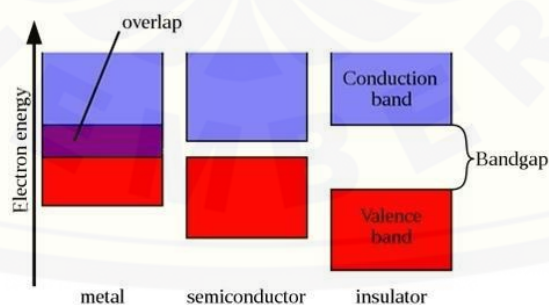
Gambar 2.2 Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan elektron).

(Sumber : <https://teknologisurya.files.wordpress.com/2011/10/pn-junction.jpg>).

Peran dari *p-n junction* adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik.

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna *p-njunction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti di ilustrasikan pada gambar diatas (Handini, 2008).

Proses perubahan dari cahaya matahari menjadi listrik pada fotovoltaik juga dipengaruhi oleh sifat bahan yang digunakan. Pengerjaan sel fotovoltaik, menciptakan tegangan listrik ketika terkena cahaya, didasarkan pada efek fotovoltaik. Ketika melihat ke sifat kimia bahan, elektron terletak di band valensi atau pita konduksi membutuhkan lebih banyak energi, di antara kedua celah pita. Ketika sinar matahari menyinari material, maka elektron mendapatkan cukup energi untuk melompat ke pita konduksi. Pasangan elektron lubang ini akan menghasilkan arus listrik. Sementara logam tidak memiliki celah pita dan dengan demikian merupakan konduktor yang sempurna, celah pita isolator sangat tinggi sehingga tidak dapat dilompati. Inilah sebabnya mengapa semikonduktor digunakan untuk sel surya (Smet, 2016).



Gambar 2.3 Ilustrasi Celah Pita Energi pada PV
(Sumber : Smet, 2016).

2.2 Penyusun Sistem Pembangkit

Sumber energi listrik digunakan untuk menyuplai kebutuhan energi pada tanaman dan juga sebagai catu daya untuk beban dalam rumah kaca. Maka dari itu perlu di rancang penyusun sistem pembangkit untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut antara lain;

2.2.1 Inverter

Inverter solar panel merupakan peralatan yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga sel surya. Inverter ini berfungsi untuk mengubah arus DC (*Direct Current*) yang dihasilkan oleh panel surya, menjadi arus AC (*Alternating Current*). Sehingga dapat digunakan pada peralatan elektronika yang ada di rumah. Setelah arus listrik searah diubah menjadi arus listrik bolak-balik, selanjutnya keluaran dari inverter ini yang telah berupa arus bolak-balik ini dapat langsung digunakan untuk mencatu peralatan listrik dan elektronika yang membutuhkan arus bolak-balik. Besarnya tegangan dan daya keluaran yang dapat dihubungkan ke beban yang nantinya harus sesuai dengan kemampuan inverter yang dipakai dan besarnya sistem penyimpanan yang digunakan (besarnya *ampere hour*(AH) atau amper jam dari baterai).

Cara kerja sistem *inverter* ini adalah dengan cara mengubah *input* motor listrik arus bolak-balik atau AC menjadi searah atau DC, lalu kemudian di ubah lagi menjadi listrik bolak-balik atau AC tetapi dengan frekuensi yang dapat diatur, sehingga dapat mengontrol kecepatan yang diinginkan.

Spesifikasi inverter yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan daya panel surya. Dengan mengetahui daya maksimum pada panel surya maka dapat diketahui besar kapasitas daya inverter yang akan digunakan pada sistem panel surya melalui persamaan dibawah ini (Syukriadi, 2010)

2.2.2 Baterai

Baterai atau aki merupakan sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Proses elektrokimia *reversible* adalah proses pengubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik yang dapat berlangsung secara bolak-balik.

Hal ini yang menyebabkan terjadinya pengisian energi kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Definisi lain dari baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan juga energi kimia dapat dikonversi menjadi energi listrik.

2.2.3 Charger Control Baterai

Solar Charge Controller adalah komponen di dalam sistem PLTS berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*Current Regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar / digunakan. Sebagian besar Solar PV 12 Volt menghasilkan tegangan keluar (V-Out) sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan yang umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian (*Charge*) sekitar 13-14,8 volt (Tegantung Tipe Battery) untuk dapat terisi penuh.



Gambar 2.4 Solar Charge Controller

(Sumber : <http://aenaoshop.gr/en/proionta/solar-charger-pv-power-mppt-tracer-2210a-20a-12v-24v-epsolar/>).

Ada beberapa kondisi yang dapat dilakukan oleh *Solar Charge Controller* pada sistem panel surya yaitu:

1. Mengendalikan Tegangan Panel Surya

Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk

mencegah *over charge* dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersupply dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.

2. Monitoring Voltase Baterai

Saat *voltase* di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi *voltase* tertentu (umumnya sekitar 10% sisa *voltase* di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses *charging*. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh *controller*, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi.

3. Mengendalikan arus terbalik pada saat malam hari

Pada malam hari, panel surya tidak menghasilkan arus, karena tidak terdapat sumber energi yaitu matahari dan Arus yang mengalir dari panel menuju baterai akan berhenti. Sedangkan arus dari baterai akan mengalir berbalik ke panel surya, hal ini akan merusak panel surya. Maka dari itu *Solar Charger Chontroller* akan mengatur kondisi tersebut.

Beban pada sistem PLTS mengambil sumber energi dari *charger control*. Kapasitas arus yang mengalir pada *charger control* dapat ditentukan dengan mengetahui beban keseluruhan yang digunakan (Djaufani, 2015). Maka arus yang mengalir pada *solar charger control* dapat diketahui melalui persamaan:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{V_s} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

I_{max} = Arus maksimum (Ampere)

P_{max} = Daya maksimum (Watt)

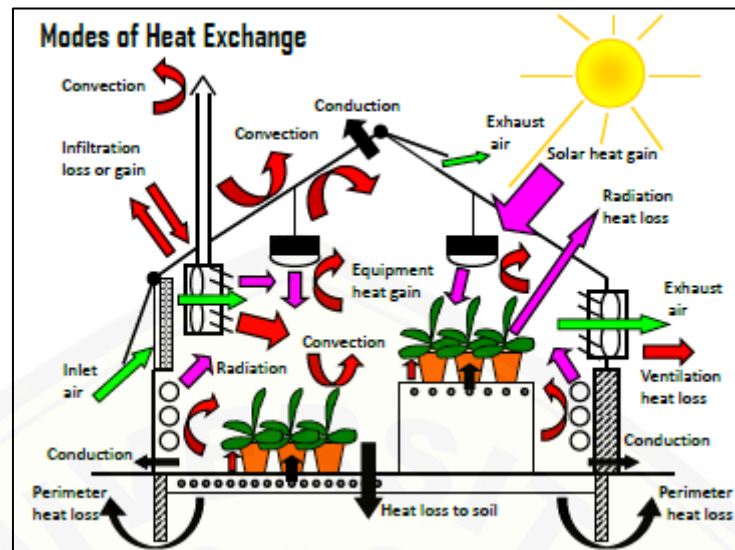
V_s = Tegangan sistem (Volt)

2.3 Rumah Kaca

Nelson (1979) mendefinisikan rumah kaca sebagai suatu bangunan untuk budidaya tanaman, yang memiliki struktur atap dan dinding yang bersifat tembus cahaya. Struktur rumah kaca berinteraksi dengan parameter iklim di sekitar rumah kaca dan menciptakan iklim mikro di dalamnya yang berbeda dengan parameter iklim di sekitar rumah kaca. Rumah kaca berfungsi untuk menghindari dan memanipulasi kondisi lingkungan agar tercipta kondisi lingkungan yang dikendaki dalam pemeliharaan tanaman.

Rumah kaca disebut juga Rumah Kaca, karena kebanyakan rumah kaca di buat dari kaca atau *polyethylene* yang tembus sinar sehingga panas matahari dapat masuk dan keluar melewatinya. Banyak industri pertanian besar memanfaatkan rumah kaca sebagai sarana peningkatan produksi hasil pertaniannya. Karena mereka menyadari arti penting rumah kaca dalam menciptakan kondisi lingkungan seperti yang di kehendaki. Pertanian dengan rumah kaca mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah mudah dalam mengendalikan hama dan penyakit, bisa mengendalikan suhu dan kelembaban serta dapat meningkatkan mutu produk pertanian yang dihasilkan. (Sugiono, 1998).

Pertumbuhan tinggi tanaman dipengaruhi oleh faktor klimatik lingkungan salah satunya adalah temperatur. Pertumbuhan tanaman dalam rumah kaca akan semakin cepat dan jumlah daun akan semakin banyak apabila suhu didalam rumah kaca stabil. Temperatur udara dalam rumah kaca akan meningkat sekitar 37 °C sampai 48 °C pada waktu penyinaran matahari sedang berlangsung. Penutup pada rumah kaca mempengaruhi kenaikan suhu dan akan menurun mengikuti suhu tanaman. Bertambahnya udara panas di dalam *greenhouse* akibat aerodinamik dari tanaman terhadap pertukaran udara secara konveksi di dalam rumah kaca.



Gambar 2.5 Pertukaran Panas di dalam rumah kaca

2.4 Fuzzy Logic

Selama beberapa dekade yang lalu, himpunan fuzzy dan hubungannya dengan logika fuzzy telah digunakan pada lingkup domain permasalahan yang cukup luas. Lingkup ini mencakup tentang kendali proses, klasifikasi, pengambilan keputusan, pencocokan pola dan lain-lain. Pada tahun 1985, terjadi perkembangan yang sangat pesat pada logika fuzzy tersebut terutama dalam mengatasi permasalahan tentang kendali yang bersifat *linier*, *ill-defined*, *time* varian dan situasi-situasi yang sangat kompleks. (Kusumadewi, 2002)

2.4.1 Pengertian *Fuzzy Logic*

Fuzzy secara bahasa dapat diartikan samar, dengan kata lain logika *fuzzy* adalah logika yang samar. Dimana pada logika *fuzzy* suatu nilai dapat bernilai 'true' dan 'false' secara bersamaan. Tingkat 'true' atau 'false' nilai dalam logika *fuzzy* tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan rentang antara 0 hingga 1, berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua keanggotaan 0 atau 1 saja pada satu waktu. Logika *fuzzy* sering digunakan untuk mengekspresikan suatu nilai yang diterjemahkan dalam

bahasa (linguistic), semisal untuk mengekspresikan suhu dalam penggunaan mesin yang terus-menerus apakah mesin tersebut dingin, hangat, atau panas.

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input dalam suatu ruang output dan memiliki nilai yang berlanjut. Kelebihan logika *fuzzy* ada pada kemampuan penalaran secara bahasa. Sehingga, dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematis yang kompleks dari objek yang akan dikendalikan. Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada 1965, Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada padadunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan *fuzzy*. Tidak seperti logika boolean, logika *fuzzy* mempunyai nilai yang kontinue. Sama dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. 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.

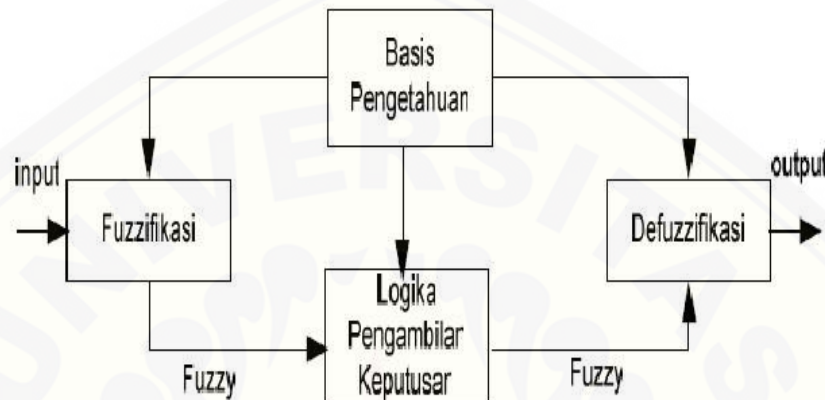
2.4.2 Himpunan Fuzzy

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan, Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan (Kusumadewi S, 2002). Himpunan fuzzy didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu item dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu item tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan

salah, nilai 1 menunjukkan benar, dan masih ada nilai-nilai yang terletak antara benar dan salah.

2.4.3 Struktur Dasar Logika *Fuzzy*

Pada dasarnya struktur logika fuzzy dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.6 Struktur Dasar Logika Fuzzy
(Sumber : <http://andyn-ai.blogspot.co.id/2010/05/fuzzy-logic.html>).

Fungsi dari bagian-bagian di atas adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan yang *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi.

2. Basis Pengetahuan

Berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan yang *fuzzy* atas daerah –daerah masukan dan keluaran serta menyusunnya dalam perangkat aturan.

3. Logika Pengambil Keputusan

Merupakan inti dari Logika *Fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi aturan *fuzzy* disimpulkan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*.

4. Defuzzifikasi

Berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyalsebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi.

2.4.4 Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam 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 (Winahyu A, 2013). Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan:

- a. Representasi Linear
- b. Representasi Kurva Segitiga
- c. Representasi Kurva Trapesium
- d. Representasi Kurva Bentuk Bahu
- e. Representasi Kurva-S
- f. Representasi Bentuk Lonceng
- g. Koordinat Keanggotaan

Adapun operator dasar operasi Himpunan *Fuzzy* adalah sebagai berikut :

a. Operator AND

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

$$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots \dots \dots (2.8)$$

b. Operator OR

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

$$\mu_{A \cup B} = \max (\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots \dots \dots (2.9)$$

c. Operator NOT

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

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x] \dots \dots \dots (2.10)$$

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

2.4.5 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan suatu proses perubahan 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*) $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in U$ 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 sistem.

Fuzzifikasi memiliki dua komponen yang utama, yaitu :

1. Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy.

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* merupakan sebuah kurva yang menggambarkan pemetaan dari input kederajat keanggotaan antara 0 dan 1. Nilai – nilai masukan yang telah disusun melalui fungsi keanggotaan akan menjadi informasi *fuzzy* yang berguna untuk proses pengolahan lebih lanjut. Banyaknya jumlah fungsi keanggotaan dalam *fuzzy* set menentukan banyaknya aturan yang harus dibuat.

2. Label.

Fuzzy set memiliki beberapafungsi keanggotaan, jumlah dari keanggotaan inipun disesuaikan dengan banyaknya kebutuhan. Setiap fungsi keanggotaan didefinisikan dengan label atau nama. Label ini dapat dinyatakan dengan “besar”, “sedang”, “kecil” atau sesuai dengan keinginan.

2.4.6 Defuzzyfikasi

Input dari proses defuzzyfikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat di ambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output (Kusumadewi S, 2002).

2.5 Tanaman Sawi Hijau (*Brassica sinensis L.*)

Sawi hijau atau Caisin (*Brassica sinensis L.*) merupakan tanaman jenis sayuran yang dapat ditanam disepanjang tahun. Tumbuhan ini dapat hidup di berbagai tempat, baik di dataran tinggi maupun dataran rendah. Namun, sawi kebanyakan dibudidayakan di dataran rendah dengan ketinggian antara 5-1200m dpl, baik di sawah, ladang, maupun pekarangan rumah. Sawi termasuk tanaman yang tahan terhadap berbagai cuaca. Terlebih lagi pada musim hujan, tanaman ini tahan terhadap terpaan air hujan, sedang pada musim kemarau tahan terhadap panasnya cuaca yang menyengat. Ketahanan hidup tanaman di cuaca yang berbeda ini dapat terjadi ketika dilakukan penyiraman secara rutin.



Gambar 2.7 Sawi Hijau (*Brassica sinensis L.*)
(Sumber : <https://penjagarumah.com/menanam-sawi/>).

Dalam budidaya di rumah kaca tanaman sawi membutuhkan kesesuaian iklim seperti suhu, cahaya matahari dan nutrisi untuk pertumbuhan yang optimal (Telaumbanua M dkk, 2016).

2.6 Hidroponik

Hidroponik (*hydroponic*) berasal dari kata Yunani yaitu *hydro* yang berarti air dan *ponos* yang artinya daya. Hidroponik juga dikenal sebagai budidaya tanaman tanpa media tanah. Jadi hidroponik merupakan budidaya tanaman yang memanfaatkan air dan tanpa menggunakan tanah sebagai media tanamnya. Budidaya ini dilakukan untuk menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Kebutuhan air pada hidroponik lebih sedikit daripada kebutuhan air ketika pada budidaya menggunakan media tanah. Penggunaan air pada budidaya hidroponik ini lebih efisien, sehingga cocok diterapkan pada daerah yang memiliki pasokan air yang terbatas (Roidah I. S., 2014).

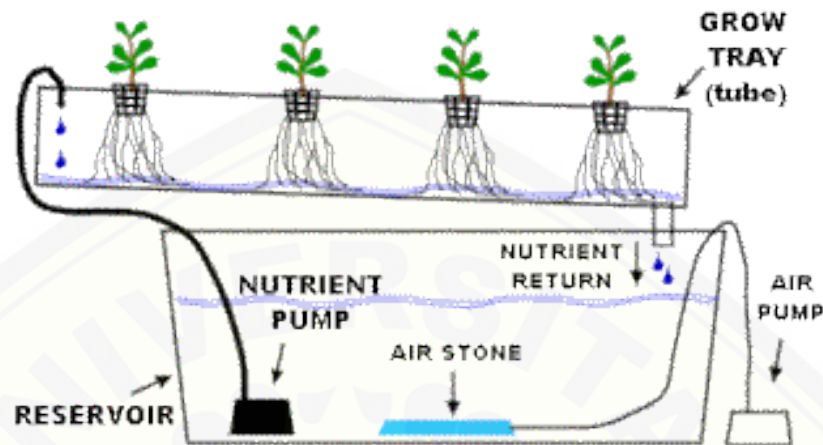
Bercocok tanam secara hidroponik sebenarnya sudah banyak dipakai oleh beberapa masyarakat untuk memanfaatkan lahan yang tidak terlalu luas. Banyak keuntungan dan manfaat yang dapat diperoleh dari sistem tersebut. Sistem ini dapat menguntungkan dari kualitas dan kuantitas hasil pertaniannya, serta dapat memaksimalkan lahan pertanian yang ada karena tidak membutuhkan lahan yang banyak. Berikut adalah beberapa keuntungan dari hidroponik yaitu :

1. Keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin.
2. Perawatan lebih praktis dan gangguan hama lebih terkontrol.
3. Pemakaian pupuk lebih hemat (efisien).
4. Tanaman yang mati lebih mudah diganti dengan tanaman yang baru .
5. Tidak membutuhkan banyak tenaga kasar karena metode kerja lebih hemat dan memiliki standarisasi.
6. Tanaman dapat tumbuh lebih pesat dan dengan keadaan yang tidak kotor dan rusak.
7. Hasil produksi lebih continue dan lebih tinggi disbanding dengan penanama ditanah.

8. Harga jual hidroponik lebih tinggi dari produk non-hidroponic.
9. Tidak ada resiko banjir, erosi, kekeringan, atau ketergantungan dengan kondisi alam.
10. Tanaman hidroponik dapat dilakukan pada lahan atau ruang yang terbatas, misalnya di atap, dapur atau garasi.

Prinsip dasar hidroponik dibagi menjadi 2 yaitu hidroponik substrat dan hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*). Hidroponik substrat merupakan metode budidaya tanaman yang tidak menggunakan media air tetapi menggunakan media padat (bukan tanah) yang dapat menyerap atau menyediakan nutrisi, air dan oksigen serta mendukung akar tanaman seperti halnya fungsi tanah. Media yang dapat digunakan yaitu, apung, pasir, serbuk gergaji, atau gambut. Media tersebut berfungsi seperti tanah. Kemampuan mengikat kelembaban suatu media tergantung dari ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan pori, sehingga semakin besar pula kemampuan menahan air. Bentuk partikel media yang tidak beraturan lebih banyak menyerap air dibanding yang berbentuk bulat rata. Media yang berpori juga memiliki kemampuan lebih besar untuk menahan air. Pilihan jenis media tergantung pada ketersediaan dana, kualitas, dan jenis hidroponik yang akan dilakukan. Kemudian selanjutnya hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) merupakan salah satu metode special dalam hidroponik yang dikembangkan pertama kali oleh Dr. A. J. Cooper di *Glasshouse Crops Research Institute*, Littlehampton, Inggris pada akhir tahun 1960-an dan berkembang pada awal 1970-an secara komersial. Konsep dasar NFT ini adalah suatu metode budidaya tanaman dengan akar tanaman tumbuh pada lapisan nutrisi yang dangkal dan tersirkulasi sehingga tanaman dapat memperoleh cukup air, nutrisi, dan oksigen. Tanaman tumbuh dalam lapisan *polyethylene* dengan akar tanaman terendam dalam air yang berisi larutan nutrisi yang di sirkulasikan secara terus menerus dengan pompa. Daerah perakaran dalam larutan nutrisi dapat berkembang dan tumbuh dalam larutan nutrisi yang dangkal sehingga bagian atas akar tanaman berada di permukaan antara larutan nutrisi dan *Styrofoam* yang mengalir pada pipa. Adanya bagian akar dalam udara ini memungkinkan oksigen masih bisa

terpenuhi dan mencukupi untuk pertumbuhan tanaman secara normal. Metode ini diilustrasikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Metode hidroponik NFT

2.7 Arduino

Arduino adalah sebuah mikrokontroler single board yang bersifat *open source* seperti gambar *Hardware* mikrokontroler Arduino diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman *wiring gbased* yang berbasiskan *sysntax* 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.

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasiskan ATmega 2560 (datasheet ATmega 2560). 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 Mega 2560 kompatibel dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega 2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi ArduinoMega.

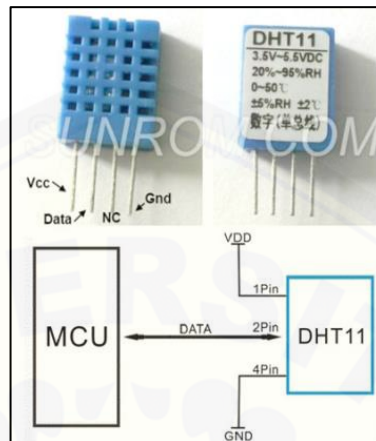
2.8 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT 11

Sensor merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisis menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor yang digunakan dalam sistem kontrol ini yaitu sensor DHT 11 yang mampu mendeteksi nilai suhu dan kelembaban tertentu. Kelembaban udara menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban nisbi (relatif) maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban nisbi adalah membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air.

Peralatan elektronik menjadi mudah berkarat jika udara disekitarnya memiliki kelembaban yang cukup tinggi. Oleh karena itu, informasi mengenai kelembaban udara pada suatu area tertentu menjadi sesuatu hal yang penting untuk diketahui karena menyangkut efek-efek yang ditimbulkannya. Informasi mengenai nilai kelembaban udara diperoleh dari proses pengukuran. Alat yang biasanya digunakan untuk mengukur kelembaban udara adalah *higrometer*.

DHT 11 adalah sensor digital yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Sensor ini sangat mudah digunakan bersama dengan Arduino. DHT 11 yang ditunjukkan pada gambar 2.9 memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur kalibrasi yang sangat akurat. Koefisien kalibrasi disimpan dalam OTP program memory, sehingga ketika internal sensor mendeteksi sesuatu, maka *module* ini menyertakan koefisien tersebut dalam kalkulasinya. DHT 11 ini termasuk sensor yang memiliki kualitas terbaik, dinilai dari respon, pembacaan data yang cepat, dan kemampuan anti-interference. Ukurannya yang kecil, dan dengan transmisi sinyal hingga 20 meter, dengan spesifikasi: *Supply Voltage*: +5 V, *Temperature range* : 0-50 °C *error of* ± 2 °C, *Humidity* : 20-90% RH ± 5 %

RH error, dengan spesifikasi *digital interfacing system*. Produk ini cocok digunakan untuk banyak aplikasi-aplikasi pengukuran suhu dan kelembaban.



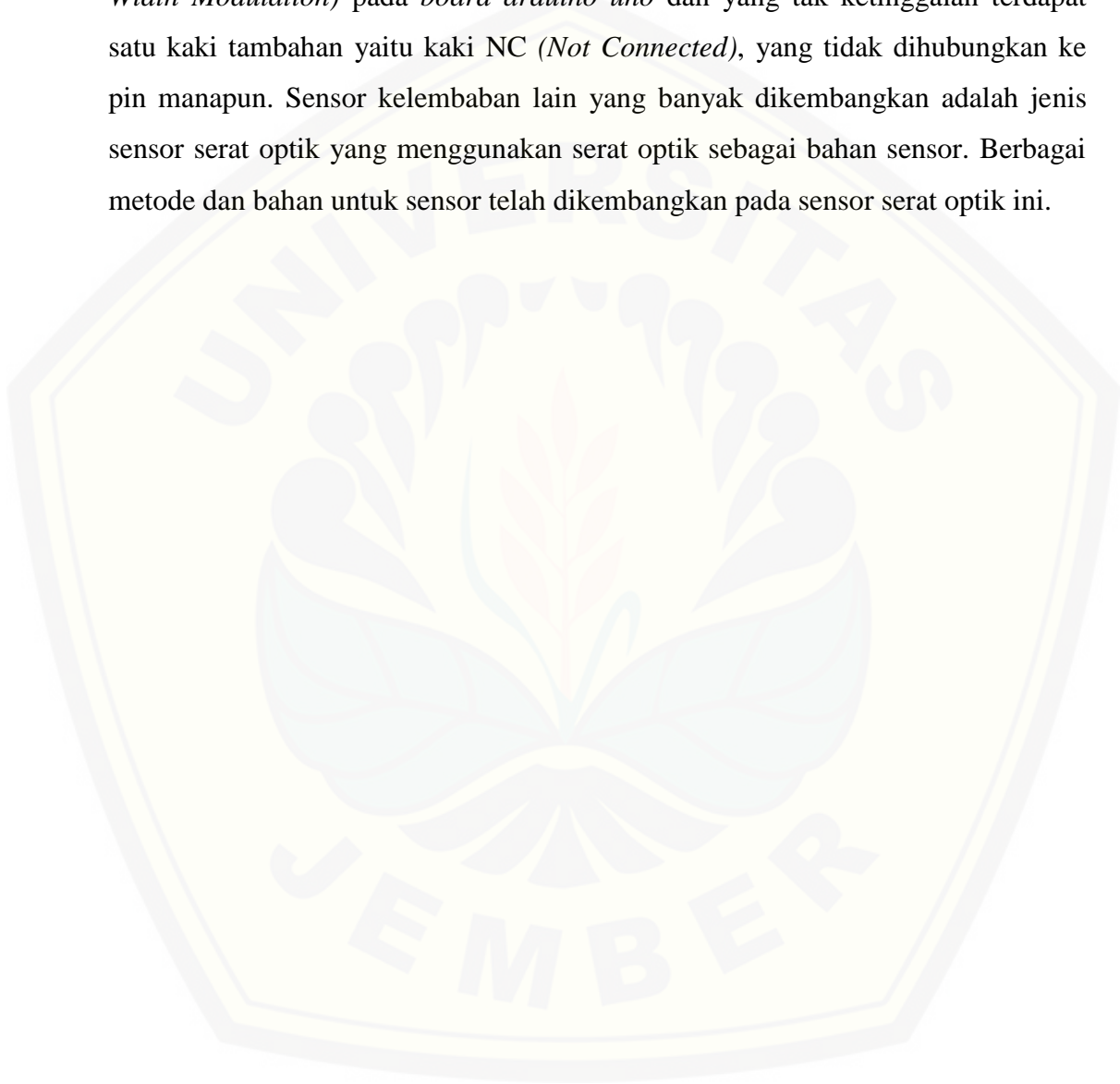
Gambar 2.9 Sensor suhu dan Kelembaban (DHT11)

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor suhu dan Kelembaban (DHT11)

Model	DHT11
Power supply	3-5.5V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Measuring range	humidity 20-90% RH \pm 5% RH error temperature 0-50 °C error of \pm 2 °C
Accuracy	humidity \pm 4% RH (Max \pm 5% RH); temperature \pm 2.0Celsius
Resolution or Sensitivity	humidity 1% RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity \pm 1% RH; temperature \pm - 1Celsius
Humidity hysteresis	\pm 1% RH
Long-term Stability	\pm 0.5% RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions size	12*15.5*5.5mm

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa struktur yang merupakan cara kerja dari sensor kelembaban udara/*Humidity DHT11* yang memiliki empat buah kaki yaitu: pada bagian kaki (V_{CC}), dihubungkan ke bagian V_{SS} yg bernilai sebesar 5V, pada

board arduino uno dan untuk bagian kaki *GND* dihubungkan ke *ground (GND)* pada *board arduino uno*, sedangkan pada bagian kaki data yang merupakan keluaran(*Output*)dari hasil pengolahan data analog dari *sensor DHT 11* yang dihubungkan ke bagian *analog input(pin3)*,yaitu pada bagian pin PWM (*Pulse Width Modulation*) pada *board arduino uno* dan yang tak ketinggalan terdapat satu kaki tambahan yaitu kaki *NC (Not Connected)*, yang tidak dihubungkan ke pin manapun. Sensor kelembaban lain yang banyak dikembangkan adalah jenis sensor serat optik yang menggunakan serat optik sebagai bahan sensor. Berbagai metode dan bahan untuk sensor telah dikembangkan pada sensor serat optik ini.



BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian yang dilakukan ini, untuk memperoleh data dan hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan, maka akan dilakukan beberapa tahapan-tahapan pada proses penelitian ini. Adapun kegiatan yang akan dilakukan sebagaimana dapat dijelaskan seperti berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukandi Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl.Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 6 bulan .Pada bulan Mei 2018 sampai November 2018.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya

Panel surya yang digunakan adalah jenis *monocrystalline* dan *polycrystalline* dengan kapasitas masing-masing 50 WP. Di bawah ini merupakan spesifikasi panel surya yang digunakan.

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Polycrystalline	Monocrystalline
Merk	S-Series	S-Series
Number of Cell	36 Cell	36 Cell
Dimention	71 × 50 × 3	71 × 50 × 3
Maximum Power Peak	50 WP	50 WP
Open Circuit Voltage	22.5 V	22.5 V
Short Circuit Current	3.04 A	3.04 A
Maximum Power Voltage	17.6 V	17.6 V
Maximum Power Current	2.85 A	2.85 A
Test condition	1000 W/m ² , 25 C	1000 W/m ² , 25 C

2. Inverter
3. Baterai
4. Kabel penghubung
5. Kontrol pengisian baterai
6. Arduino Mega

Adapun beberapa beban yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pompa air

Pompa air digunakan untuk sistem irigasi untuk tanaman. Berikut spesifikasi pompa air yang akan digunakan:

Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Air

Seri Produk	WP-3600
Kategori	Non Auto
Voltage/Hz	220/50
Daya Output Motor	20 W
Daya Input Motor	20 W
Panjang Pipa Hisap	9 M
Daya Dorong Max.	1,6 M
Head	1,6 M
Kapasitas	1000 L/h
Pipa Hisap	1 Inch
Pipa Dorong	1 Inch

2. Kipas Angin

Kipas angin digunakan untuk sirkulasi udara yang ada pada rumah kaca. Adapun spesifikasi kipas angin yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Spesifikasi Kipas Angin

Tipe	FV-20-TGU
Ukuran	8 Inch
Daya	30 Watt
Tegangan	240 V/ 50 Hz
Dimensi (P x L x T)	36 cm x 20 cm x 36 cm
Berat	5Kg
Kecepatan Motor	1234 RPM
Volume Udara	8.1 m ³ /mnt-285.46 ft ³ /mnt
Noise	45 db

3. Lampu

Lampu digunakan sebagai penerangan pada saat memantau kondisi tanaman pada saat malam hari. Adapun spesifikasi lampu yang digunakan adalah:

Tabel 3.4 Spesifikasi Lampu

Shape	Standard (A55)
Cap	E27
Voltage	220-240 V
Wattage	30W
Light Output	350 Lumen
Color Temperature	3000 K

3.3 Study Parameter

Proses pengontrolan pada tanaman sawi digunakan untuk mempermudah dalam mengamati pertumbuhan tanaman sawi. Adapun faktor-faktor pendukung dalam pengontrolan tanaman sawi antara lain dengan parameter berikut ini:

3.3.1 Suhu

Suhu merupakan faktor penting di dalam proses fotosintesis untuk pertumbuhan tanaman. Suhu memberikan energi untuk melaksanakan proses-proses fisiologisnya, mempengaruhi produk sintesa, evapotransisi daun dan metabolisme tanaman. (Telaumbanua, 2016).

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Telaumbanua dkk, yaitu mengidentifikasi pola pertumbuhan tanaman sawi dengan memberikan perlakuan tiga variasi suhu yaitu 32°C, 35°C dan 38°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pertumbuhan terbaik untuk tanaman sawi adalah pada suhu 35°C. Maka dari itu pada penelitian ini ditentukan *setting point* suhu di dalam rumah kaca sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan yaitu 35°C.

3.3.2 Kelembaban

Proses pertumbuhan pada tanaman sawi (*Brassica sinensis L.*) juga dipengaruhi oleh faktor kelembaban. Kelembaban yang sesuai untuk tanaman sawi (*Brassica sinensis L.*) yang optimal berkisar antara 80%-90% , apabila terlalu tinggi atau terlalu rendah maka akan berpengaruh buruk terhadap

pertumbuhan tanaman sawi (Cahyono, 2003). Agar mempermudah dalam pemrosesan *fuzzy* kontrolnya maka Nilai *setting point* kelembaban yang digunakan dalam proses *fuzzy* kontrol yaitu sebesar 85%.

3.3.3 Kebutuhan Energi Rumah Kaca

Salah satu kebutuhan yang paling penting dalam proses pertumbuhan pada suatu tanaman yaitu energi. Energi yang dibutuhkan pada setiap tanaman berbeda – beda, seperti salah satu faktor yang paling mempengaruhi dalam proses pertumbuhan pada tanaman yaitu temperatur atau suhu yang terdapat pada rumah kaca. Adapun perbedaan suhu yang terdapat pada rumah kaca yaitu suhu dalam dan suhu luar rumah kaca. Dengan adanya perbedaan suhu ini maka akan menimbulkan suatu pergerakan energi, maka dari proses inilah yang nantinya besar energi akan diketahui. Supaya dapat diketahui energi pada rumah kaca berikut ini beberapa pengujian yang dilakukan antara lain:

Tabel 3.5 Total energi dalam rumah kaca

No	Waktu (WIB)	Suhu (°C)		Q
		T2	T1	
1	08.00	27	35	1200
2	08.30	29	35	900
3	09.00	29	35	900
4	09.30	32	35	450
5	10.00	37	35	300
6	10.30	37	35	300
7	11.00	30	35	750
8	11.30	31	35	600
9	12.00	29	35	900
10	12.30	28	35	1050
11	13.00	37	35	300
12	13.30	34	35	150
13	14.00	33	35	300
14	14.30	33	35	300
15	15.00	32	35	450
16	15.30	30	35	750
17	16.00	28	35	1050
Total				10650

Dari tabel diatas diketahui total energi yang dibutuhkan dalam rumah kaca sebesar 10650 Joule. Perhitungan tabel tersebut menggunakan persamaan energi kalor (Q), energi kalor merupakan perkalian massa benda (m) dikali dengan kalor jenis (c) dan perubahan suhu (ΔT), perubahan suhu yang dimaksud adalah suhu di luar rumah kaca dan suhu di dalam rumah kaca yang sudah ditentukan yaitu sebesar 35 derajat celcius. Pada penelitian ini rumah kaca yang digunakan adalah berukuran panjang 0.5 meter lebar 0.5 meter dan tinggi 0.5 meter. dimana untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= (\rho \cdot V) \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \\ &= (1,2 \cdot 0,125) \cdot 1000 \cdot (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

Pada penelitian ini agar dapat mengetahui berapa daya yang dibutuhkan untuk rumah kaca, maka dapat dihitung dengan cara seperti berikut

$$\begin{aligned} W &= Q \\ P \times t &= m \cdot c \cdot \Delta T \end{aligned}$$

Keterangan:

W = energi listrik (J)

P = daya listrik (watt)

t = waktu yang diperlukan (s)

3.4 Kebutuhan Energi Listrik

Kebutuhan energi pada rumah kaca dapat diketahui dengan memperhitungkan total beban (Wh) yaitu kapasitas beban (Watt) dikali dengan waktu operasional beban menyala (Jam). Kebutuhan energi ini digunakan untuk menentukan kebutuhan sumber energi listrik yang diperoleh dari panel surya.

Setelah kebutuhan energi pada rumah kaca sudah diketahui maka dapat diketahui total beban yang akan digunakan dalam rumah kaca. Seperti pada tabel dibawah ini total beban yang akan digunakan adalah 640 Wh.

Tabel 3.6 Energi dalam rumah kaca

Jenis Beban	Kapasitas Beban (Watt)	Jam Operasional / Hari (Jam)	Total beban (Wh)
Lampu	30	8	240
Pompa	20	8	160
Kipas	30	8	240
Total			640

3.4.1 Menentukan Spesifikasi Baterai

Penentuan kapasitas baterai yang akan digunakan dipengaruhi oleh total beban (Wh), tegangan kerja baterai (V), dan waktu otonomi yaitu 1 hari. Hari otonomi adalah waktu yang diperlukan oleh sistem untuk melayani beban tanpa masukan energi dari panel surya maksudnya tanpa penyinaran matahari baterai ini masih dapat men-*supplay* beban yang digunakan. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas baterai} &= \frac{\text{beban total}}{\text{tegangan sistem}} \times \text{waktu otonom} \\
 &= \frac{640 \times 1}{12} \\
 &= 53.3 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Jadi kapasitas baterai yang digunakan adalah sebesar 53.3 Ah, tetapi kebanyakan dipasaran tidak tersedia baterai dengan kapasitas sebesar 53.3 Ah. Dipasaran hanya tersedia baterai dengan kapasitas 20 Ah, 35 Ah, 45 Ah dan 65 Ah. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan sebuah baterai dengan kapasitas sebesar 12 V 45 Ah sebanyak 2 buah yang dirangkai secara paralel. Baterai dengan kapasitas 12 V 45 Ah sebanyak 2 buah ini diharapkan mampu menyimpan energi listrik dari panel surya untuk digunakan oleh beban yang ada di dalam rumah kaca.

3.4.2 Menentukan kapasitas Panel Surya

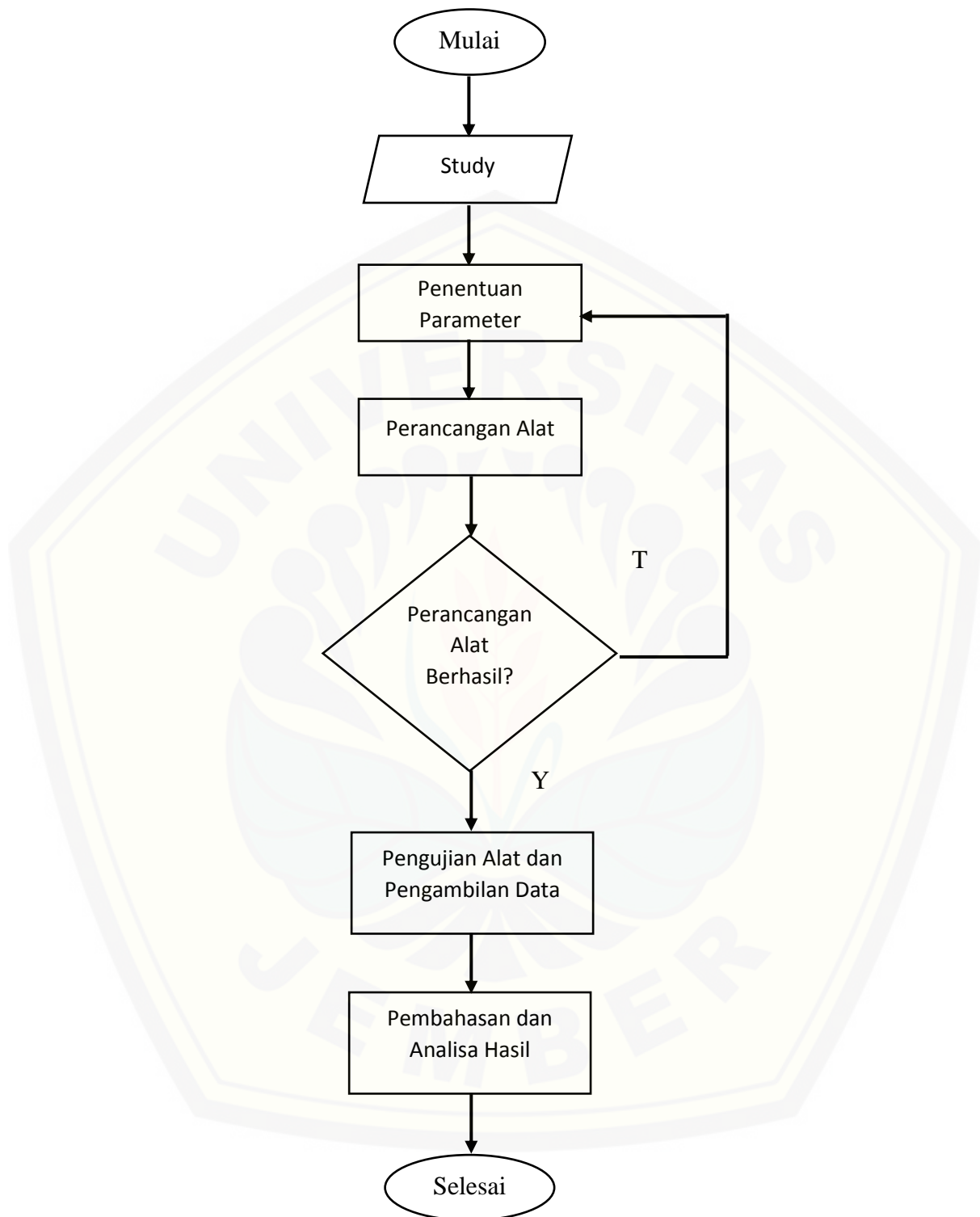
Kebutuhan daya listrik digunakan untuk menghidupkan beban pada rumah kaca, adapun beban yang digunakan antara lain; pompa, kipas dan lampu. Dalam hal ini menggunakan *solar cell* sebagai penghasil energi untuk pengisian aki atau baterai. Jadi dalam hal ini aki atau baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Untuk mengetahui spesifikasi dari panel surya dapat dicari setelah kapasitas baterai diketahui maka selanjutnya dapat diketahui juga untuk kapasitas panel surya dengan asumsi penyerapan panel surya maksimum 5 jam dalam sehari. Artinya selama satu hari panel surya menerima energi maksimum selama 5 jam penyinaran. Sehingga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P \text{ panel surya} &= \frac{\text{Kapasitas Baterai} \times \text{Tegangan Sistem}}{\text{Waktu}} \\ &= \frac{53.3 \text{ Ah} \times 12}{5 \text{ h}} \\ &= 127.92 \text{ WP} \end{aligned}$$

Jadi pada penelitian ini panel surya yang dibutuhkan adalah 127.92 WP, sedangkan dipasaran terdapat kapasitas 10 WP, 20 WP, 50 WP dan 100 WP. Sehingga dalam penelitian ini panel surya yang digunakan adalah 50 WP sebanyak 4 buah yang dipasang secara paralel jadi total ada 200 WP.

3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahap-tahap dalam penelitian dan penyusunan penelitian ini secara keseluruhan yang digunakan sebagai kerangka dalam pemecahan masalah pada penelitian kali ini dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir pengambilan keputusan dan penyusunan laporan.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “sistem kontrol berbasis logika fuzzy pada rumah kaca untuk tanaman sawi menggunakan energi listrik panel surya” adalah sebagai berikut :

1. Study 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. Penentuan Parameter

Tahap yang kedua yaitu menentukan parameter dimana parameter yang akan digunakan untuk proses pembuatan alat sesuai dengan keinginan.

3. Perancangan alat

Setelah parameter sudah ditentukan maka selanjutnya yaitu melakukan perancangan desain panel surya sebagai *supply* energi listrik pada *greenhouse*.

4. Pengambilan data

Setelah perancangan alat berhasil tahap selanjutnya yaitu Pengujian dan pengambilan data berupa daya yang dihasilkan panel surya dan pengaruh suhu serta kelembaban pada *greenhouse*.

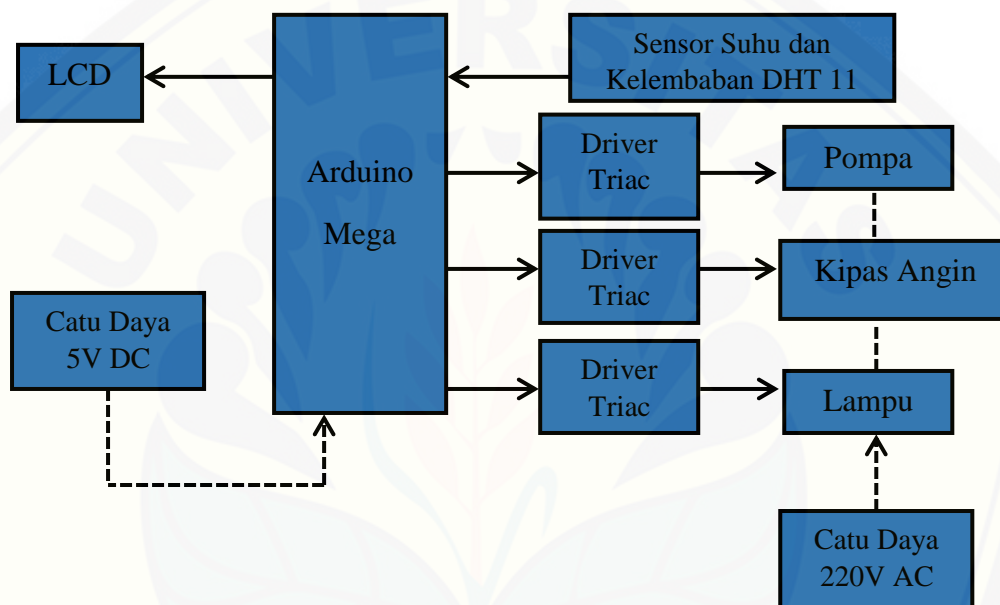
5. Pembahasan dan analisa hasil

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

3.6 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan, maka disusunlah blok diagram sistem secara keseluruhan yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Alur dari diagram blok penelitian ini adalah yang pertama alat ini menggunakan sumber tegangan atau catu daya sebesar 5V untuk menyuplai arduino, sensor suhu dan kelembaban DHT 11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban yang ada di dalam *greenhouse*. Hasil pembacaan sensor suhu dan kelembaban DHT 11 akan ditampilkan ke *Liquid Crystal Display*

(LCD) sebagai monitoring. Arduino Mega digunakan untuk pengontrolan sistem keseluruhan kerja alat. *Output* dari alat ini ada tiga yaitu lampu yang digunakan untuk pemanasan ruangan *greenhouse*, kipas angin untuk menjaga agar suhu dan kelembaban di dalam *greenhouse* tetap stabil sesuai dengan nilai yang sudah di atur, dan yang terakhir pompa untuk pengairan tanaman sawi yang ada di *greenhouse*. Keseluruhan output ini di suplai oleh energi listrik 220 V AC berasal dari panel surya yang sudah di konversi menggunakan inverter.



Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian

3.7 Metode *Fuzzy Logic*

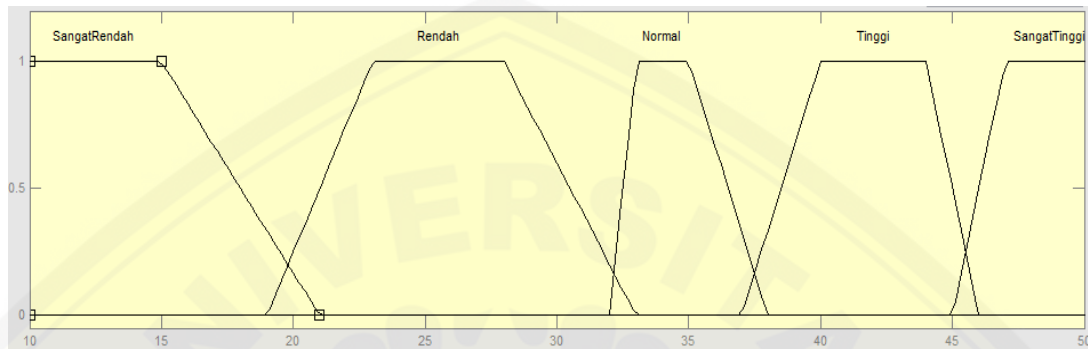
Penggunaan metode *fuzzy logic* untuk mempermudah mengatasi permasalahan dalam penelitian tugas akhir ini. Adapun permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini yaitu dapat di sederhanakan hanya menggunakan dua *input* yaitu suhu dalam *greenhouse* dan kelembaban dalam *greenhouse*

1. Variabel Suhu

Pembagian *input* suhu dalam penelitian ini dibagi menjadi lima macam yaitu sebagai berikut:

a. Suhu Sangat Rendah

- b. Suhu Rendah
- c. Suhu Normal
- d. Suhu Tinggi
- e. Suhu Sangat Tinggi



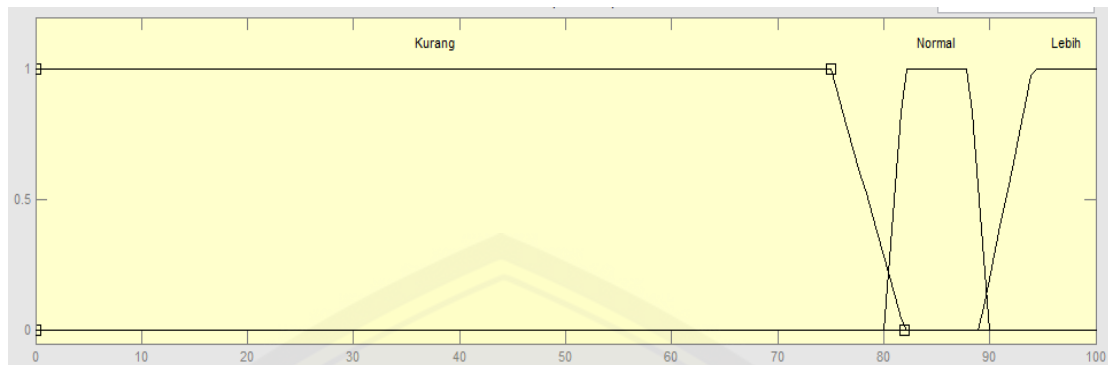
Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan pada suhu

Fungsi keanggotaan pada suhu terbagi menjadi lima macam yaitu Suhu Sangat Rendah, Suhu Rendah, Suhu Normal, Suhu Tinggi dan Suhu Sangat Tinggi. Dimana nilai untuk *input* variabel Suhu Sangat Rendah adalah 10 – 21 °C. Kemudian nilai untuk *input* variabel Suhu Rendah adalah 19 – 33 °C. Selanjutnya nilai untuk *input* variabel Suhu Normal adalah 32 – 38 °C. Nilai untuk *input* variabel Suhu Tinggi adalah 37 – 46 °C dan yang terakhir nilai untuk *input* variabel Suhu Sangat Tinggi adalah 45 - 50 °C.

2. Variabel Kelembaban

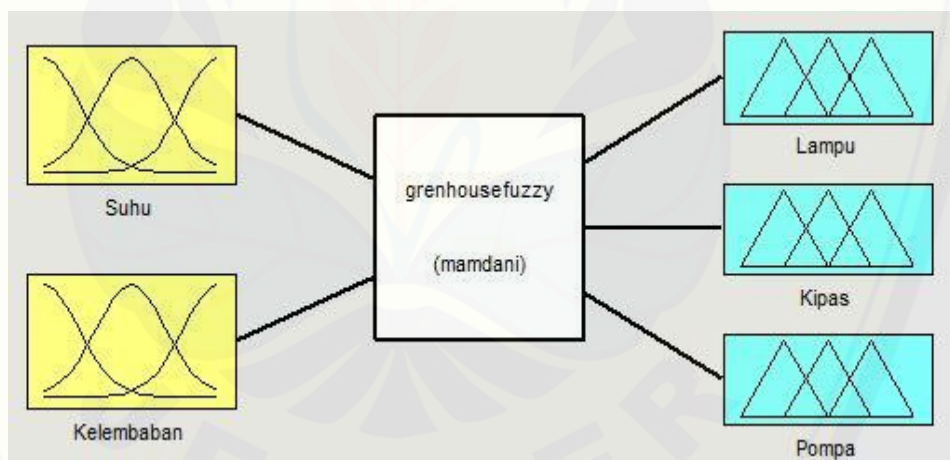
Pembagian *input* Kelembaban dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga macam yaitu sebagai berikut:

- 1. Kelembaban Kurang
- 2. Kelembaban Normal
- 3. Kelembaban Lebih



Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan pada kelembaban

Fungsi keanggotaan pada kelembaban terbagi menjadi tiga macam yaitu Kelembaban Kurang, Kelembaban Normal dan Kelembaban Lebih. Dimana nilai untuk *input* variabel kelembaban Kurang adalah 0 – 82 %RH, kemudian nilai untuk *input* variabel kelembaban Normal adalah 80 – 90 %RH dan yang terakhir nilai untuk *input* variabel kelembaban Lebih adalah 88 – 100 %RH.



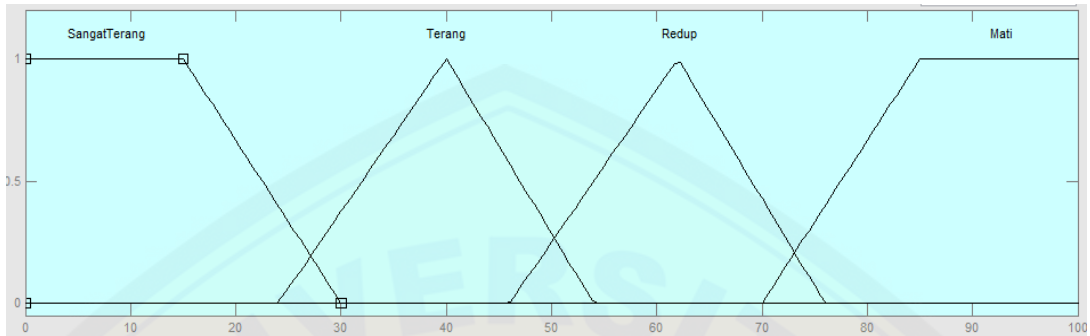
Gambar 3.5 Blok diagram logika fuzzy

Selain menggolongkan *input*, diperlukan juga untuk menggolongkan *output*. Dalam penelitian ini menggunakan tiga *output* yaitu Lampu, Kipas dan Pompa, untuk penggolongan *output* adalah sebagai berikut:

a. Lampu

Penerangan dalam rumah kaca sangat diperlukan untuk menaikkan suhu apabila suhu didalam rumah kaca terlalu dingin. Agar suhu didalam rumah kaca

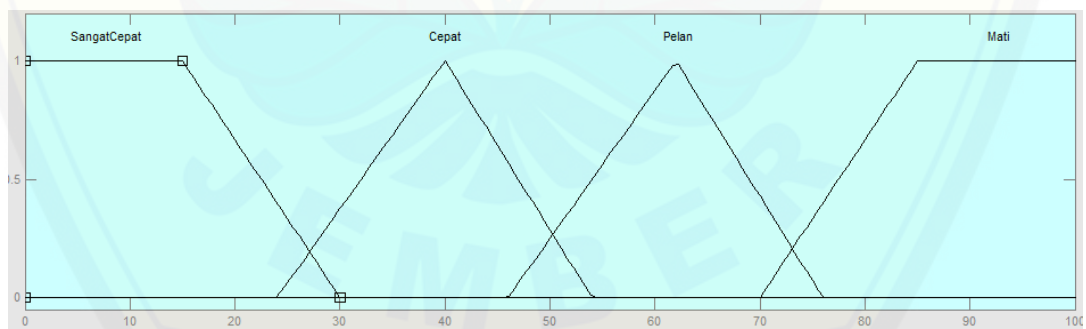
tetap stabil maka *output* Lampu dibagi menjadi empat keadaan yaitu sangat rendah, terang, redup dan mati. Berikut adalah empat keadaan *output* lampu yang sudah dibuat dengan *software* Matlab yaitu:



Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan *output* lampu

b. Kipas

Penelitian ini menggunakan pendingin berupa kipas, hal ini digunakan untuk menjaga kondisi rumah kaca tetap stabil. Untuk *output* kipas sendiri dibagi menjadi empat kondisi yaitu sangat cepat, cepat, pelan dan mati. Keempat kondisi tersebut berfungsi sesuai kondisi didalam rumah kaca. Apabila kondisi sangat panas maka kipas akan berputar sangat cepat dan sebaliknya. Output kipas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

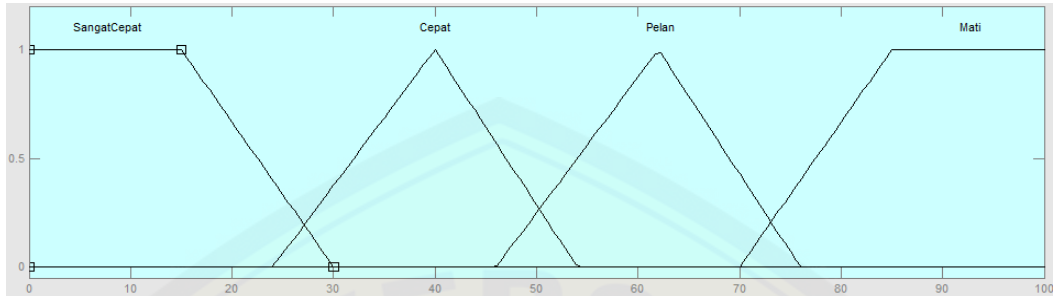


Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan *output* kipas

c. Pompa

Penggunaan pompa dalam penelitian ini adalah untuk mengalirkan air sebagai sumber energi tanaman hidroponik. Air yang mengalir dalam pipa hidroponik mempengaruhi lembab tidak nya udara yang berada disekitar tanaman

sawi di dalam rumah kaca. Dimana untuk kondisi *output* pompa dapat dilihat dalam gambar dibawah ini:



Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan *output* pompa

Tabel 3.7 Kumpulan *rule* Lampu

INPUT		KELEMBABAN		
		Kurang	Normal	Lebih
SUHU	Sangat Rendah	T	ST	ST
	Rendah	T	T	ST
	Normal	R	R	T
	Tinggi	M	R	R
	Sangat Tinggi	M	M	M
OUTPUT				

Tabel 3.8 Kumpulan *rule* Pompa

INPUT		KELEMBABAN		
		Kurang	Normal	Lebih
SUHU	Sangat Rendah	M	M	M
	Rendah	M	P	M
	Normal	P	P	P
	Tinggi	SC	C	C
	Sangat Tinggi	SC	SC	SC
OUTPUT				

Tabel 3.9 Kumpulan *rule* Kipas

INPUT	KELEMBABAN			
	Kurang	Normal	Lebih	
SUHU	Sangat Rendah	M	M	M
	Rendah	C	P	M
	Normal	C	P	P
	Tinggi	SC	C	P
	Sangat Tinggi	SC	SC	C
OUTPUT				

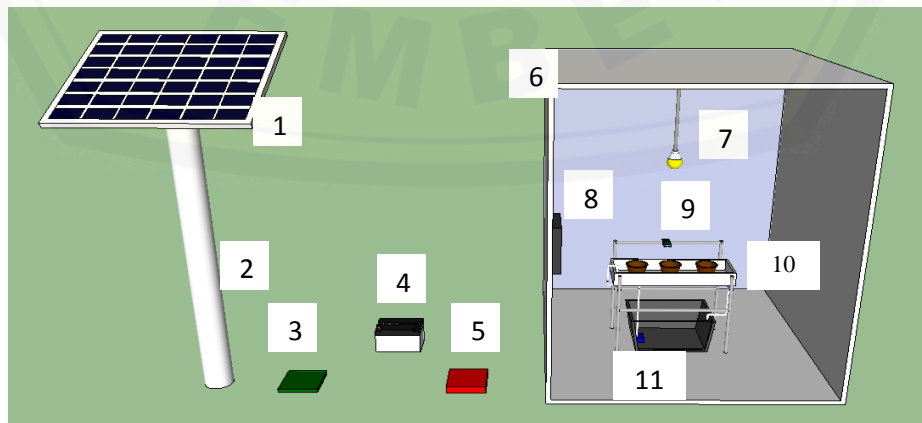
Tabel diatas merupakan rancangan *input* dan *output* yang nantinya akan menghasilkan sebuah *rule* atau aturan-aturan untuk membuat keputusan pada kontrol *fuzzy*. Untuk *input* sendiri terdiri dari suhu dan kelembaban sedangkan untuk *output* terdiri dari lampu, kipas dan pompa.

Dari beberapa data *output* yang sudah didapat , maka dapat dibuat suatu aturan atau *rule* yang nantinya akan digunakan untuk proses pengambilan keputusan dari *fuzzy logic controller*. Keputusan ini juga akan menghasilkan suatu *output* yang akan digunakan pada alat untuk pengujian dan pengambilan data. Pada dasarnya *rule – rule* atau aturan yang dihasilkan adalah fungsi yang sederhana dan mudah dimengerti dimana terdiri dari fungsi *if – and – then*. Terdapat 15 *rule* yang dihasilkan yaitu :

1. *If* (Suhu *is* Sangat Rendah)*and* (Kelembaban *is* kurang)*then*(Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
2. *If* (Suhu *is* Sangat Rendah) *and* (Kelembaban *is* Normal) *then* (Lampu *is* Sangat Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
3. *If* (Suhu *is* Sangat Rendah) *and* (Kelembaban *is* Lebih) *then* (Lampu *is* Sangat Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
4. *If* (Suhu *is* Rendah) *and* (Kelembaban *is* Kurang) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Cepat)
5. *If* (Suhu *is* Rendah) *and* (Kelembaban *is* Normal) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Pelan) (Pompa *is* Pelan)

6. *If* (Suhu *is* Rendah) *and* (Kelembaban *is* Lebih) *then* (Lampu *is* Sangat Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
7. *If* (Suhu *is* Normal) *and* (Kelembaban *is* Kurang) *then* (Lampu *is* Redup) (Kipas *is* Pelan) (Pompa *is* Cepat)
8. *If* (Suhu *is* Normal) *and* (Kelembaban *is* Normal) *then* (Lampu *is* Redup) (Kipas *is* Pelan) (Pompa *is* Pelan)
9. *If* (Suhu *is* Normal) *and* (Kelembaban *is* Lebih) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
10. *If* (Suhu *is* Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Kurang) *then* (Lampu *is* Mati) (Kipas *is* Sangat Cepat) (Pompa *is* Sangat Cepat)
11. *If* (Suhu *is* Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Normal) *then* (Lampu *is* Redup) (Kipas *is* Cepat) (Pompa *is* Cepat)
12. *If* (Suhu *is* Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Lebih) *then* (Lampu *is* Redup) (Kipas *is* Cepat) (Pompa *is* Pelan)
13. *If* (Suhu *is* Sangat Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Kurang) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
14. *If* (Suhu *is* Sangat Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Normal) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)
15. *If* (Suhu *is* Sangat Tinggi) *and* (Kelembaban *is* Lebih) *then* (Lampu *is* Terang) (Kipas *is* Mati) (Pompa *is* Mati)

3.8 Desain Perencanaan Penelitian



Gambar 3.9 Desain Perencanaan Alat

Keterangan:

1. Panel Surya
2. Tiang Besi
3. Charger Control Baterai
4. Baterai
5. Inverter
6. Greenhouse
7. Lampu
8. Kipas Angin
9. Sensor DHT 11
10. Pipa Hidroponik
11. Pompa

Gambar 3.9 diatas menunjukkan desain perencanaan secara keseluruhan. Proses pertama dari energi matahari akan diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya, kemudian energi listrik dari panel surya masuk ke charger control. Setelah itu listrik akan mengisi baterai untuk disimpan. Sebelum menuju ke beban energi listrik harus dihubungkan ke inverter , karena beban yang digunakan adalah AC. Setelah itu energi listrik siap digunakan untuk *greenhouse*. *Greenhouse* sendiri digunakan untuk tempat tanaman sawi dengan ukuran panjang 0,5 meter, lebar 0,5 meter dan tinggi 0,5 meter agar mudah di kontrol. Beban yang akan di kontrol ada tiga yaitu kipas angin, pompa air lampu. Ketiga beban digunakan untuk mengontrol suhu didalam *greenhouse* agar tetap stabil dengan *setting point* suhu dari tanaman sawi.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

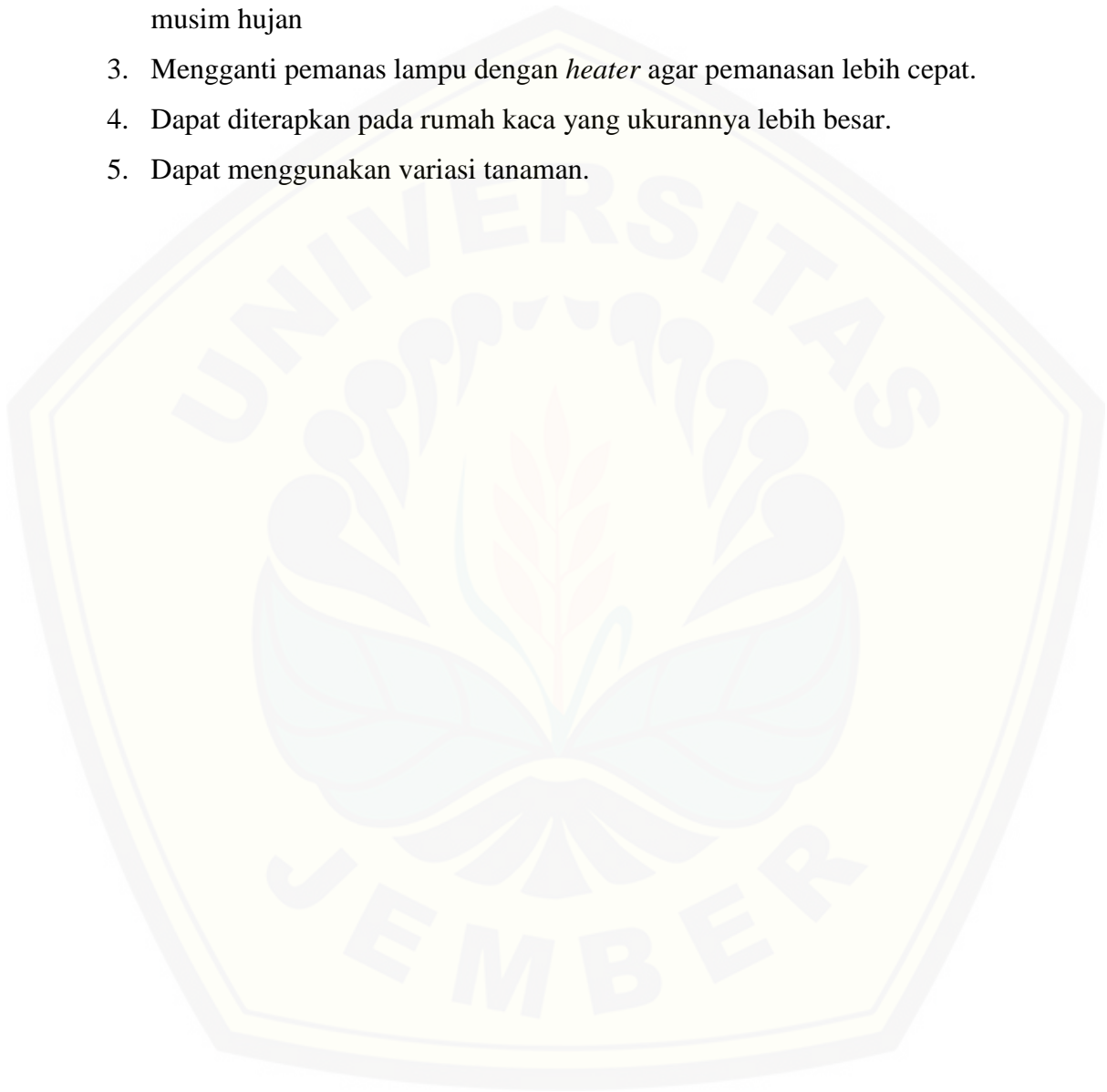
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dari penelitian dengan judul “Sistem Kontrol Berbasis Logika Fuzzy Pada Rumah Kaca Untuk Tanaman Sawi Menggunakan Energi Listrik Panel Surya “ maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem energi listrik tenaga surya pada rumah kaca merupakan alternatif untuk mengembangkan produksi di bidang pertanian dan juga sebagai inovasi energi terbarukan yang ramah lingkungan karena sumber energi berasal dari alam.
2. Pada data suhu dan kelembaban rumah kaca menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang berbeda pada setiap waktunya. Perubahan tersebut terjadi karena kondisi cuaca. Suhu maksimal terjadi pada pukul 12.30 WIB yaitu sebesar 38 °C sedangkan suhu minimal terjadi pada pukul 08.00 WIB dan 16.00 WIB yaitu sebesar 30 °C. Kemudian untuk kelembaban maksimal terjadi pada pukul 16.00 WIB yaitu sebesar 84 % sedangkan kelembaban minimal terjadi pada pukul 12.30 WIB yaitu sebesar 79 %.
3. Energi yang dibutuhkan oleh rumah kaca sebesar 640 Wh yang disupply oleh energi listrik panel surya sebesar 200 WP dengan kapasitas baterai sebesar 12 V 45 Ah sebanyak 2 buah yang disusun secara paralel.
4. Sistem listrik pada penelitian ini menggunakan panel surya yang dipasang secara paralel. Dalam penelitian ini tegangan maksimal yang dihasilkan panel surya adalah 16 V dan arus maksimal yang dihasilkan panel surya adalah 3.8 A yang terjadi pada pukul 10.00 WIB.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran untuk perkembangan penelitian ini kedepannya.

1. Penggunaan kipas angin sebagai pendingin *greenhouse* lebih dimaksimalkan lagi dengan menambah beberapa buah agar pendinginan ruangan rumah kaca lebih cepat.
2. Dapat ditambah jumlah baterai agar dapat digunakan lebih lama pada saat musim hujan
3. Mengganti pemanas lampu dengan *heater* agar pemanasan lebih cepat.
4. Dapat diterapkan pada rumah kaca yang ukurannya lebih besar.
5. Dapat menggunakan variasi tanaman.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Hammada. Dkk. 2015 Rancang Bangun *Smart Greenhouse* Sebagai Tempat Budidaya Tanaman Menggunakan *Solar Cell* Sebagai Sumber Listrik. Banjarmasin. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV
- Adityawan, Eki. 2010. Studi Karakteristik Pencatuan Solar Cell Terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai. *Skripsi* , Universitas Indonesia. Depok.
- Dzulfikar, Dafi, Wisnu Broto, 2016. Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. Universitas Pancasila Jakarta. Jakarta
- Khamid, Muhammad Abdul, 2015. Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. *Skripsi* Universitas Jember. Jember
- Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis & Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Cetakan Pertama. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Muttaqin, Idzani, Gusti I, Wahyu A. 2016. Analisa Rancangan Sel Surya Dengan Kapasitas 50 Watt Untuk Penerangan Parkiran Uniska. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA* Vol.01 No.02, 2016.
- Pradana M, Wahyu, 2017. Sistem Kontrol Sepic Pada *Solar Charger* Berbasis Logika *Fuzzy*. *Skripsi*, Universitas Jember. Jember
- Sugiyono, Agus, 1998. Kendali Sistem Energi Untuk Pertanian Rumah Kaca” Prosiding Seminar Nasional Penerapan Teknologi Kendali dan Instrumen Pada Pertanian. hal S5-5.1 – S5-5.4

- Telaumbanua, Mareli. Dkk. 2014. Rancang Bangun Aktuator Pengendali Iklim Mikro di Dalam Greenhouse Untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica rapa var. ParachinensisL.*). AGRITECH Vol. 34 No 2
- Telaumbanua, Mareli. Dkk. 2016. Studi Pola Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica rapa var.parachinensis L.*) Hidroponik Di Dalam Greenhouse Terkontrol. AGRITECH, Vol. 36, No. 1
- Yandri, Valdi Rizki, 2012. Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik Indonesia. Universitas Andalas. Padang. Jurnal Ilmu Fisika Vol 4 No 1 Maret 2012

LAMPIRAN

A. Listing Program Arduino Mega

```
#include "fis_header.h"
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#include <Wire.h> f
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
const int fis_gcI = 2;
const int fis_gcO = 3;
const int fis_gcR = 15;
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
void setup()
{ Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  dht.begin();
  pinMode(0 , INPUT);
  pinMode(1 , INPUT);
  pinMode(2 , OUTPUT);
  pinMode(3 , OUTPUT);
  pinMode(4 , OUTPUT);
  pinMode(37 , OUTPUT);
  pinMode(35, OUTPUT);
  pinMode(33, OUTPUT);
  pinMode(31, OUTPUT);
```

```
pinMode(38 , OUTPUT);
pinMode(40 , OUTPUT);
pinMode(42 , OUTPUT);
pinMode(44 , OUTPUT);
pinMode(12 , OUTPUT);
pinMode(11 , OUTPUT);
pinMode(10 , OUTPUT);
pinMode(9 , OUTPUT);
}
void loop()
{float lembab = dht.readHumidity();
float suhu = dht.readTemperature();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Suhu      =      ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Kelembaban =      ");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print(suhu);
lcd.setCursor(13,1);
lcd.print(lembab);
g_fisInput[0] =suhu;
g_fisInput[1] = lembab;
g_fisOutput[0] = 0;
g_fisOutput[2] = 0;
fis_evaluate();
Serial.println(String(suhu)+" "+String(lembab)+"
"+String(g_fisOutput[0])+" "+String(g_fisOutput[1])+"
"+String(g_fisOutput[2]));
int r1=0,r2=0,r3=0,r4=0;
//Set output Lampu
```

```
r1=0,r2=0,r3=0,r4=0;
if(g_fisOutput[0] > 81)      {r1=0;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 78){r1=0;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 75){r1=0;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 72){r1=0;r2=0;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 69){r1=0;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 66){r1=0;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 63){r1=0;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 60){r1=0;r2=1;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 56){r1=1;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 53){r1=1;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 50){r1=1;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 47){r1=1;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 44){r1=1;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 41){r1=1;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[0] > 38){r1=1;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[0] > 0){r1=1;r2=1;r3=1;r4=1;}

digitalWrite(37,1-r1);digitalWrite(35,1-
r2);digitalWrite(33,1-r3);digitalWrite(31,1-r4);

// Set output Kipas
r1=0,r2=0,r3=0,r4=0;
if(g_fisOutput[1] > 96)      {r1=0;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 90){r1=0;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 84){r1=0;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 78){r1=0;r2=0;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 72){r1=0;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 66){r1=0;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 60){r1=0;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 56){r1=0;r2=1;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 48){r1=1;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 42){r1=1;r2=0;r3=0;r4=1;}
```

```
else if (g_fisOutput[1] > 36) {r1=1;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 30) {r1=1;r2=0;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 24) {r1=1;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 18) {r1=1;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[1] > 12) {r1=1;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[1] > 0) {r1=1;r2=1;r3=1;r4=1;}

    // Set output Pompa

digitalWrite(38,1-r1);digitalWrite(40,1-
r2);digitalWrite(42,1-r3);digitalWrite(44,1-r4);

    r1=0,r2=0,r3=0,r4=0;
if(g_fisOutput[2] > 96)          {r1=0;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 90) {r1=0;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 84) {r1=0;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 78) {r1=0;r2=0;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 72) {r1=0;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 66) {r1=0;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 60) {r1=0;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 56) {r1=0;r2=1;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 48) {r1=1;r2=0;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 42) {r1=1;r2=0;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 36) {r1=1;r2=0;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 30) {r1=1;r2=0;r3=1;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 24) {r1=1;r2=1;r3=0;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 18) {r1=1;r2=1;r3=0;r4=1;}
else if (g_fisOutput[2] > 12) {r1=1;r2=1;r3=1;r4=0;}
else if (g_fisOutput[2] > 0) {r1=1;r2=1;r3=1;r4=1;}

    digitalWrite(12,1-r1);digitalWrite(11,1-
r2);digitalWrite(10,1-r3);digitalWrite(9,1-r4);
}

// Support functions for Fuzzy Inference System
FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
```



```

    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ?
((d - x) / (d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ?
((x - a) / (b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}
FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{ return min(a, b);}
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{return max(a, b);}
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size,
_FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;
    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];
    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    { ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);}
    return ret;
}
_FIS_MF fis_gMF[] =
{fis_trapmf, fis_trimf};

```

```
int fis_gIMFCount[] = { 5, 3 };
int fis_gOMFCount[] = { 4, 4, 4 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { 0, 0, 5, 10 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { 5, 10, 20, 25 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 20, 25, 30, 35 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 30, 35, 40, 45 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 40, 45, 50, 50 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1,
fis_gMFI0Coeff2, fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4,
fis_gMFI0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { 0, 0, 60, 75 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { 70, 75, 85, 90 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { 85, 95, 100, 100 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1,
fis_gMFI1Coeff2, fis_gMFI1Coeff3 };
FIS_TYPE** fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff,
fis_gMFI1Coeff };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { 0, 0, 15, 30 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 20, 38, 55 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 45, 65, 80 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff4[] = { 70, 85, 100, 100 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1,
fis_gMFO0Coeff2, fis_gMFO0Coeff3, fis_gMFO0Coeff4 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff1[] = { 0, 0, 15, 30 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff2[] = { 20, 38, 55 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff3[] = { 45, 65, 80 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff4[] = { 70, 85, 100, 100 };
FIS_TYPE* fis_gMFO1Coeff[] = { fis_gMFO1Coeff1,
fis_gMFO1Coeff2, fis_gMFO1Coeff3, fis_gMFO1Coeff4 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff1[] = { 0, 0, 15, 30 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff2[] = { 20, 38, 55 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff3[] = { 45, 65, 80 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff4[] = { 70, 85, 100, 100 };
```

```
FIS_TYPE* fis_gMFO2Coeff[] = { fis_gMFO2Coeff1,
fis_gMFO2Coeff2, fis_gMFO2Coeff3, fis_gMFO2Coeff4 };

FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff,
fis_gMFO1Coeff, fis_gMFO2Coeff };

// Input membership function set

int fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1};

// Output membership function set

int fis_gMFO0[] = { 0, 1, 1, 0 };
int fis_gMFO1[] = { 0, 1, 1, 0 };
int fis_gMFO2[] = { 0, 1, 1, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0, fis_gMFO1, fis_gMFO2};

FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1 };

int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1 };

// Rule Inputs

int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 1, 2 };
int fis_gRI2[] = { 1, 3 };
int fis_gRI3[] = { 2, 1 };
int fis_gRI4[] = { 2, 2 };
int fis_gRI5[] = { 2, 3 };
int fis_gRI6[] = { 3, 1 };
int fis_gRI7[] = { 3, 2 };
int fis_gRI8[] = { 3, 3 };
int fis_gRI9[] = { 4, 1 };
int fis_gRI10[] = { 4, 2 };
int fis_gRI11[] = { 4, 3 };
int fis_gRI12[] = { 5, 1 };
int fis_gRI13[] = { 5, 2 };
int fis_gRI14[] = { 5, 3 };
```

```
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3,
fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9,
fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12, fis_gRI13, fis_gRI14 };

// Rule Outputs

int fis_gRO0[] = { 2, 4, 4 };
int fis_gRO1[] = { 1, 4, 4 };
int fis_gRO2[] = { 1, 4, 4 };
int fis_gRO3[] = { 2, 4, 2 };
int fis_gRO4[] = { 2, 3, 3 };
int fis_gRO5[] = { 1, 4, 4 };
int fis_gRO6[] = { 3, 3, 2 };
int fis_gRO7[] = { 3, 3, 3 };
int fis_gRO8[] = { 2, 3, 3 };
int fis_gRO9[] = { 4, 1, 1 };
int fis_gRO10[] = { 3, 2, 2 };
int fis_gRO11[] = { 3, 2, 3 };
int fis_gRO12[] = { 4, 1, 1 };
int fis_gRO13[] = { 4, 1, 1 };
int fis_gRO14[] = { 4, 1, 2 };

int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3,
fis_gRO4, fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8, fis_gRO9,
fis_gRO10, fis_gRO11, fis_gRO12, fis_gRO13, fis_gRO14 };

FIS_TYPE fis_gIMin[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 50, 100 };
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 100, 100, 100 };

FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int
o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
```

```

        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
            fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
            fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else
        {mfOut = 0; }
        fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut,
        fuzzyRuleSet[1][r]);
    }
    return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR,
    fis_max);
}

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) /
(FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice*dist;
    }
    return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) /
    2) : (momentum / area));}

void fis_evaluate()

```

```

{   FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0,
fuzzyInput1, };
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput2[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0,
fuzzyOutput1, fuzzyOutput2, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {   for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {   fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]]) (g_fisInput[i],
fis_gMFICoeff[i][j]);   }   }
    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {if (fis_gRType[r] == 1)
        {fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
            for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
            {index = fis_gRI[r][i];
                if (index > 0)
                    fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
                else if (index < 0)
                    fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
                else
                    fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);   }}

```

```
else
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0); } }
    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];    }
if (sW == 0)
{for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
{g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);} }
else
{for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
{g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
} }}
}}
```

B. Gambar Hardware

B1. Pengujian Tanaman Sawi pada Rumah Kaca



